



วารสาร เกษตรพระวรุณ

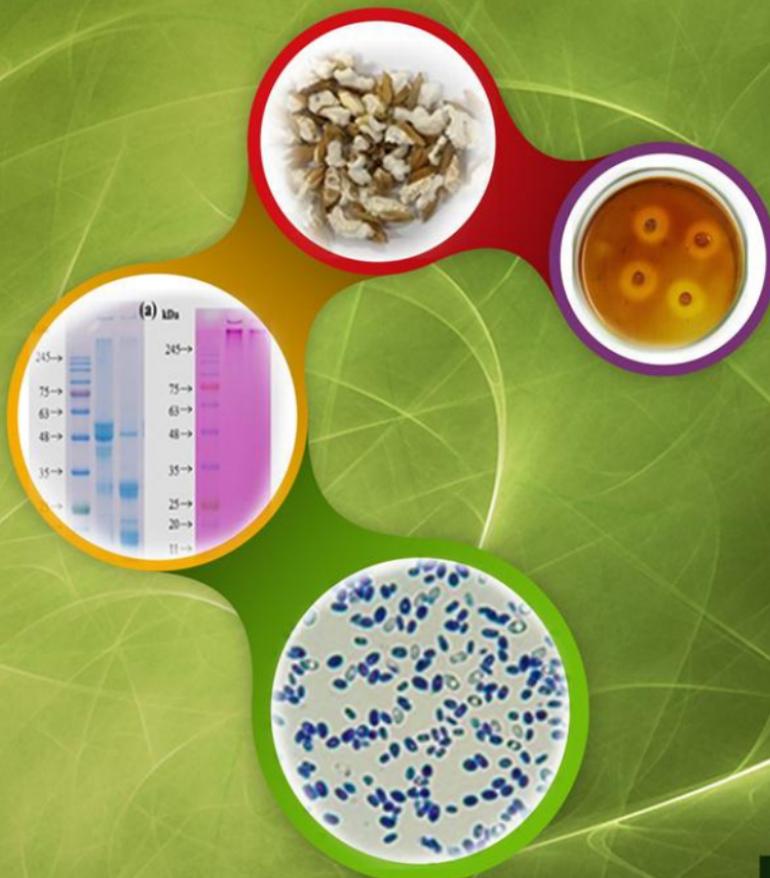
ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2561

PRAWARUN

AGRICULTURAL JOURNAL

Vol. 15 No. 1 / JUNE 2018

Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University



ISSN 1685-8379

ผลของการเคลือบปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของธัญพืช

ชินาลักษณ์ พริงเพราะ^{1,2} และ เบ็ญจพร กุลนิตย^{2,3*}

¹สถานีวิจัยพัฒนาที่ดินบุรีรัมย์ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 3 กรมพัฒนาที่ดิน อำเภอคูเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31190

²ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

³กลุ่มวิจัยการจัดการอินทรีย์วัตถุของดิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลของการเคลือบปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของธัญพืช พบว่า การเคลือบปุ๋ยด้วยวัสดุต่างๆ เช่น เรซิน พอลิเมอร์ และวัสดุอินทรีย์ (ขี้เถ้าลอย) สามารถช่วยชะลอการปลดปล่อยของธาตุอาหารและสามารถทำให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น พร้อมทั้งทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของธัญพืช (เช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าว และข้าวสาลี) เพิ่มขึ้นมากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีที่ไม่ได้เคลือบ การเคลือบปุ๋ยสามารถช่วยลดการสูญเสียของธาตุอาหารจากปุ๋ย โดยเฉพาะไนโตรเจน (Nitrogen, N) ที่จะสูญเสียในรูปการระเหยไปเป็น NH_3 (NH_3 volatilization)

คำสำคัญ: การเคลือบปุ๋ย ไนโตรฟิกเคชัน ปุ๋ยเคมี และ ธัญพืช

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: benja_kun13@hotmail.com

Effect of Fertilizer Coating on Growth and Yield of Cereal Crops

Chinalai Pringproh^{1,2} and Benjapon Kunlanit^{2,3*}

¹Buriram Land Development Station, Land Development Regional Office 3, Land Development Department,
Khu Mueang District, Buriram, 31190, Thailand

²Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Maha Sarakham University,
Kantarawichai District, Maha Sarakham, 44150, Thailand

³Soil Organic Matter Management Research Group, Khon Kaen University, Mueang,
Khon Kaen, 40002, Thailand

Abstract

The objective of this study was to literature reviews relevant to effect of fertilizer coating on growth and yield of cereal crops. There are shown that fertilizer coating with materials such as resin, polymer and organic compound (fly ash) lead to slow release of plant nutrients. This enhances availability of nutrients in plants. Application of coated fertilizer provided high growth and yield of cereal crops (i.e. maize, rice and wheat) than uncoated fertilizer. Coating fertilizer can be reduced nutrients loss in plant especially nitrogen (N), which is lost as NH₃ (NH₃ volatilization).

Keywords: Fertilizer coating, Nitrification, Chemical fertilizer and Cereal crops

*Corresponding author: E-mail: benja_kun13@hotmail.com

ธาตุอาหารในดิน

ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (Nitrogen, N) ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P) และโพแทสเซียม (Potassium, K) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากเพื่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต (Vityakon, 2004) ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชออกไปในแต่ละปีนั้น ธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ในดินจะลดลงไปเรื่อยๆ (Osotsapha *et al.*, 2011) ธาตุอาหารในดินสูญเสียไป 4 ทางด้วยกัน ได้แก่ 1) การเก็บเกี่ยวผลผลิตพืช โดยพืชอาจถูกเก็บเกี่ยวออกไปเฉพาะดอก ผล หัว หรือส่วนเหนือดิน ปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งจึงขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิต ความเข้มข้นของธาตุอาหารในผลผลิต ตลอดจนการจัดการกับเศษซากพืชที่เหลือกลับมาใส่ในพื้นที่ ธาตุอาหารก็จะหมุนเวียนในดิน 2) การชะล้าง (leaching) น้ำฝนหรือน้ำชลประทานส่วนเกินซึ่งดินไม่อาจดูดซับได้ และไหลผ่านชั้นดินลงไปชั้นล่าง ย่อมชะไอออนและอินทรีย์สารที่แขวนลอยในสารละลายของดินไปด้วย ธาตุอาหารส่วนนี้จึงอาจลงไปสู่ดินในระดับที่ลึกหรือไหลออกนอกพื้นที่ซึ่งไม่เป็นประโยชน์ประโยชน์ต่อพืช โดยสภาพนี้มักเกิดในพื้นที่ที่มีฝนตกชุกหรือใช้น้ำชลประทานมากเกินไป 3) การชะล้างพังทลายของดิน (soil erosion) เกิดขึ้นเมื่อก่อนดินถูกตัวการ คือ น้ำหรือลมทำให้แตกกระจายและพัดพาไปจากบริเวณเดิม ที่เกิดขึ้นมากในประเทศไทย คือ การชะล้างพังทลายของผิวดินโดยน้ำในบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง พร้อมทั้งดินมีโครงสร้างเลว ผิวดินไม่ค่อยมีพืชหรือวัสดุปกคลุม ไถพรวนตามแนวลาดเทของพื้นที่ และขาดการอนุรักษ์ดินที่เหมาะสมในพื้นที่ และ 4) การสูญเสียในรูปของก๊าซมักเกิดกับสารประกอบแอมโมเนียม (NH_4^+) ในดินต่าง และสารประกอบไนเตรท (NO_3^-) ในดินที่ขาดออกซิเจน เช่น ดินน้ำท่วมขัง กล่าวคือ สารประกอบ NH_4^+ จะทำปฏิกิริยาในดินได้ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) และระเหยออกไป ส่วนสารประกอบไนเตรท ก็ถูกรีดิวซ์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินได้ออกไซด์ของ N ซึ่งเป็นก๊าซ (Sukhothai Thammathirat Open University, 2005) จากการสูญเสียดังกล่าว นอกจากจะมีผลต่อพืชและธาตุอาหารที่อยู่ในดินแล้ว ยังส่งผลต่อสภาพแวดล้อมด้วย ประเทศในแถบอเมริกาเหนือและทวีปยุโรปมีการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างกว้างขวาง ซึ่งได้

ตระหนักถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราสูงโดยเฉพาะปุ๋ย N กล่าวคือ 1) NH_4^+ จากปุ๋ยเคมีหรือจากปุ๋ยอินทรีย์ ที่คงเหลือในดินซึ่งมีการถ่ายเทอากาศดี บางส่วนจะแปรสภาพเป็น NO_3^- การชะล้างของไอออนนี้ไปสะสมในน้ำใต้ดิน ทำให้มี NO_3^- มากจนไม่เหมาะที่จะใช้บริโภค ซึ่งผู้ที่ดื่มน้ำที่มี NO_3^- ปนเปื้อนเป็นระยะเวลานานก็มีความเสี่ยงเป็นโรคมะเร็งได้ และพิษของ NO_3^- ทำให้เกิดโรคที่เรียกว่า “Blue-baby syndrome หรือ methemoglobinemia” และมักเกิดในเด็กทารกที่อายุต่ำกว่า 4 เดือนที่ดื่มน้ำที่ปนเปื้อน NO_3^- ในปริมาณสูง (Greer *et al.*, 2005) สำหรับปริมาณ NO_3^- ตามปริมาณมาตรฐานน้ำดื่มของสหรัฐอเมริกา คือ NO_3^- ไม่เกิน 10 มก. N /ลิตร ส่วนสหภาพยุโรป ส่วนสหภาพยุโรป กำหนดให้มีได้ไม่เกิน 50 มก. NO_3^- /ลิตร และ 2) ในสภาพที่ดินขาดออกซิเจน NO_3^- จะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นก๊าซ NO_2 , N_2O , NO และ N_2 ซึ่งระเหยไปสะสมในบรรยากาศ นับเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โลกร้อนขึ้น เนื่องจาก NO_2 , N_2O , NO และ CO_2 ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Osotsapha *et al.*, 2011) จาก การตระหนักถึงผลด้านสิ่งแวดล้อมข้างต้น และความจำเป็นที่ต้องลดการสูญเสียของธาตุอาหารไปจากระบบดิน-พืชจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตพืช โดยการชะล้าง (leaching) และการไหลบ่า (runoff) ไปกับน้ำ (Chen *et al.*, 2017) ทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดผลกระทบดังกล่าว คือการใช้ปุ๋ยเคลือบ ปัจจุบันมีการผลิตปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยหรือปุ๋ยละลายช้า ซึ่งปุ๋ยเคมีที่จะบรรจุอยู่ในสารเคลือบหรือปุ๋ยเคลือบ (coated fertilizer) เป็นการเคลือบผิวของเม็ดปุ๋ยให้ละลายช้าขึ้นและจะปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การศึกษานี้จึงได้ปริทัศน์บทความวิจัยและวิชาการที่เกี่ยวข้องกับผลของการเคลือบปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช โดยเฉพาะในธัญพืช

ปุ๋ย

ปุ๋ย (Fertilizer) หมายถึง วัสดุหรือสารที่ใส่ลงในดินหรือใส่ในวัสดุปลูกพืช หรือฉีดพ่นบนส่วนเหนือดินของพืช โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้พืชได้รับธาตุอาหาร เช่น N, P และ K อย่างเพียงพอ และสมดุลตามที่พืชต้องการ และให้

ได้ผลผลิตสูงขึ้น หรือมีคุณภาพตามที่ต้องการ (Suwanarit, 2010) และปุ๋ยที่สามารถให้ธาตุอาหารแก่พืชได้ในปริมาณสูงตามที่พืชต้องการ ได้แก่ ปุ๋ยเคมี ซึ่งเป็นปุ๋ยที่ได้จากกระบวนการผลิตหรือสังเคราะห์ทางอุตสาหกรรมจากแร่ต่างๆ ที่ได้จากธรรมชาติ หรือเป็นผลพลอยได้ของโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด โดยทั่วไปแล้วธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อพืชและพืชต้องการในปริมาณมาก โดยพืชจะขาดธาตุใดธาตุหนึ่งไม่ได้ เพราะธาตุอาหารหลักพืชต้องดูดไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตมากกว่าธาตุอื่นๆ โดย N พืชดูดใช้ในรูป NH_4^+ และ NO_3^- สำหรับ P พืชดูดไปใช้ในรูป H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-} และ K ในรูป K^+ สำหรับ N ถ้าพืชได้รับในปริมาณที่เหมาะสมจะเป็นธาตุอาหารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น และใบของพืช ส่วนธาตุ P ได้จากหินฟอสเฟต (phosphate rock) ซึ่งเป็นหินที่มีแคลเซียมฟอสเฟต และ K ได้จากอลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate) และในรูปของแร่เฟลสปาร์ (feldspar) ไมก้า (mica) และแร่ดินเหนียว (clay mineral) (Agricultural Editor, 2016) P มีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญของรากฝอย และรากแขนงในระยะแรกของการเจริญเติบโต และช่วยในการสร้างดอก และเมล็ด และ K จำเป็นต่อการสร้างคาร์โบไฮเดรต และช่วยในการเคลื่อนย้ายแป้ง และน้ำตาล และทำให้ผลผลิตมีคุณภาพ (Panchapan, 2002) และเมื่อพืชขาดธาตุอาหารเหล่านี้พืชก็จะแสดงอาการ เช่น ขาด N จะเกิดการชะงักการเจริญเติบโต เมล็ดงอกช้า ต้นอ่อนโตช้า ลำต้นมีความสูงแต่พอมไม่สมบูรณ์ กิ่งก้านมีจำนวนน้อย แตกยอดช้า และลีบเล็ก ใบพืชจะมีสีเหลือง โดยเริ่มจากปลายใบโคนใบ และเกิดกับใบแก่ก่อน นอกจากนี้จะได้ผลผลิตต่ำแล้ว ผลผลิตยังไม่มีคุณภาพอีกด้วย ขาด P รากของพืชจะพอมบาง สั้น และมีปริมาณน้อย ลำต้นแคระแกรน การเจริญเติบโตหยุดชะงัก และออกดอกช้ากว่าปกติ อีกทั้งดอกจะมีขนาดเล็ก และผลผลิตลดลง ส่วนการขาดธาตุ K จะเกิดการชะงักการเจริญเติบโต ลำต้นอ่อน ล้มง่าย และการต้านทานโรคลดลง หากเป็นพืชน้ำมันและพืชหัวจะมีปริมาณน้ำมันและการสะสมแป้งในหัวต่ำ (Vityakon, 2004)

เพื่อลดการขาดธาตุอาหารของพืช การใช้ปุ๋ยทางดินอย่างไรก็ตาม เป็นวิธีปฏิบัติที่นิยมโดยปกติของเกษตรกร ซึ่งพืชสามารถนำธาตุอาหารที่ใส่ทางดินไปใช้ได้เพียง 25-30% ของธาตุอาหารจากปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดิน และมีการสูญเสียโดย

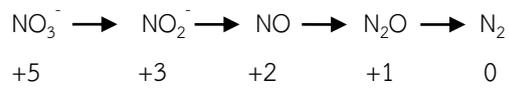
เปล่าประโยชน์ถึง 75% ของปุ๋ยที่ใส่ลงไป การสูญเสียเกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ ในดินเปลี่ยนรูปธาตุอาหารพืชเป็นสารประกอบที่พืชนำไปใช้ไม่ได้ หรือรูปที่พืชใช้ได้ยาก เป็นต้น (Haifa Chemical Thailand, 2012)

การสูญเสียธาตุปุ๋ยไปจากดิน

1. การสูญเสียไนโตรเจนจากดิน

การสูญเสีย N ในรูปก๊าซ (gaseous losses of nitrogen) N ในดินสามารถสูญเสียไปในบรรยากาศได้ในรูปของก๊าซหลายชนิด ได้แก่ ก๊าซ N (nitrogen gas, N_2), ก๊าซแอมโมเนีย (ammonia, NH_3) และก๊าซในรูปของออกไซด์ต่างๆ ของ N เช่น ไนตริกออกไซด์ (nitric oxide, NO) และไนตรัสออกไซด์ (nitrous oxide, N_2O) เป็นต้น การสูญเสีย N จากดินในรูปของก๊าซที่พบบ่อย คือ จากกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) การไฮโดรไลซิสของยูเรีย (urea hydrolysis) การระเหยของแอมโมเนีย (ammonia volatilization) และการชะล้างของไนเตรท (nitrate leaching) (Vityakon, 2004)

1) กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) กระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินต้องการ O_2 ดังนั้น เมื่อดินขาด O_2 หรืออยู่ในสภาพน้ำขัง (anaerobic condition) ไม่มีช่องว่างให้อากาศผ่าน มีจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งที่สามารถดึงเอาออกซิเจนที่ต้องการจากโมเลกุลของสารประกอบ N ในดินคือ NO_2^- และ NO_3^- เมื่อเกิดการดึงเอาออกซิเจนจากสารประกอบ N ไปใช้ซึ่งก็คือการรีดิวซ์ NO_3^- ให้เป็น NO_2^- และในที่สุดก็เกิดก๊าซ N_2O และ N_2 กลับคืนสู่บรรยากาศ เรียกกระบวนการนี้ว่า “ดีไนตริฟิเคชัน” (ตั้งสมการด้านล่าง) ซึ่งในสภาพน้ำขังที่เอื้อต่อการเกิดกระบวนการนี้ต้องมีสารประกอบอินทรีย์เพียงพอเพื่อเป็นแหล่งพลังงานและเป็นตัวให้อิเล็กตรอน (hydrogen donor) ส่วน NO_3^- ในดินก็ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor) นั้นเอง



สมการแสดงกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและตัวเลขแสดงค่าวาเลนซ์ของไนโตรเจน

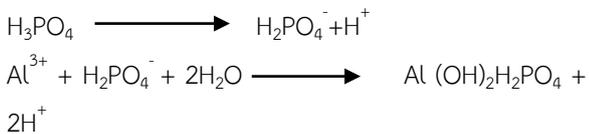
(buffer) 2) รากพืชดูดใช้ NH_4^+ และฟอสเฟตไอออนไปใช้ประโยชน์ และ 3) ฟอสเฟตไอออนถูกตรึง (fixed) ไว้ (Osotsapha *et al.*, 2011)

2) ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต เมื่อใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในดินที่มีความชื้นเพียงพอ ปุ๋ยจะดูดความชื้นจากดินแล้วทำปฏิกิริยากับน้ำได้แคลเซียมโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟตไดไฮเดรต ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) กับกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ดังสมการ



กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) มีลักษณะเป็นของเหลวข้นและเย็นออกมารอบๆ เม็ดปุ๋ยเมื่อเม็ดปุ๋ยดูดความชื้นจากดินมากขึ้นจะเกิดกรดมากขึ้นด้วย เป็นสาเหตุให้ pH ของดินรอบๆ เม็ดปุ๋ยและบริเวณที่กรดแพร่ไปถึงลดต่ำมาก หรือเป็นกรดรุนแรง สารประกอบหลัก อลูมิเนียม และแมงกานีสที่อยู่ในดินละลายและแตกตัวเป็นไอออน และทำปฏิกิริยากับอนุมูลฟอสเฟต (H_2PO_4^-) จากกรดฟอสฟอริก ได้สารประกอบซึ่งละลายน้ำได้ยาก ดังนั้น ฟอสเฟตส่วนนี้จากปุ๋ยจึงแปรสภาพเป็นรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ หรือเรียกว่าการถูกตรึง และการตรึงฟอสเฟตในดินกรด ดินเป็นกลาง และดินด่าง ดังนี้

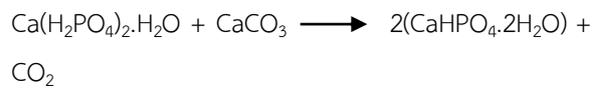
2.1) การตรึง P ในดินกรด สำหรับดินเป็นกรดรุนแรงนั้นจะมีเหล็ก อลูมิเนียมและแมงกานีสไอออนอยู่มาก ในกรณีที่ฟอสเฟตไอออนทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) จะได้เกลืออลูมิเนียมฟอสเฟต ($\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$) ซึ่งไม่ละลายน้ำและตกตะกอน ดังสมการ



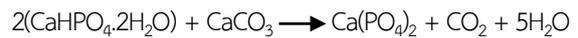
2.2) ในดินกรดถึงเป็นกลาง ฟอสเฟตไอออนทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ เช่น กิบไซต์ (gibbsite, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) และโกไทต์ (goethite, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ตลอดจนแร่ดินเหนียวพวก 1:1 การตรึง P ซึ่งเกิดในช่วง pH ของดินกว้าง คือตั้งแต่ 4-7 แต่มีโอกาสเกิดได้มากในดินกรดหากดินที่มีอลูมิเนียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์

และแร่ดินเหนียวซิลิเกตพวก 1:1 มาก การตรึง P ของดินก็สูงขึ้นด้วย สำหรับ P ที่ถูกตรึงด้วยอลูมิเนียมออกไซด์และเหล็กออกไซด์แล้วนี้ เมื่อเวลาผ่านไปอาจมีเหล็กหรืออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มาเคลือบโดยรอบอย่างหนาแน่น จึงมีโอกาสละลายได้น้อยที่สุด เรียกฟอสเฟตรูปนี้ว่า ฟอสเฟตถูกห่อหุ้ม (occluded phosphate)

2.3) ในดินด่าง ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต ได้ไดแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งละลายน้ำได้น้อย แต่สามารถละลายในแอมโมเนียม-ซิเตรต จึงยังเป็นประโยชน์ต่อพืช ดังสมการ



แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนตต่อไป จะได้ไตรแคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) ซึ่งละลายน้ำได้น้อยมาก พืชจึงใช้ประโยชน์ได้ยาก ดังสมการ



จากนั้นไตรแคลเซียมฟอสเฟตอาจเปลี่ยนแปลงต่อไป เป็นสารประกอบที่ละลายยากยิ่งขึ้น เช่น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ออกซีอะพาไทต์ และฟลูอออะพาไทต์ ซึ่งความเป็นประโยชน์ก็จะคล้ายหินฟอสเฟต (Osotsapha *et al.*, 2011; Johnston, 2000)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ถูกยึดมาก การดูดยึด P ทำให้ P อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชทันที อย่างไรก็ตาม P ที่ถูกยึดเหล่านี้สามารถถูกปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายดินได้อีก และจะกลับเป็นประโยชน์ต่อพืช (Vityakon, 2004)

3. การสูญเสียโพแทสเซียมจากดิน

โพแทสเซียมในดินแบ่งตามความเป็นประโยชน์ของพืชได้ ดังนี้ คือ 1) รูปที่พืชดูดใช้ได้ง่ายคือ K^+ ในสารละลายดินและ K^+ ที่แลกเปลี่ยนได้ 2) รูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชได้อย่างช้าๆ (slowly available K) คือ K^+ ที่ถูกตรึง (fixed K) อยู่ในหลีบของแร่ดินเหนียวพวก 2:1 หรือเป็นรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (non-exchangeable K) เป็นประโยชน์ต่อพืชได้น้อย และ 3) รูปที่ไม่เป็นประโยชน์แก่พืช (unavailable K) คือ K^+ ที่เป็นองค์ประกอบของแร่ต่างๆ ใน

ดิน สำหรับธาตุ K นั้นดินอาจสูญเสียไปได้ 3 ทางคือ 1) พืชดูดไปใช้ (plant uptake) 2) ถูกชะล้าง (leaching) และ 3) ดินไปกับมวลดินที่กร่อน (erosion) (Osotsapha *et al.*, 2011)

1) การตรึงโพแทสเซียมในดิน การตรึง K ในดินเป็นกระบวนการที่แลกเปลี่ยน K ที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันทีหรือรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ง่ายกว่า คือรูปของไอออนที่ละลายอยู่ในรูปสารละลายดินและรูปไอออนที่ถูกยึดไว้ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว ทำให้ไปอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้โดยตรง K^+ ที่ถูกตรึงอยู่นี้ในสภาพของไอออนที่ถูกยึดไว้ด้วยแรงจำนวนมากระหว่างดินเหนียว 2 อนุภาค ส่วนการที่จะปลดปล่อยกลับคืนให้มาอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้เป็นปริมาณมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดแร่ดินเหนียวที่ตรึง K^+ นี้เอาไว้ และขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของดิน กล่าวคือ ถ้าดินมีแร่ดินเหนียวหรือชนิดของดินเหนียวประเภทอิลไลต์ (illite) เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่มาก ก็จะทำให้การปลดปล่อย K^+ กลับคืนมาได้ยากกว่า เพราะอิลไลต์จะสามารถตรึง K^+ ไว้ได้แน่นหนากว่าแร่ดินเหนียวประเภทอื่น เช่น มอนมอริลโลไนท์ (montmorillonite) สภาพแวดล้อมที่จะส่งเสริมให้ K^+ ที่ถูกตรึงอยู่ปลดปล่อยกลับมาให้พืชได้ใหม่อีกคือ ดินมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น หรือดินที่มีน้ำขังอยู่เป็นเวลานานๆ เช่น ดินใช้ทำนา ดังนั้น จึงมักพบเสมอว่าดินนาซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเป็นดินที่มีความเป็นกรดและมีเนื้อละเอียด ซึ่งมีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่สูง และจะมีธาตุ K ให้แก่พืชใช้ในปริมาณที่เพียงพอ (Sukhothai Thammathirat Open University, 2005)

2) โพแทสเซียมในดินที่ถูกกร่อน (erosion) และน้ำไหลบ่า (runoff) การสูญเสีย K จากการกร่อนของดินโดยน้ำกัดเซาะในพื้นที่เพาะปลูกในสหรัฐอเมริกา (เขตร้อนชื้น) มีมากถึง 150 กก./เฮกตาร์/ปี และสูญเสียในดินป่าไม้บนที่สูงชันที่ป่าถูกแผ้วถางไปเพื่อทำการเกษตร ในเขตน้ำพรอม. เกษตรสมบูรณ์ จ. ชัยภูมิ ถึง 233 กก./เฮกตาร์ การศึกษาการกร่อนดิน และการสูญเสีย K ในพื้นที่ลาดเอียง (10%) ในดินทราย อ.ภูเวียง จ.ขอนแก่น แสดงให้เห็นว่า K เป็นธาตุอาหารที่สูญเสียมากที่สุดถึง 34 กก./เฮกตาร์ (Vityakon, 2004) และในการศึกษาในพื้นที่ลูกคลื่นที่มีการปลูกอ้อยในเขต อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น พบว่า มีการสูญเสีย K โดยน้ำไหลบ่าถึง 18 กก./ เฮกตาร์ (Vityakon, 2004)

เนื่องจากความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเคมีขึ้นอยู่กับ การละลาย (dissolution) และสภาพละลายได้ (solubility) ของปุ๋ยในสารละลายดิน แต่ปุ๋ยเคมีที่ละลายง่ายและเป็นประโยชน์แก่พืชเร็ว (Osotsapha *et al.*, 2011) อาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียของธาตุอาหารในรูปแบบต่างๆ ดังที่กล่าวมาในข้างต้น การพัฒนาปุ๋ยเคมีให้ละลายช้าน่าจะช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารแก่พืชได้มากขึ้นและลดการสูญเสียของธาตุอาหารลงได้

ปุ๋ยละลายช้า

ปุ๋ยละลายช้าเป็นที่รู้จักและใช้ปุ๋ยชนิดนี้มานานแล้ว อันที่จริงมีคำที่ใช้ในภาษาอังกฤษ 2 คำ ซึ่งมีความหมายแตกต่างกัน คือ controlled released fertilizer และ slow-release fertilizer แต่คนทั่วไปไม่ทราบว่าปุ๋ยทั้งสองประเภทนี้มีความแตกต่างกัน ทั้งอาจเข้าใจว่าใช้ทั้งสองคำแทนกันได้ หรือมีความหมายเหมือนกัน จึงเรียกเป็นภาษาไทยว่า “ปุ๋ยละลายช้า (slow-release fertilizer)” (Osotsapha *et al.*, 2011; Shviv, 2001)

ในทางวิชาการ ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (controlled released fertilizer, CRF) และปุ๋ยปลดปล่อยช้า (slow-release fertilizer, SRF) มีความหมายแตกต่างกัน ดังนี้

1. ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (controlled released fertilizer)

ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (controlled released fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยซึ่งมีการผลิตให้ควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ นอกจากนี้ยังทราบชัดเจนว่ามีปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่ออัตราและช่วงเวลาที่ยุ่จะปลดปล่อยธาตุอาหาร ทั้งมีกลไกที่ควบคุมการปลดปล่อยอยู่แล้วในปุ๋ยที่ผลิต เช่น ปุ๋ยเคลือบ (coated fertilizer)

2. ปุ๋ยปลดปล่อยช้า (slow-release fertilizer)

ปุ๋ยปลดปล่อยช้า (slow-release fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่มีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาช้ากว่าปุ๋ยเคมีทั่วไป แต่ไม่สามารถควบคุมอัตราและช่วงเวลาในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้มากนัก เนื่องจากอัตราการปลดปล่อยขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก เช่น ความชื้นในดิน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ เป็นต้น ปุ๋ยประเภทนี้ ได้แก่ ยูเรีย

ฟอร์มาดีไฮด์ (urea-formaldehyde) (Osotsapha *et al.*, 2011)

ปุ๋ยที่ควบคุมการปลดปล่อยได้รับการศึกษาอย่างแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพและการเคลือบปุ๋ยเป็นวิธีการลดการสูญเสียธาตุอาหารที่สำคัญอย่างหนึ่ง ปุ๋ยเคลือบได้จัดทำขึ้นโดยการเคลือบเม็ดของปุ๋ยธรรมดาด้วยวัสดุต่างๆ ซึ่งการลดอัตราการสลายตัว อัตราการปลดปล่อย และการละลายน้ำของปุ๋ยขึ้นอยู่กับวัสดุเคลือบผิว (Wu *et al.*, 2005)

1) ปุ๋ยเคลือบ (coated fertilizer) การเคลือบผิวของเม็ดปุ๋ยเพื่อควบคุมการละลาย มีหลักการดังนี้ คือ 1) ผิวเคลือบมีความหนาตามแบบที่กำหนด เพื่อให้ปุ๋ยละลายออกมาในอัตราที่ต้องการ และ 2) มีวิธีการเคลือบที่แน่นอนเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตามมาตรฐาน สำหรับสารที่ใช้เคลือบ ได้แก่ กำมะถัน (sulfur) และสารพอลิเมอร์ (polymer) ชนิดต่างๆ เช่น

1.1) ยูเรียเคลือบด้วยกำมะถัน (sulfur-coated urea หรือ SCU) วิธีเคลือบยูเรียชนิดเม็ดด้วยกำมะถันมีขั้นตอนดังนี้ 1) นำเม็ดปุ๋ยมาทำให้ร้อน และ 2) หลอมกำมะถันที่อุณหภูมิ 156°C แล้วพ่นไปเคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรีย ได้ผลิตภัณฑ์ที่มี N เท่ากับ 31 และ 38% อย่างไรก็ตาม การเคลือบด้วยกำมะถันเพียงอย่างเดียว ผิวเคลือบจะมีรูพรุนมากเกินไป เป็นเหตุให้การควบคุมการละลายได้ไม่ดีนัก จึงต้องแก้ไขจุดบกพร่องนี้โดยการผสมสารอีก 3 อย่าง คือ 1) ใช้ไขเป็นวัสดุอุดกันรั่ว (wax sealant) เพื่อลดการซึมของน้ำ 2) เพิ่มสารควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ (microbiocide) เพื่อป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ออกซิไดซ์กำมะถันเร็วเกินไป และ 3) เคลือบชั้นนอกสุดด้วยวัสดุปรับสภาพปุ๋ย (conditioner) เช่น ดินเหนียวแอตตอปูลไจต์ (attapulgit)

อัตราการปลดปล่อย N ออกจากปุ๋ย ขึ้นอยู่กับคุณภาพของการเคลือบ ซึ่งกำหนดเกณฑ์ไว้ดังนี้ เม็ดปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบแล้วแบ่งได้สามส่วนเท่าๆ กัน คือ ส่วนที่ 1 มีรอยร้าวที่ผิวเคลือบ ส่วนที่ 2 สมานรอยร้าวบนผิวเคลือบด้วยไขแล้ว และส่วนที่ 3 เคลือบหนาและผิวเคลือบสมบูรณ์เมื่อใส่ปุ๋ยลงในดิน ปุ๋ยส่วนแรกจะละลายน้ำและยูเรียก็จะละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชทันที สำหรับส่วนที่ 2 และ 3 จะทยอยปลดปล่อยออกมา โดยส่วนที่ 3 ใช้เวลานาน

ที่สุด สำหรับปริมาณยูเรียในเม็ดปุ๋ยที่เคลือบหนาและสมบูรณ์นี้เรียกว่า “locked off” ซึ่งทอดเวลาการปลดปล่อยได้นานกว่าสองส่วนแรก

1.2) ยูเรียเคลือบด้วยกำมะถันและเคลือบทับด้วยพอลิเมอร์ (polymer coating of SUD) (Fig. 1) เนื่องจากยูเรียเคลือบด้วยกำมะถัน ควบคุมการปลดปล่อยยูเรียออกจากเม็ดปุ๋ยได้ไม่ค่อยดีนัก จึงได้ปรับปรุงวิธีการโดยการเคลือบพอลิเมอร์อินทรีย์พวกเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) หรือเรซิน (resin) เพิ่มอีกชั้นหนึ่ง ได้ปุ๋ยที่เรียกกันว่า PSCU (polymer coated SCU) สำหรับสมบัติด้านควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารดีกว่า SCU มาก นอกจากนี้ ชั้นพอลิเมอร์ที่เคลือบทับ ยังเพิ่มความทนทานต่อการขัดสี (attrition resistance) ระหว่างเม็ดปุ๋ยข้างเคียงด้วย

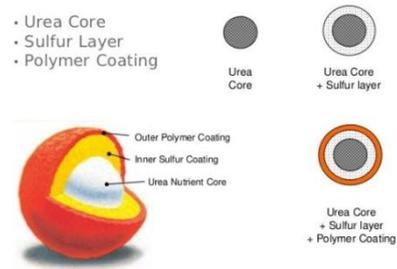


Fig. 1 Fertilizer coating by sulfur and polymer

Source: Camsizer (2011)

1.3) ปุ๋ยเคลือบสารพอลิเมอร์อินทรีย์ (fertilizer coated with organic polymer) ปุ๋ยเคลือบสารพอลิเมอร์อินทรีย์ หมายถึงปุ๋ยที่เคลือบด้วยเรซินและเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ ดังนี้

(1) ปุ๋ยที่เคลือบด้วยเรซิน (resin-coated fertilizer) เรซินสังเคราะห์ หมายถึง พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นในรูปของเม็ดหรือผง ยังไม่ได้นำไปผ่านกระบวนการแปรสภาพทำผลิตภัณฑ์ โครงสร้างระหว่างโมเลกุลมีลักษณะของการเชื่อมไขว้ (crosslink) เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic polymer) สำหรับเรซินที่ใช้เคลือบผิวเม็ดปุ๋ยเป็นพวกที่ละลายได้เมื่อมีความร้อนสูง (thermosetting resin) เรซินที่ใช้เคลือบผิวเม็ดปุ๋ยมี 2 ชนิดคือ 1) อัลกิดเรซิน (alkyd resin) คือ พลาสติกชนิดหนึ่งเตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (condensation polymerization) ระหว่างไดไซโคลเพนทาไดอิน (dicyclopentadiene) กับกลีเซอรอลเอสเตอร์ (glycerol

ester) พลาสติกชนิดนี้เกิดการเชื่อมไขว้ระหว่างโมเลกุล จึงไม่ละลายน้ำในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป และ 2) สารคล้ายพอลิเมอร์ยูรีเทน (polyurethane-like compound) ซึ่งผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยาเนต (di-isocyanate) กับแอลกอฮอล์ที่มี -OH หลายหมู่หรือพอลิโออล (polyols) การเคลือบด้วยเรซินชนิดนี้ มีลักษณะพิเศษแตกต่างจากเรซินชนิดอื่นคือ พอลิไอโซไซยาเนตทำปฏิกิริยากับเนื้อปุ๋ยที่ผิวเม็ด สารเคลือบจึงติดแน่นช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกร่อนจากการขีดสีระหว่างเม็ดปุ๋ย เทคโนโลยีการเคลือบแบบนี้ช่วยให้สามารถผลิตปุ๋ยเคลือบด้วยเรซินจากปุ๋ยแบบแกรนูลาร์และแบบพริล (prilled fertilizer) ได้อย่างกว้างขวาง ปุ๋ยที่อยู่ภายในผิวเคลือบเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ง่าย จะเป็นปุ๋ยยูเรีย หรือปุ๋ยเชิงประกอบที่มีจุลธาตุหรือไม่มีจุลธาตุก็ได้

ปัจจัยด้านการเคลือบ ที่ควบคุมให้การปล่อยธาตุอาหารออกจากเม็ดปุ๋ยต่างกัน มี 2 อย่างคือ ใช้เรซินที่มีองค์ประกอบต่างกัน ซึ่งเรซินแต่ละอย่างมีสมบัติในการยอมให้น้ำซึมผ่านไม่เท่ากัน และเคลือบผิวเม็ดปุ๋ยให้มีความหนาต่างกัน

สำหรับปัจจัยภายนอกที่ควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยคือ อุณหภูมิ กล่าวคือในสภาพที่วัสดุปลูกมีอุณหภูมิสูง อัตราการปลดปล่อยจะสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น ช่วงเวลาของการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคลือบในแถบร้อน จะสั้นกว่าในแถบหนาว ซึ่งผู้ผลิตจะต้องระบุว่าเมื่อใช้ในแถบนี้ ปุ๋ยจะปลดปล่อยธาตุอาหารได้เป็นเวลากี่เดือน ส่วนปัจจัยอื่นๆ เช่น กิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน pH และความชื้นของดิน แทบจะไม่มีผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยประเภทนี้ (Osotsapha *et al.*, 2011; Hummel and Waddington, 1981)

(2) ปุ๋ยเคลือบด้วยเทอร์โมพอลิเมอร์ (thermoplastic polymer-coated fertilizers) พอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบผิวเม็ดปุ๋ยคือ พอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) ส่วนวิธีการเคลือบมี ดังนี้ คือนำพอลิเอทิลีนมาทำละลายในตัวทำละลายพวกคลอริเนเท็ด-ไฮโดรคาร์บอน จากนั้นก็นำสารละลายที่ได้ไปฉีดพ่นบนผิวเม็ดปุ๋ยในเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบเพื่องานนี้โดยเฉพาะ สำหรับการควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารออกจากเม็ดปุ๋ย อยู่ที่ส่วนผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ซึ่งยอมให้น้ำซึม

ผ่านได้ช้า กับเอทิลีนไวนิลเอซิเตต ซึ่งยอมให้น้ำซึมได้เร็ว ส่วนวิธีการลดอิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารทำได้โดยการเติมฝุ่นของแร่ระหว่างการเคลือบ ซึ่งมีผลในการควบคุม Q_{10} ของการปลดปล่อยให้มีค่าระหว่าง 1.5-2.0 (Q_{10} คือ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหาร เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10°C)

เทคโนโลยีการเคลือบผิวเม็ดปุ๋ยด้วยเทอร์โมพอลิเมอร์นี้ ใช้ได้กับปุ๋ยแบบแกรนูลาร์และแบบพริลทั่วไป ส่วนวิธีการควบคุมอัตราการปลดปล่อยก็คือ ปรับสัดส่วนของพอลิเอทิลีนกับเอทิลีนไวนิลเอซิเตต (ethylene vinyl acetate, EVA) และปรับเปอร์เซ็นต์ของฝุ่นที่เติมระหว่างการเคลือบให้ได้ปุ๋ยที่ปลดปล่อยธาตุอาหารเร็ว ปานกลาง ช้า และช้ามาก แล้วนำปุ๋ยเหล่านั้นมาผสมกันในสัดส่วนที่ต้องการ (Osotsapha *et al.*, 2011)

ปัจจุบันนี้มีการนำแป้ง เซลลูโลส ลิกนิน ไคโตซาน โปรตีนจากถั่วเหลือง ซี้เจ้าลอย แป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และมอนตมอริลโลไนต์นาโนคอมพอสิต ซึ่งสารทั้งหมดที่กล่าวมานี้มีสมบัติเป็นสารพอลิเมอร์สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการพอง (swelling property) อีกทั้งลดต้นทุนการผลิตและที่สำคัญยังสามารถย่อยสลายตามได้ธรรมชาติ (Farag and Al-Afleq, 2002; Ngamchettanarom, 2002; Shogren *et al.*, 2009; Wiryasuntom and Sripalang, 2015; Zhang and Wang, 2007)

การปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคลือบ

การปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยที่ถูกเคลือบมีกลไก ดังนี้

1. ยูเรียเคลือบกำมะถัน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายการปลดปล่อยยูเรียสู่ดิน จากปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยกำมะถัน กล่าวถึงลักษณะของเม็ดปุ๋ยว่ามีรอยร้าวหรือรูเล็กๆซึ่งมีไขหรือพลาสติกอุดไว้ เมื่อผิวเคลือบถูกจุลินทรีย์ย่อย ก็จะมีรูที่น้ำซึมเข้าไปได้ สารละลายยูเรียจึงแพร่ออกมาจากรูดังกล่าว และอุณหภูมิกับความชื้นของดินก็มีอิทธิพลต่อการแพร่ด้วย

2. ปุ๋ยเคลือบด้วยสารโพลีเอทิลีน มี การปลดปล่อยโดยการแพร่ 3 ระยะ ดังนี้ (Fig. 2)

ผลของปุ๋ยเคลือบในธัญพืช

ระยะที่ 1 ช่วงนี้สิ่งที่เกิดขึ้นคือ ไอน้ำซึมเข้าไปในเม็ดปุ๋ยอย่างช้าๆ แล้วเริ่มละลายปุ๋ยส่วนที่อยู่ใกล้ผิวเคลือบ ในขั้นนี้จะมีพลังขับเคลื่อนอันเกิดจากความแตกต่างของความดัน (vapor pressure) ระหว่างสารเคลือบทั้งสองด้าน เมื่อไอน้ำเข้าไปอยู่ภายในชั้นผิวเคลือบก็จะ 1) ครอบครองเฉพาะที่ว่างในช่องอันจำกัดสองส่วนคือ รูพรุนภายในเนื้อปุ๋ย และช่องระหว่างผิวเคลือบกับปุ๋ยเท่านั้น 2) ทำให้น้ำหนักเม็ดปุ๋ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และ 3) แรงดันภายในสูงขึ้นและปริมาตรของเม็ดปุ๋ยก็โตขึ้นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเม็ดเป็นทีเคลือบด้วยอัลกิดเรซิน สำหรับเวลาในช่วงนี้ คือเวลาที่ทำให้ช่องว่างทั้งหมดมีของเหลวเต็ม ช่วงนี้สิ้นสุดเมื่อสารละลายปุ๋ยเริ่มต้นผนังด้านในของผิวเคลือบและจุดเริ่มต้นของระยะที่สอง

ระยะที่ 2 ปลดปล่อยคองที่ สำหรับอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารในช่วงนี้จะคงที่ ทรายเท่าที่สารละลายอิมตัวของปุ๋ยยังคงสมดุลกับปุ๋ยแข็งที่ยังเหลืออยู่ในเม็ด เนื่องจากความเข้มข้นของของสารละลายปุ๋ยซึ่งอิมตัวและคองที่ ทำให้เกรเดียนต์ความเข้มข้น (concentration gradient) และเกรเดียนต์แรงดัน (pressure gradient) คองที่ จึงเป็นปัจจัยกำหนดค่าของแรงที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนให้ปุ๋ยออกมาภายนอกในอัตราคองที่ ในระยะนี้ปริมาตรของเม็ดปุ๋ยคองที่ แสดงว่าปริมาตรซึ่งลดลงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของปุ๋ยออกไป ได้มีน้ำจากภายนอกเข้ามาชดเชยในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

ระยะที่ 3 การปลดปล่อยลดลง เกิดขึ้นนับตั้งแต่เนื้อปุ๋ยภายในเม็ดได้ละลายหมดแล้ว ต่อจากนั้นแรงที่ใช้ขับเคลื่อนการปลดปล่อยปุ๋ยก็เริ่มลดลงเรื่อยๆ ในช่วงท้ายจะมีปุ๋ยออกมาน้อยมากจนกระทั่งหมดไป (Osotsapha *et al.*, 2011)

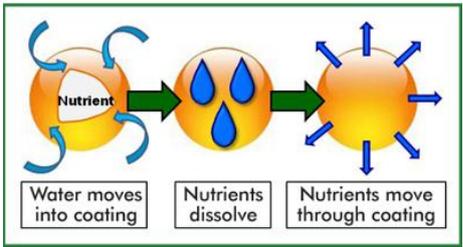


Fig. 2 Release of nutrient from coated fertilizer

Source: Johnston (2000)

จากตัวอย่างการศึกษาผลของสารเคลือบปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของธัญพืชพืช ในประเทศจีน Dong *et al.* (2016) ศึกษาเกี่ยวกับผลของปุ๋ยเคลือบต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยดำเนินการปลูกข้าวโพดในชุดดิน Alfisol ในปี 2011 ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีชานตง โดยใช้วัสดุเคลือบปุ๋ย คือ ซีเมนต์ลอย (fly ash) และ polyvinyl alcohol (สารอินทรีย์ยัดเกาะ) และมี dicyandiamide (DCD) เป็นสารยับยั้งการสูญเสีย N ในรูป NO_3^- จากการชะล้างและการปลดปล่อย N_2O ขึ้นสู่บรรยากาศ โดยมีกรรมวิธีทดลองทั้งหมด 6 กรรมวิธี ได้แก่ 1) CK (ไม่ใส่ปุ๋ย), 2) CCF (NPK: 15-6.55-12.40), 3) CRF (ปุ๋ยเคลือบเรซิน + NPK: 15-6.55-12.40), 4) FCRF1 (วัสดุเคลือบปุ๋ย 24% +ปุ๋ยผสม 75% (NPK: 15-6.55-12.40) +1% DCD), 5) FCRF2 (วัสดุเคลือบปุ๋ย 23%+ปุ๋ยผสม 75% (NPK: 15-6.55-12.40) +2%DCD) และ 6) FCRF3 (วัสดุเคลือบปุ๋ย 21% +ปุ๋ยผสม 75% (NPK: 15-6.55-12.40) +4%DCD) ผลการศึกษา พบว่า กรรมวิธีการเคลือบปุ๋ย (FCRF1) ทำให้ค่าดัชนีของ SPAD (บ่งถึงการสังเคราะห์แสงของพืช) ของข้าวโพดในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการเจริญเติบโตมีแนวโน้มสูงกว่ากรรมวิธีไม่เคลือบปุ๋ย (CCK) (Table 1)

องค์ประกอบของผลผลิตและผลผลิตเมล็ดข้าวโพด พบว่า กรรมวิธีที่มีการเคลือบปุ๋ยมีแนวโน้มให้จำนวนแถวต่อฝัก จำนวนเมล็ดต่อแถว ความยาวฝัก น้ำหนัก 1000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ด ผลผลิตทั้งหมด และผลผลิตเมล็ดสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่เคลือบปุ๋ย (CCK) (Table 2 และ Table 3)

Table 1 Effect of different fertilizer treatments on SPAD index under different growth stages of maize leaves

Treatment	Joining stage	Tasseling stage	Filling stage	Maturity stage
CK: (control)	41.9±2.3 ^c	46.0±0.3 ^a	44.4±2.2 ^d	36.02.8d
CCK: (NPK: 15-6.55-12.40)	48.1±1.8 ^{ab}	49.1±1.8 ^{bc}	51.7±3.0 ^c	42.2±1.6 ^c
CRF: (Resin+ NPK: 15-6.55-12.40)	47.8±1.8 ^{ab}	52.9±3.8 ^{ab}	55.7±0.2 ^{ab}	46.2±1.0 ^b
FCRF1: (Resin 24%+75% (NPK: 15-6.55-12.40)+1% DCD)	49.7±1.3 ^a	53.1±3.0 ^{ab}	58.8±1.5 ^a	54.6±1.6 ^a
FCRF2: (Resin 23%+75% (NPK: 15-6.55-12.40)+2% DCD)	45.2±0.4 ^{bc}	52.0±2.3 ^{ab}	58.4±1.9 ^a	53.9±2.5 ^a
FCRF3: (Resin 21%+75% (NPK: 15-6.55-12.40)+4%DCD)	46.6±4.7 ^{ab}	54.6±3.0 ^a	54.4±0.7 ^{bc}	53.8±1.7 ^a

All data are means of 3 replications. Means values marked with different letters indicate significant differences at P = 0.05 level

Source: Dong *et al.* (2016)

Table 2 Effect of different fertilizer treatments on agronomic characters of maize

Treatment	Row/ear	Kernel/row	Ear length (cm)	Kernel/ear	1000-Kernel weight (g)
CK: (control)	13.0±1.3 ^b	20.3±4.2 ^c	15.2±2.6 ^d	264.5 ^d	251.0 ^c
CCK: (NPK: 15-6.55-12.40)	14.2±0.4 ^{ab}	27.2±2.5 ^b	17.7±0.9 ^{cd}	387.0 ^c	276.9 ^{bc}
CRF: (Resin+ NPK: 15-6.55-12.40)	15.4±1.2 ^a	31.3±1.3 ^b	20.2±0.3 ^{bc}	480.1 ^{bc}	284.4 ^{abc}
FCRF1: (Resin 24%+75% (NPK: 15-6.55-12.40)+1% DCD)	15.3±0.7 ^a	39.1±4.0 ^a	22.5±2.5 ^{ab}	601.3 ^a	335.1 ^a
FCRF2: (Resin 23%+75% (NPK: 15-6.55-12.40)+2% DCD)	14.7±1.5 ^{ab}	39.4±4.1 ^a	23.2±1.0 ^a	576.4 ^{ab}	325.7 ^{ab}
FCRF3: (Resin 21%+75% (NPK: 15-6.55-12.40)+4%DCD)	13.9±1.5 ^{ab}	38.5±1.4 ^a	22.4±0.4 ^{ab}	536.1 ^{ab}	311.9 ^{ab}

All data are means of 3 replications. Means values marked with different letters indicate significant differences at P = 0.05 level

Source: Dong *et al.* (2016)

Table 3 Effect of different fertilizer treatments on yields of maize

Treatment	Grain yield (Kg/ha)			Total yield		
	Yield (kg/ha)	Compare to CK (+%)	Compare to CCK (+%)	Yield (kg/ha)	Compare to CK (+%)	Compare to CCK (+%)
CK: (control)	4685.0 ^d	-	-	16658.3 ^e	-	-
CCK: (NPK: 15-6.55-12.40)	5710.5 ^c	21.9	-	33354.2 ^d	18.3	-
CRF: (Resin+ NPK: 15-6.55-12.40)	7621.7 ^{ab}	62.7	33.5	50725.4 ^c	38.4	17.0
FCRF1: (Resin 24%+75% (NPK: 15-6.55-12.40)+1% DCD)	7078.6 ^b	51.1	24.0	6817.6 ^b	86.0	57.2
FCRF2: (Resin 23%+75% (NPK: 15-6.55-12.40)+2% DCD)	7504.8 ^{ab}	60.2	31.4	71379.4 ^b	94.7	64.6
FCRF3: (Resin 21%+75% (NPK: 15-6.55-12.40)+4%DCD)	7753.9 ^a	65.5	35.8	89938.6 ^a	106.2	74.4

All data are means of 3 replications. Means values marked with different letters indicate significant differences at P = 0.05 level

Source: Dong *et al.* (2016)

นอกจากนี้ Zhao *et al.* (2013) ได้ทำการศึกษาคผลของปุ๋ยที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อประสิทธิภาพการดูดใช้ N ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในฤดูร้อนโดยใช้ข้าวโพดพันธุ์ไฮบริก Zhengdan 958 ที่ฟาร์มของมหาวิทยาลัยเกษตรมณฑลชานตงของประเทศจีน ได้ปลูกข้าวโพดในดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam soil) ใน 2 ฤดูกาลปลูก คือ ปี 2005 และ 2006 การศึกษานี้ใช้สารเคลือบปุ๋ย 2 ชนิด คือ 1) เรซิน (resin-coated; CRF) และ 2) กำมะถัน (sulfur-coated; SCF) โดยทำการทดลองแบบ RCBD โดยมีกรรมวิธีการทดลอง 8 กรรมวิธี คือ 1) CK (ไม่ใส่ปุ๋ย) 2) CCF (1250 กก. N/เฮกตาร์) 3) CRFI (1428.57 กก. N/เฮกตาร์) 4) CRFII (1071.43 กก. N/เฮกตาร์) 5) CRFIII (1428.57 กก. N/เฮกตาร์) 6) SCFI (833.33 กก. N/เฮกตาร์) 7) SCFII (1250 กก. N/เฮกตาร์) และ 8) SCFIII (1666.67 กก. N/เฮกตาร์) ผลการศึกษา พบว่า จำนวนแถว/ฝัก จำนวนเมล็ด/แถว และจำนวนเมล็ด/ฝัก ในแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่น้ำหนัก 1000 เมล็ด พบว่า กรรมวิธีที่ทำให้ น้ำหนักเมล็ดมากที่สุด คือ CRFIII ส่วนผลผลิตเมล็ดในทั้งปี 2005และ2006 กรรมวิธี CRFII และ SCFII ให้ผลผลิตเมล็ดสูงที่สุด (Table 4) นอกจากนี้ กรรมวิธี CRFII, CRFIII, SCFII และ SCFIII ให้ผลผลิตเมล็ดมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆ แต่

ประสิทธิภาพการดูดใช้ N ในกรรมวิธี CCF, CRFI, CRFII, SCFII และ SCFIII มีการดูดใช้ N เพื่อมาสร้างผลผลิตเมล็ดได้มากกว่ากรรมวิธี CRFI และ SCFI (Table 5)

ในประเทศจีนเช่นกัน Chen *et al.* (2017) ได้ศึกษาผลของการเคลือบและไม่เคลือบปุ๋ยต่อผลผลิตและประสิทธิภาพการดูดใช้ N ของข้าวพันธุ์ Shengtaiyou 9712 ที่ปลูกในดินเหนียว (clayey soil) ในปี 2014 และ 2015 ประกอบด้วย 3 กรรมวิธีทดลอง คือ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) 2) ใส่ปุ๋ยสูตร 20-5-10 อัตรา 135 กก./เฮกตาร์ ที่ไม่ได้เคลือบตามรูปแบบของเกษตรกร โดยแบ่งใส่ปุ๋ยออกเป็น 2 ครั้งๆ ละ 67.50 กก./เฮกตาร์ คือ ในช่วงก่อนปลูกข้าว และระยะข้าวแตกกอ (T2) และ 3) ใส่ปุ๋ยสูตร 20-5-10 อัตรา 108 กก./เฮกตาร์ ที่เคลือบ โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนที่จะปลูกพืช (T3) พบว่า กรรมวิธี T2 และ T3 มีประสิทธิภาพการดูดใช้ N และให้ผลผลิตสูงกว่า T1 ($P < 0.05$) แต่ให้ผลไม่แตกต่างกันระหว่าง T2 และ T3 ($P > 0.05$) (Table 6) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธี T2 ทำให้สิ้นเปลืองแรงงาน และค่าปุ๋ยมากกว่า T3 เนื่องจาก T2 มีการแบ่งใส่ ออกเป็น 2 ครั้ง ขณะที่ T 3 ใส่ปุ๋ยก่อนปลูกแค่ครั้งเดียว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลือบปุ๋ยทำให้ปุ๋ยละลายได้ช้าขึ้นและเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้นด้วย

Table 4 Effect of controlled-release fertilizer on yield and its component of summer maize

Treatment	Row/ear	Kernel/row	Kernel/ear	1000-kernel weight (g)	Grain yield (kg/ha)	
					2005	2006
CK: (control)	14.44	39.02	563.65	281.17 ^e	-	-
CCF: (1250 kg N/ha)	14.95	40.74	609.02	293.72 ^d	1056 ^e	1349 ^e
CRFI: (1428.57 kg N/ha)	14.53	39.93	580.36	298.20 ^{cd}	2257 ^c	1790 ^d
CRFII: (1071.43 kg N/ha)	15.20	40.83	620.67	300.71 ^c	2882 ^a	3064 ^a
CRFIII: (1428.57 kg N/ha)	14.60	41.70	608.82	316.29 ^a	2571 ^b	2339 ^b
SCFI: (833.33 kg N/ha)	14.67	40.57	595.04	296.58 ^{cd}	1763 ^d	2035 ^c
SCFII: (1250 kg N/ha)	14.80	42.07	622.59	299.77 ^{cd}	3060 ^a	2819 ^a
SCFIII: (1666.67 kg N/ha)	15.07	41.16	620.08	308.53 ^b	2629 ^b	2033 ^c

All data are means of 3 replications. Means values marked with different letters indicate significant differences at $P = 0.05$ level

Source: Zhao *et al.* (2013)

Table 5 Effect of different controlled-release fertilizer treatments on N use efficiency of maize

Treatment	Grain yield (t/ha)	Total N uptake (kg N/ha)	Physiological N use efficiency (kg _{grain} /kg N)
CK: (control)	9.38 ^d	177.83	-
CCF: (1250 kg N/ha)	11.38 ^c	242.3	30.97 ^{ab}
CRFI: (1428.57 kg N/ha)	11.56 ^{bc}	257.82	27.19 ^b
CRFII: (1071.43 kg N/ha)	12.38 ^{ab}	256.28	31.59 ^{ab}
CRFIII: (1428.57 kg N/ha)	12.72 ^a	276.11	33.92 ^{ab}
SCFI: (833.33 kg N/ha)	11.33 ^c	246.82	28.24 ^b
SCFII: (1250 kg N/ha)	12.52 ^a	263.28	36.74 ^a
SCFIII: (1666.67 kg N/ha)	12.81 ^a	282.48	32.74 ^{ab}

All data are means of 3 replications. Means values marked with different letters indicate significant differences at P = 0.05 level

Source: Zhao *et al.* (2013)

Table 6 Total nitrogen uptake, grain yield and yield component of rice under three fertilizer treatments in 2014 and 2015

Year, season, and treatment	Total N uptake (kg/ha)	Grain yield (t/ha)	Panicles/m ²
2014 Early season			
T1	44.12 ^b	5.65 ^b	172.73 ^b
T2	104.95 ^a	8.84 ^a	315.15 ^a
T3	93.87 ^a	8.47 ^a	313.13 ^a
2014 Late season			
T1	45.91 ^b	5.46 ^b	213.13 ^c
T2	102.78 ^a	8.92 ^a	348.49 ^a
T3	96.67 ^a	8.58 ^a	314.14 ^b
2014 Early season			
T1	70.39 ^b	5.61 ^b	189.90 ^b
T2	153.43 ^a	9.78 ^a	343.44 ^a
T3	142.41 ^a	9.44 ^a	312.12 ^a
2014 Late season			
T1	55.36 ^b	4.58 ^b	203.03 ^b
T2	125.86 ^a	8.71 ^a	358.59 ^a
T3	120.69 ^a	8.59 ^a	334.34 ^a

All data are means of 3 replications. Means values marked with different letters indicate significant differences at P = 0.05 level.

Source: Chen *et al.* (2017)

ในประเทศบราซิล Zavaschi *et al.* (2014) ได้ทำการศึกษาผลของยูเรียที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อการระเหยของ NH₃ และองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยได้ทำการทดลองในปี 2009-2010 ในดินเหนียว Geric Ferralsol โดยมีการเปรียบเทียบปุ๋ย N ที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ (PCU) และปุ๋ย N ไม่มีการเคลือบ (CU) มีกรรมวิธีทดลอง 7 กรรมวิธี ดังนี้ 1) control (ไม่ใส่ปุ๋ย) 2) PCU 45 (ยูเรียอัตรา 45 กก. N/เฮกตาร์ เคลือบด้วยพอลิเมอร์) 3) PCU 67.5 (ยูเรียอัตรา 67.5 กก. N/เฮกตาร์ เคลือบด้วยพอลิเมอร์) 4) PCU 90 (ยูเรียอัตรา 90 กก. N/เฮกตาร์ เคลือบด้วยพอลิเมอร์) 5) CU 45 (ยูเรียอัตรา 45 กก. N/เฮกตาร์) 6) CU 67.5 (ยูเรียอัตรา 67.5 กก. N/เฮกตาร์) และ 7) CU 90 (ยูเรียอัตรา 90 กก. N/เฮกตาร์) พบว่า การเคลือบปุ๋ยด้วยพอลิเมอร์มีแนวโน้มช่วยลดการสูญเสีย N ในการระเหยเป็น NH₃ ได้ (P>0.05) ส่วนปริมาณ N ในใบ ปริมาณ N ในเมล็ด ค่า SPAD และผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้นเมื่อใส่อัตราปุ๋ยยูเรียเพิ่มขึ้น แต่การเคลือบปุ๋ยและไม่เคลือบปุ๋ยไม่ทำให้ค่าเหล่านี้แตกต่างกัน (P>0.05) (Table 7) การศึกษาในประเทศอียิปต์ของ Zeidan and El Kramany (2001) ได้ทำการศึกษาผลของปุ๋ย N ที่ปลดปล่อยช้าที่มีต่อผลผลิตของข้าวสาลี (*Triticum Aestivum* L.) ที่ปลูกในดินทรายในปี 1998/1999 และ 1999/2000 โดยมีกรรมวิธีการทดลอง 4 กรรมวิธี ได้แก่ 1) control (ไม่ใส่ปุ๋ย), 2)

(NH₄)₂SO₄, 26% N, 3) NH₄NO₃, 33.5% N และ 4) ปุ๋ย N ที่ปลดปล่อยช้า (slow-release N, 40% N) พบว่า การใส่ปุ๋ยให้จำนวนต้น/กอ และจำนวนรวง/ต้น สูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ย และการใส่ปุ๋ย N ที่ปลดปล่อยช้าให้น้ำหนัก 1000 เมล็ด และน้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดิน สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีและไม่ใส่ปุ๋ย (Table 8) นอกจากนี้ผลผลิตเมล็ด น้ำหนักแห้ง

ส่วนที่อยู่เหนือดิน ความเข้มข้นของ N ในเมล็ด และโปรตีนในเมล็ด ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย N ที่ปลดปล่อยช้า ให้ค่าสูงกว่าในกรรมวิธีอื่นๆ ส่วนดัชนีการเก็บเกี่ยวและความเข้มข้นของ P ในเมล็ดให้ค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธีการทดลอง (Table 9)

Table 7 Loss of volatilized NH₃-N, nitrogen concentration in maize leaves and grains, SPAD readings and grain yield followed by the significance of the factor

N sources	Rates	Volatilized NH ₃ (kg/ha)	Leaf N content (g/ha)	Grain N content (g/ha)	SPAD	Grain yield (kg/ha)
Control	0	-	26.9	10.6	38.8	6196
Coated urea	PCU 45 kg N/ha	18.1	28.3	10.9	42.6	7258
	PCU 67.5 kg N/ha	17.4	30.7	11.2	43.2	7484
	PCU 90 kg N/ha	22.8	27.8	11.1	42.5	7389
Conventional urea	CU 45 kg N/ha	14.3	26.2	11.2	38.6	6547
	CU 67.5 kg N/ha	25.6	30.7	11.2	42.4	6721
	CU 90 kg N/ha	26.6	29.6	11.8	43.7	7292
N sources		NS	NS	NS	NS	NS
Rates		NS	**	**	*	**
N sources x rates		NS	NS	NS	NS	NS
LSD		5.8	1.1	0.3	1.6	444
CV (%)		32.0	5.0	3.0	5.0	9.0

PCU 45: Polymer-coated urea (45 kg N/ha); PCU 67.5: Coated urea (67.5 kg N/ha); PCU 90: Coated urea (90 kg N/ha); CU 45: Conventional urea (45 kg N/ha); CU 67.5: Conventional urea (67.5 kg N/ha); CU 90: Conventional urea (90 kg N/ha). NS=non-significant, * and ** =significant at 5 and 1% by the F Test

Source: Zavaschi *et al.* (2014)

Table 8 Yield component of wheat plants as affected by N sources

Parameters/N sources	Plant height (cm)	Number of			1000-grain weight (g)	Biological yield (g/plant)
		Tillers /plant	Spikes /plant	Spikelet /spike		
Control	103.3	3.2	3.1	22.3	34.5	11.6
(NH ₄) ₂ SO ₄	106.8	3.6	3.6	23.5	36.5	12.0
NH ₄ NO ₃	105.6	4.0	3.9	33.6	36.5	12.2
Slow-release N fertilizer	107.2	3.5	3.4	22.9	38.6	12.7
LSD _{5%}	NS	0.19	0.23	NS	1.93	0.7

NS =non-significant

Source: Zeidan and El Kramany (2001)

Table 9 Yield component, nitrogen, phosphorus and protein content in wheat grain as affected by N sources

Parameters/ N sources	Grain yield (t/ha)	Biological Yield (t/ha)	Harvest index (%)	Grain N content (g N/kg)	Grain P content (g P/kg)	Grain Protein (%)
Control	4.05	5.60	38.6	20.3	2.4	9.6
(NH ₄) ₂ SO ₄	4.29	6.00	40.5	21.7	2.6	10.0
NH ₄ NO ₃	4.17	5.90	39.5	21.5	2.5	10.5
Slow-release N fertilizer	4.52	6.30	41.2	22.7	2.9	11.8
LSD _{5%}	0.04	0.05	NS	0.33	NS	0.10

NS =non-significant

Source: Zeidan and El Kramany (2001)

สรุป

การเคลือบปุ๋ยด้วยวัสดุต่างๆ เช่น เรซิน พอลิเมอร์ และวัสดุอินทรีย์ (ซีเมนต์) สามารถช่วยลดการปลดปล่อยธาตุอาหารและทำให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้นและยังส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของ

ธัญพืช (เช่นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าว และข้าวสาลี) เพิ่มขึ้นมากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีที่ไม่ได้เคลือบ การเคลือบปุ๋ยสามารถช่วยลดการสูญเสียของธาตุอาหารจากปุ๋ยโดยเฉพาะไนโตรเจน (Nitrogen, N) ที่จะสูญเสียในรูปการระเหยเป็น NH₃ (NH₃ volatilization)

References

- Agricultural Editor. 2016. New Thai Fertilizer Innovation. Panyachon Bangkok. 168 pp. (In Thai).
- Camsizer. 2011. Accurate measurement of fertilizer with the CAMSIZER [online]. [Accessed November 30, 2017]. Available from: URL: <https://www.slidesha-re.net>.
- Chen, J., Cao, F., Xiong, H., Huang, M., Zou, Y. and Xiong, Y. 2017. Effects of single basal application of coated compound fertilizer on yield and nitrogen use efficiency in double-cropped rice. The Crop Journal. 5: 265-270.
- Dong J.Y., Chen W.F., and Qiu, X K. 2016. Effects of new coated release fertilizer on the growth of maize. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 16(3): 637-649.
- Farag, S., and AL-Afaleq, E.I. 2002. Preparation and characterization of saponified delignified cellulose polyacrylonitrile-graft copolymer. Carbohydrate Polymers. 48: 1-5.
- Greer, F. R., Shannon, M., Committee on Nutrition and Committee on Environmental Health. 2005. Infant methemoglobinemia: the role of dietary nitrate in food and water. Pediatrics. 116: 784-786.
- Haifa Chemical Thailand. 2012. Multicote Agri [online]. [Accessed November 30, 2017]. Available from: URL: www.haifagroup.com/.
- Hummel, N.W., Jr. and Waddington, D.V. 1981. Evaluation of slow-release nitrogen sources on Baron Kentucky bluegrass. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 966-970.
- Johnston, A.E. 2000. Soil and Plant Phosphate. International fertilizer Industry Association (IFA), Paris. The

- Mosaic Company. 2016. Coated fertilizer [online]. [Accessed November 30, 2017]. Available from: URL: <http://www.cropnutrition.com>.
- Ngamchettanarom, N. 2002. Development of slow release protein-coated chemical fertilizer using soy bean residue. Master thesis, Department of Chemical Engineering, Chulalongkorn University. (In Thai).
- Osotsapha, Y., Wongmaneerot, A. and Hongprayoon, C. 2011. Fertilizer for Sustainable Agriculture. 2nd Edition. Faculty of Agriculture at Kamphaeng Sae, Kasetsart University. 519 pp. (In Thai).
- Panchapan, S. 2002. Fertilizer Technology. Land Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University. 326 pp. (In Thai).
- Sanyal, S.K. and De-Datta, S.K. 1991. Chemistry of phosphorus transformation in soil. *Adv Soil Sci.* 16: 1-119.
- Shaviv, A. 2001. Advances in controlled-release fertilizer. *Adv Agron.* 71: 1-49.
- Shogren, R.L., Willett, J.L. and Bilwas, A. 2009. HRP-mediated synthesis of starch-polyacrylamide graft copolymers. *Carbohydr Polym.* 75(1): 189-191.
- Sukhothai Thammathirat Open University. 2005. Handout of Soil, Water and Fertilizer Module. 11st Edition: Sukhothai Thammathirat Open University. 432 pp. (In Thai).
- Suwanarit, A. 2010. Fertilizer, Agriculture and Environment. 3rd Edition. Faculty of, Kasetsart University. 156 pp. (In Thai).
- Vityakon, P. 2004. Advanced Soil Fertilizer. 2nd Edition. Faculty of Agriculture, Khon Kaen University. 423 pp. (In Thai).
- Wiriyasuntorn, S. and Sripalang, S. 2015. Preparation of Cassava Starch/Poly (vinylalcohol)/ Montmorillonite Nanocomposites for Coating Controlled-Release Fertilizer. *KKU Sci. J.* 43(3): 503- 514. (In Thai).
- Wu, S.C. Cao, Z.H. Li, Z.G. Cheung, K.C. and Wong, M.H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma.* 125: 155-166.
- Zavaschi, E., de Abreu Faria, L. Vitti, G.C. da Costa Nascimento, C.A. de Moura, T.A. do Vale, D.W. Mendes, F.L. and Kamogawa M.Y. 2014. Ammonia volatilization and yield components after application of polymer-coated urea to maize. *R. Bras. Ci. Solo.* 38: 1200-1206.
- Zeidan, M.S. and El Kramany, M.F. 2001. Effect of organic manure and slow-release N-fertilizers on the productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.) in sandy soil. *Acta Agronomica Hung.* 49(4): 379-385.
- Zhang, J.P. and Wang, A.Q. 2007. Synthesis and characterization of chitosan-g-poly (acrylicacid)/attapulgit superabsorbent composites. *Carbohydr Polym.* 68: 367-374.
- Zhao B., Dong, S., Zhang, J.W. and Liu, P. 2013. Effects of controlled-release fertilizer on nitrogen use efficiency in summer Maize. *Plos One.* 8(8): 7056.

การปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ด้วยเทคนิค Seed priming

นภาพร เวชกามา* และ พีระยศ แข็งขัน

ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

บทคัดย่อ

ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เป็นองค์ประกอบของคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่สำคัญที่สุด เมล็ดที่ดีต้องมีความงอกและความแข็งแรงสูงและตรงตามสายพันธุ์ เมื่อเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้เป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเมล็ด ทำให้ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ลดลง ซึ่งส่งผลต่อการเพาะปลูก ดังนั้น การเตรียมความพร้อมเมล็ดจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้เมล็ดมีความพร้อมในการงอกในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ การเตรียมการงอก (priming) มี 3 วิธี คือ Hydropriming, Osmopriming และ Solid matrix priming การเตรียมการงอกเมล็ดเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทางสรีรวิทยา โดยให้เมล็ดดูดน้ำเพื่อกระตุ้นการงอก แต่ยังไม่ถึงระดับที่ทำให้รากงอก อย่างไรก็ตามการทำ priming ส่งผลทำให้เมล็ดใช้ระยะเวลาในการงอกลดลง มีความงอกสม่ำเสมอ และเจริญเติบโตได้เร็วนำไปสู่การได้ผลผลิตสูง การกระตุ้นการงอกของเมล็ดสามารถทำได้ด้วยการใช้น้ำ หรือสารละลายชนิดต่างๆ เช่น PEG6000, KNO₃, KCl, NaCl และ Vitamin C ทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกและความเร็วในการงอกของเมล็ดเพิ่มมากขึ้น และมีความแข็งแรงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมการงอก

คำสำคัญ : การเตรียมการงอก คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ และการดูดน้ำ

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: Pooh_pik04@hotmail.com

Improvement of Seed Qualities with Seed Priming Techniques

Napharporn Wetchakama^{*} and Phirayot Khaengkhan

*Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Maha Sarakam University,
Maha Sarakam, 44150, Thailand*

Abstract

Germination and vigor of seeds are important factors of seed qualities. Germination, vigor and varital purity are the main factors of the high quality of seed. Postharvest and storage live effecting on seed deterioration such as decrease of germination rate and vigor. Preparation of physiological of seed as the one processing to ensure that seed can germinate in an unsuitable environment. There are 3 techniques including hydropriming, osmopriming and solid matrix priming. Seed priming is the techniques for improve physiological of seeds. In seed priming, seed is hydrated in a suitable condition aiming to provide adequate water to start the metabolism processes of germination, but does not reach the root germination seed priming decrease of germination time, uniform seedling, high growth rate and lead to high yield production. Seed priming with water and different types of solutions such as PEG6000, KNO₃, KCl, NaCl and Vitamin C that increasing seed germination, high of germination and seed vigor more than non-primed seed.

Keywords : Seed priming, Seed quality and Imbibition

* Corresponding author: E-mail: Pooh_pik04@hotmail.com

เมล็ดพันธุ์ เป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการกำหนดปริมาณและคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร เพราะเมล็ดเป็นส่วนขยายพันธุ์ของพืชที่สำคัญที่สุด หากเกษตรกรเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ที่ดีมีคุณภาพโดยเริ่มตั้งแต่อัตราความงอกสูง มีสิ่งเจือปนหรือพันธุ์ปลอมปนเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ รวมถึงกรรมวิธีการผลิตที่ได้มาตรฐานด้วยก็จะทำให้เกษตรกรมีโอกาสประสบความสำเร็จในการผลิตสูง (Srikaow, 2016) เห็นได้จากการค้าและอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์ของประเทศไทยที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมีความสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ โดยประเทศไทยก้าวสู่การเป็นผู้นำในการส่งออกเมล็ดพันธุ์ในภูมิภาค และเป็นอันดับที่ 12 ของโลก ในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์ประมาณ 7,000 ล้านบาท (Thai Seed Trade Association, 2017) คุณภาพเมล็ดพันธุ์ ซึ่งได้แก่ ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ด จึงเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการกำหนดราคาและค่าตอบแทนให้แก่เกษตรกรได้

การผลิตเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันยังพบปัญหาหลายประการเนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่ผลิตได้มีความงอกและความแข็งแรงต่ำ เนื่องจากกระบวนการผลิต กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาไม่เหมาะสม ส่งผลให้เมล็ดเกิดการเสื่อมสภาพ ความงอกและความแข็งแรงลดลง ทำให้เป็นอุปสรรคในการประกอบธุรกิจการค้าเมล็ดพันธุ์ จากการศึกษาจากนักวิจัยหลายท่านได้รายงานไว้ว่าเมล็ดพันธุ์เหล่านั้นสามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นได้โดยการเตรียมการงอก หรือ seed priming เป็นวิธีการเพิ่มคุณภาพเมล็ดพันธุ์ภายใต้ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับวิธีการใช้ความชื้นและสารเคมีชนิดต่างๆ โดยเป็นการเตรียมความพร้อมให้แก่เมล็ดก่อนการงอก ทำให้เมล็ดมีความสามารถในการงอกเพิ่มขึ้น งอกได้เร็วสม่ำเสมอ และเป็นการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ให้สูงขึ้น ซึ่งการเตรียมการงอกนี้มีหลายวิธีด้วยกัน ดังนั้น การเลือกใช้เทคนิคที่เหมาะสมกับเมล็ดพันธุ์ชนิดต่างๆ จึงมีความสำคัญต่อการเตรียมการงอกของเมล็ดให้ประสบความสำเร็จ เพื่อแก้ปัญหาเมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพและใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณภาพต่อไป

เมล็ดพันธุ์ หมายถึง คัพภะหรือโอวูล (ovule) ที่เจริญเต็มที่หรืออีกนัยหนึ่งคือผลที่สุกแก่ เมล็ดพันธุ์ที่ดีต้องเป็นเมล็ดที่สุกแก่ มีชีวิต และสามารถงอกให้ต้นพืชได้ มีคุณภาพและมีคุณค่าในการเพาะปลูกเป็นตัวกลางถ่ายทอดลักษณะดีเด่นของพืชไปสู่การผลิตพืช เมื่อเก็บเกี่ยวเมล็ดนำมาปรับปรุงสภาพหรือเก็บรักษามาระยะหนึ่งเมล็ดจะมีการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการต่างๆ เช่น ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดลดลง (Duangpatra, 1986)

คุณภาพเมล็ดพันธุ์ หมายถึง ลักษณะต่างๆ ของเมล็ดพันธุ์ทั้งกองอันเป็นผลมาจากแต่ละเมล็ดแสดงลักษณะต่างๆ ออกมารวมกัน เมล็ดที่มีคุณภาพสูงจึงเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีความสามารถในการตั้งตัวเป็นต้นกล้าที่แข็งแรงมีความสม่ำเสมอและเจริญเติบโตได้ดีกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพต่ำและส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้นได้ (Duangpatra, 1986)

Santipracha (1997) ได้บรรยายองค์ประกอบของคุณภาพเมล็ดพันธุ์ไว้ ดังนี้

- 1) ความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์ (seed physical purity) หมายถึง ลักษณะรวมของกองเมล็ดพันธุ์ว่ามีเมล็ดพันธุ์พืชที่ต้องการอยู่ในสัดส่วนเท่าไรสิ่งไม่พึงประสงค์ต่างๆ เช่น เมล็ดพันธุ์พืชอื่น เมล็ดวัชพืช และสิ่งปะปนอยู่น้อยเพียงใด
- 2) ความบริสุทธิ์ของสายพันธุ์ (varietal purity) หมายถึง การตรงตามพันธุ์ของสายพันธุ์ที่ระบุไว้ไม่มีสายพันธุ์อื่นมาปน
- 3) ความงอกหรือความมีชีวิต (seed germination or seed viability) หมายถึง สัดส่วนหรือ % ของเมล็ดพันธุ์ที่งอกจากจำนวนที่เพาะและเมล็ดที่งอกต้องมีการเจริญเติบโตของต้นกล้าที่จะเจริญไปเป็นต้นพืชเพื่อให้ผลผลิตต่อไป
- 4) ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (seed vigor) หมายถึง ลักษณะดีเด่นบางประการของเมล็ดพันธุ์ที่แสดงออกมาให้เห็นเมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม หรือแปรปรวนผิดปกติ เมล็ดที่มีความแข็งแรงสูงย่อมงอกได้ดีและสม่ำเสมอ
- 5) ความชื้นของเมล็ด (seed moisture) คือ น้ำที่อยู่ออย่างอิสระในเมล็ดพืชอาจอยู่ในช่องว่างหรือเคลือบ

โมเลกุลของสาร และส่วนต่างๆ ในเมล็ดพันธุ์โดยไม่รวมกับน้ำที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ด

6) ขนาดของเมล็ด (seed size) หมายถึง ความเล็กใหญ่ซึ่งอาจวัดได้ในรูปความกว้าง ความยาว ความหนา หรือเส้นผ่าศูนย์กลางของเมล็ด เมล็ดที่ดีควรมีรูปร่างขนาดเมล็ดที่สม่ำเสมอ

7) น้ำหนักแห้งของเมล็ด (seed dry matter) คือน้ำหนักแห้งของเมล็ดที่ซึ่งได้อาจแสดงในรูปน้ำหนัก 100 เมล็ด หรือน้ำหนัก 1,000 เมล็ดหรือจำนวนเมล็ดต่อหน่วยน้ำหนัก เมล็ดที่หนักจะมีคุณภาพดีกว่าเมล็ดพันธุ์ที่น้ำหนักเบา

8) สีเมล็ด (seed color) เมล็ดพันธุ์ที่ดีต้องมีสีสดใส สม่ำเสมอและตรงตามสายพันธุ์

9) สุขภาพเมล็ดพันธุ์ (seed health) คือไม่มีโรคและแมลงติดปะปนมากับเมล็ด

องค์ประกอบดังกล่าวของคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์มีความสำคัญมากที่สุด เพราะปัจจัยทั้งสองนี้เป็นพื้นฐานสำคัญของต้นกล้าที่จะนำไปสู่การได้รับผลผลิตที่ดี ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เกิดขึ้นสูงสุดเมื่อเมล็ดพันธุ์มีการสุกแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) หลังจากระยะนี้ไปแล้วความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์จะลดลงและหลีกเลี่ยงไม่ได้ จนถึงการเสื่อมคุณภาพที่เกิดขึ้นภายในเมล็ด

การเสื่อมคุณภาพเมล็ดพันธุ์

เมล็ดที่มีพัฒนาการจนถึงจุดสุกแก่ทางสรีรวิทยาถือเป็นจุดที่เมล็ดมีการพัฒนาสมบูรณ์ที่สุด ณ จุดนี้เมล็ดจะมีคุณภาพสูงสุดขณะเดียวกันเมล็ดก็เริ่มมีการเสื่อมคุณภาพเกิดขึ้นที่จุดนี้ด้วย เมื่อเวลาผ่านไป การเสื่อมคุณภาพของเมล็ดจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเสื่อมสภาพต่างๆ ทั้งทางโครงสร้าง สรีรวิทยาหรือชีวเคมีของเมล็ดพันธุ์ การเสื่อมสภาพลำดับแรกสุดจะเกิดที่เยื่อหุ้มเซลล์ ต่อมากิจกรรมของเอนไซม์ลดลง อัตราการหายใจลดลง กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น อัตราการงอกลดลง เมล็ดพันธุ์งอกในสภาพแวดล้อมจำกัด ความสามารถในการเก็บรักษาลดลงรวมทั้งอัตราการเจริญเติบโตและพัฒนาการของต้นกล้า

ลดลงซึ่งอาจมีผลไปถึงความสม่ำเสมอของต้นกล้าที่นำไปปลูก (Duangpatra, 1986)

Delouche and Baskins (1973) ได้กล่าวถึงการเสื่อมสภาพของเมล็ดไว้ 3 ประการ คือ

1) การเสื่อมสภาพของเมล็ดเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติไม่สามารถป้องกันหรือหยุดยั้งได้วิธีการเก็บรักษาเมล็ดที่ดีอาจทำให้อัตราการเสื่อมสภาพช้าลงได้

2) เมล็ดที่เสื่อมคุณภาพไม่สามารถคืนกลับเป็นเมล็ดที่ดีสมบูรณ์แข็งแรงได้เหมือนเดิมอีก

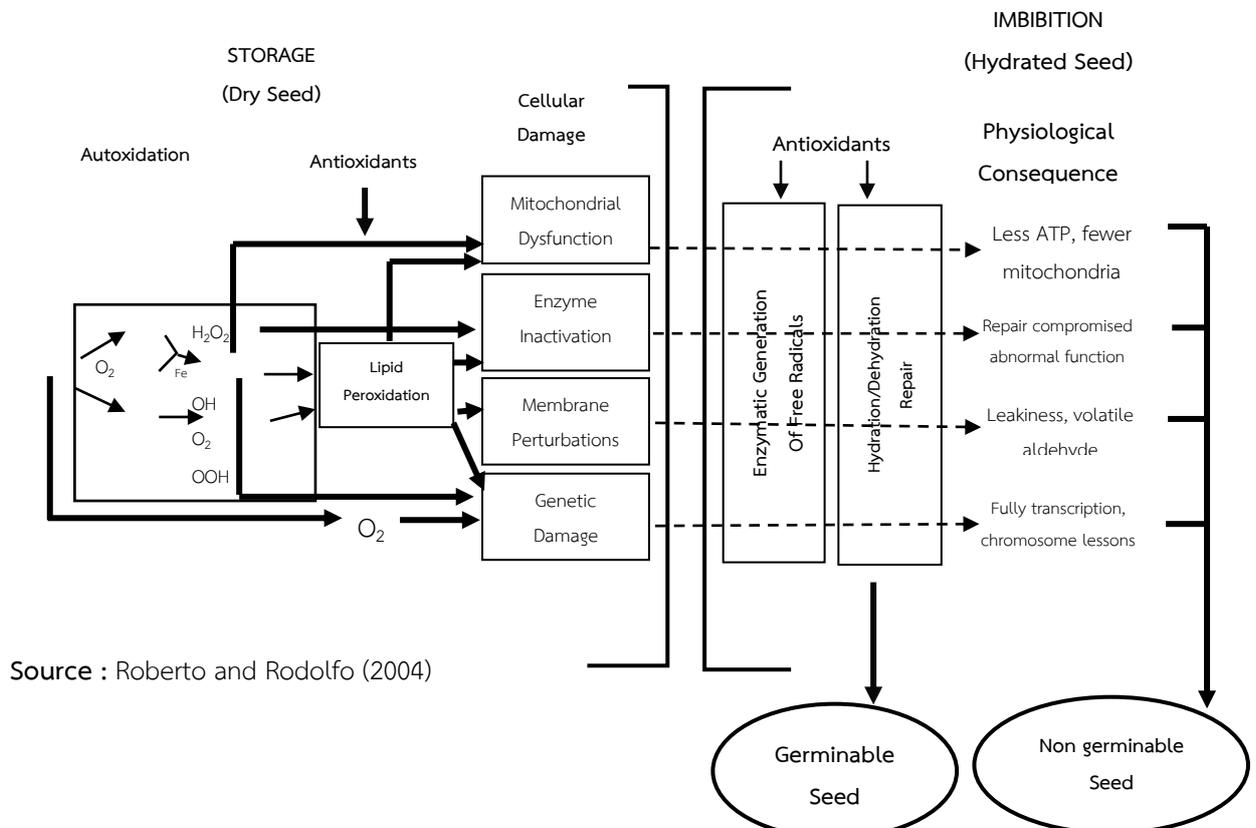
3) การเสื่อมสภาพของเมล็ดแตกต่างกันออกไปตามประชากรเมล็ด เช่น เมล็ดพืชแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์แต่ละกอง หรือแม้แต่ว่าแต่ละเมล็ดก็มีอัตราการเสื่อมสภาพที่แตกต่างกันออกไป

กระบวนการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติของเซลล์ในเมล็ดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น เมล็ดออร์โธดอกซ์ (orthodox seed) ได้แก่ เมล็ดข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง ทานตะวัน ปอแก้ว ฝ้าย แตงกวา มะเขือเทศ ผักกาดหอม สามารถลดความชื้นของเมล็ดให้ต่ำลงได้ถึง 4 % โดยไม่กระทบกระเทือนถึงความมีชีวิตแต่เมล็ดรีคัลซิเตรนท (recalcitrant seed) ได้แก่ ยางพารา ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว กาแฟ ขนุน มะม่วง เงาะ มังคุด ความชื้นวิกฤตอยู่ในช่วง 12-31% เมล็ดที่อยู่ในภาวะความชื้นต่ำดังกล่าวนั้นเมล็ดพืชมีเมแทบอลิซึมที่ต่ำหรือแทบไม่มีและเซลล์ขาดความสามารถในการซ่อมแซมตนเอง ความมีชีวิตและความแข็งแรงของเมล็ดขึ้นอยู่กับความแข็งแรงมั่นคง (integrity) สภาพที่สมบูรณ์ขององค์ประกอบโมเลกุลใหญ่ในเซลล์ (cellular macromolecules) การทำงานของอวัยวะย่อยต่างๆ ภายในเซลล์โครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะน้อยใหญ่เหล่านี้จะเสื่อมอย่างต่อเนื่องโดยปฏิกิริยาเคมีหรือการดีเนเจอร์ (denaturation) เกิดการสูญเสียโครงสร้างต่างๆ ขององค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ด (Murray, 1984) เมล็ดพืชที่มีไขมันในเมล็ดสูงจะมีอัตราการเสื่อมสูง

เมล็ดอาจสามารถชะลออัตราการเสื่อมสภาพได้โดยกลไกการป้องกันตนเอง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดพืช อย่างไรก็ตาม จุดหนึ่งเมื่อการเสื่อมสภาพที่เกิดต่อเนื่องเป็นเวลานานจนกระทั่งกระบวนการซ่อมแซมตนเอง ซึ่งปกติจะเกิดขึ้นขณะเมล็ดคุดน้ำไม่สามารถซ่อมแซมและรักษาโครงสร้าง

และหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ ของเซลล์ได้ เมล็ดก็จะถึงจุดสิ้นสุดของควมมีชีวิต (Fig. 1) สาเหตุการเสื่อมสภาพตามอายุของเมล็ดพืชนั้นนักสรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์ทั่วโลกได้ให้ความสนใจค้นคว้าหาสาเหตุทางสรีรวิทยาและชีวเคมีกันมาก (McGee, 1983) กล่าวถึงแนวความคิดที่อธิบายสาเหตุของการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์ว่ามีหลายกลุ่มแต่แนวคิดที่ได้รับการยอมรับจนนำมาเอาไปใช้ประโยชน์ในทางการค้าเรียกว่าทฤษฎีการใช้งานและการสึกหรอ (wear and tear theory) ในระหว่างการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตย่อมมีกระบวนการต่างๆ ทางชีวเคมีเกิดขึ้นตลอดเวลา กระบวนการเหล่านี้อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์หรือสิ่งมีชีวิตได้ในรูปแบบต่างๆ กัน เช่น ทฤษฎีว่าด้วยอนุมูลอิสระของออกซิเจนที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา ไรต์ซัน-ออกซิเดชันจากกระบวนการต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต เช่น การหายใจและการสังเคราะห์แสง ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นได้แก่ superoxide ($\cdot O_2^-$) และ hydroxyl radical ($\cdot OH$) เป็นอนุมูลอิสระ ที่มีฤทธิ์ค่อนข้างแรงสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆ ได้ง่ายโดยเฉพาะ hydroxyl radical นั้นมีฤทธิ์

แรงมากทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลอื่นๆ ได้ทุกชนิดทำให้โมเลกุลของ โปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลีอิกเสียหายได้ง่ายและส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ เยื่อหุ้มเซลล์ และสารพันธุกรรมต่างๆ ทำงานผิดพลาดไปส่วน hydrogen peroxide (H_2O_2) ไม่ใช่อนุมูลอิสระแต่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ และเปลี่ยนรูปไปเป็นอนุมูลอิสระได้ง่าย โดยเฉพาะในสภาพที่มีโลหะหนักจึงมีชื่อเรียกโมเลกุลเหล่านี้รวมๆ กันว่า active oxygen species (AOS) หรือ reactive oxygen species (ROS) ไม่ว่าจะอนุมูลอิสระจะเป็นเพียงผลพลอยได้ ที่เกิดจากเมแทบอลิซึมปกติหรือเป็นโมเลกุลที่ให้สัญญาณเพื่อตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมภายนอกก็ตาม จำเป็นต้องมีการควบคุมอนุมูลอิสระเหล่านี้เพื่อไม่ให้มีปริมาณผิดปกติจนก่อให้เกิดความเป็นพิษหรือส่งสัญญาณผิดพลาดขึ้น ซึ่งกลไกหลักในการกำจัดอนุมูลอิสระประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน (anti - oxidation) ซึ่งทำงานรวมกันเป็นระบบเรียกว่าระบบต้านอนุมูลอิสระ (Chotanakoon *et al.*, 2015) (Fig. 1)



Source : Roberto and Rodolfo (2004)

Fig. 1 A model of seed deterioration and its physiological consequence during seed storage and imbibition

การปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์

การปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์มีหลายวิธีที่สามารถใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ การปรับปรุงพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์เป็นวิธีการพื้นฐานที่ใช้กันมากที่สุดแต่วิธีการดังกล่าวต้องมีการลงทุนสูงและใช้ระยะเวลาที่ยาวนานในปัจจุบันการทำ priming เมล็ดพันธุ์เป็นวิธีการที่ให้ผลผลิตดีที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมล็ดพันธุ์พืชผักหลายชนิด (Bradford, 1986)

การเตรียมการงอกด้วยเทคนิค seed priming เป็นการควบคุมการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ให้เพียงพอต่อการเกิดขึ้นของกระบวนการงอกแต่ไม่อยู่ในระดับที่จะทำให้รากปรากฏออกมาให้เห็นแล้วจึงนำเมล็ดพันธุ์ดังกล่าวไปลดความชื้นเพื่อสะดวกต่อการเก็บรักษาและจัดการต่อไป การ priming เมล็ดพันธุ์มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ (McDonold, 2000) ดังนี้

- 1) เพื่อให้เมล็ดพันธุ์มี%ความงอกสูง
- 2) เพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์
- 3) เพื่อให้เมล็ดพันธุ์สามารถงอกได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่กว้าง
- 4) เพื่อให้ต้นกล้าที่เกิดขึ้นมามีความแข็งแรงและเจริญเติบโตได้ดี

การปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยเทคนิค seed priming

การทำ priming เมล็ดพันธุ์เป็นการปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ให้เมล็ดงอกได้มากขึ้น งอกได้เร็วและสม่ำเสมอมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมโดยทั่วไปเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพไปแล้วก็จะไม่สามารถทำให้กลับมามีคุณภาพที่ดีอีก อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่มีเมล็ดเสื่อมคุณภาพเกิดขึ้นน้อยการใช้เทคโนโลยี priming อาจทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกและความแข็งแรงเพิ่มขึ้นสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ทำ priming นอกจากนี้ยังเป็นการลดระยะเวลาในการเพาะกล้าและการย้ายปลูกในไร่ทำให้ลดแรงงานและต้นทุนในการผลิตส่วนหนึ่ง (Bray, 2015) การปรับปรุงการงอกของเมล็ดระยะ (bitter gourd seed) พบว่ามีกิจกรรมของ isocitrate lyase และ malate

synthase เพิ่มขึ้น กิจกรรมของเอนไซม์ใน glyoxysome เพิ่มขึ้นกิจกรรมของ anti-oxidation เพิ่มมากขึ้น จากวิธีการเตรียมการงอก เช่น การทำ osmopriming สามารถปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพริกหวานที่เสื่อมคุณภาพได้ โดยตรวจสอบได้จากการเพิ่มขึ้นของการงอกและการลดลงของปฏิกิริยา peroxidation ของไขมันจากปริมาณ MDA ที่ลดลง (Siri *et al.*, 2013)

กระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างการกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ เมื่อเมล็ดพันธุ์ได้รับปัจจัยที่เหมาะสมในการงอกแล้วกระบวนการต่างๆ ภายในเมล็ดก็จะเกิดขึ้นโดยแบ่งเป็นสองกระบวนการหลักคือกระบวนการทางกายภาพและกระบวนการทางเคมี ดังต่อไปนี้

1) กระบวนการทางกายภาพ เมื่อเมล็ดพันธุ์ถูกกระตุ้นด้วยน้ำซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการงอก น้ำจะทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่มและเมล็ดมีขนาดใหญ่ขึ้นระยะเวลาแช่น้ำมีความสำคัญมาก เช่น ถ้าแช่ในระยะเวลาสั้น น้ำจะซึมผ่านเข้าไปในแช่เมล็ดน้อยทำให้กระบวนการต่างๆ ภายในเมล็ดเกิดขึ้นไม่มากหรือเกิดช้าเมื่อนำเมล็ดไปปลูกจะทำให้งอกช้าหรือไม่งอก แต่ถ้าแช่นานเกินไปอาจทำให้เมล็ดช็อกน้ำทำให้เนื้อเยื่อภายในเมล็ดบวมมากจนฉีกขาดเกิดการรั่วไหลของสารอาหารจากภายในเมล็ดออกสู่ภายนอกเมื่อนำไปปลูกเมล็ดจะไม่งอก

2) กระบวนการทางเคมี การกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำมีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์และกิจกรรมทางชีวเคมีต่างๆ ในเมล็ด ได้แก่ การหายใจ การสังเคราะห์โปรตีนและสารชีวเคมีที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ด โปรโตพลาสท์ และผนังเซลล์ที่ขยายตัวออก ทำให้ก๊าซซึมผ่านเข้าสู่เมล็ดง่ายขึ้นด้วยเมล็ดที่มีความชื้นสูง น้ำในเมล็ดจะละลาย โปรโตพลาสท์ซึม มีการขนย้ายถ่ายเทสารอาหารต่างๆ รวมทั้งสารควบคุมการเจริญเติบโตและเอนไซม์ต่างๆ เพื่อไปย่อยอาหารสะสมในเมล็ดจากโมเลกุลใหญ่เป็นโมเลกุลเล็กเพื่อเคลื่อนย้ายไปยังจุดเจริญ และพร้อมที่จะใช้ต่อไป

ในการเตรียมการงอกด้วยการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์จะเกิดขึ้นในช่วงระยะ (stage) ที่ 1 และ 2 เท่านั้น (Fig. 2) เมล็ดที่ถูกกระตุ้นจะดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะที่ 1 ผ่านเข้าไปในเมล็ดเนื่องจากเมล็ดพันธุ์ต้องใช้น้ำในกระบวนการย่อยสารอาหารที่สะสมอยู่ภายในเพื่อให้กระบวนการทางชีวเคมีภายในเมล็ดเกิดขึ้น ส่วนในระยะที่ 2

เมล็ดยังคงดูดซึมน้ำเข้าสู่ภายในแต่ในอัตราที่ค่อนข้างคงที่ซึ่งทั้งสองระยะนี้เมล็ดพันธุ์ยังคงไม่งอกถือว่าเป็นช่วงกระตุ้นและเตรียมความพร้อมให้เมล็ดพร้อมที่จะแทงรากแรกเกิดออกมาอย่างรวดเร็ว ในระยะที่ 3 ที่จะตามมาแต่การลดความชื้นจึงทำให้ไปยังยังการเจริญเติบโตของรากแรกเกิดที่ท้ายระยะที่ 2 นี้

ในระยะที่ 3 ที่ต่อเนื่องจากท้ายระยะที่ 2 เป็นการหยุดการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์โดยการลดความชื้นเมล็ดลง (dehydration) การทำเช่นนี้จะช่วยให้เก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการกระตุ้นนี้ได้ระยะหนึ่งเมื่อนำไปปลูกเมล็ดพันธุ์ก็จะงอกได้เร็วกว่าปกติ

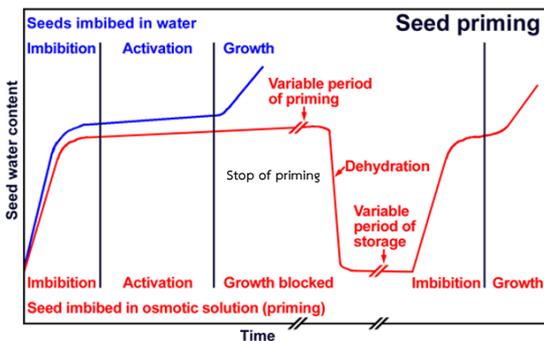


Fig. 2 Seed priming and pregerminated seed
source: Gerhard (2006)

การปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยเทคนิค seed priming เป็นวิธีการกระตุ้นความงอกของเมล็ดพันธุ์มี 3 วิธี คือ Hydropriming, Osmopriming และ Solid matrix priming ซึ่งมีหลักการและวิธีการ ดังนี้

1) การกระตุ้นการงอกของเมล็ดด้วยการแช่เมล็ดในน้ำ (Hydropriming หรือ Prehydration)

เป็นวิธีการกระตุ้นความงอกของเมล็ดพันธุ์ด้วยการนำเมล็ดไปแช่น้ำเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมทำให้เมล็ดงอกได้ดีขึ้นงอกเร็วขึ้น (Bradford, 1986) เป็นวิธีที่ปฏิบัติได้ง่ายไม่มีสารพิษตกค้างในเมล็ดและสิ่งแวดล้อม แต่ข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมการดูดน้ำของเมล็ดได้ ทำให้กระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ ภายในเมล็ดเกิดไม่พร้อมกันซึ่งเมล็ดบางชนิดอาจดูดน้ำเร็วเกินไปทำให้เกิดความเสียหายกับเมล็ดได้ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดที่แตกต่างกัน (McDonald, 2000)

การกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำจะทำให้เมล็ดงอกได้เร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น อวัยวะส่วนแรกของกล้าพืชที่เห็นคือ ส่วนของราก (Fig. 3) จะโผล่ออกมาก่อน เนื่องจาก รากมีหน้าที่หาอาหาร แร่ธาตุ และค้ำจุนส่วนของลำต้น ในงานทดลองของ Gerhard (2006) ที่ทำในเมล็ดผักกาดหอม โดยนำเมล็ดพันธุ์ไป priming ในน้ำกลั่น เมื่อนำไปปลูก ต้นกล้าอายุเพียง 3 วันจากเมล็ดที่ได้รับการกระตุ้นมีความยาวมากกว่า ซึ่งหมายถึง เมล็ดที่ผ่านการ priming งอกได้เร็วกว่า รากมีการเจริญเติบโตเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการ priming

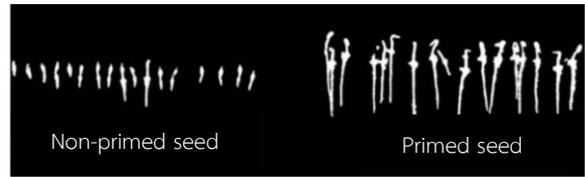


Fig. 3 Lettuce seedling (day 3)
Source: Gerhard (2006)

จากการศึกษาของ Sivritepe and Senturk (2011) รายงานการกระตุ้นความงอกของเมล็ดพริกพันธุ์ Yalova Carliston ด้วยวิธี hydropriming โดยแช่เมล็ดในน้ำกลั่น นาน 24 ชั่วโมง ร่วมกับการให้อากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีความงอกสูง 84.00% และดัชนีความงอก 10.2 ซึ่งมากกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการเตรียมการงอกเมล็ดพันธุ์มีความงอกเพียง 78.50% และดัชนีความงอก 9.8

นอกจากนี้ Chotanakoon *et al.* (2015) ได้รายงาน การกระตุ้นการงอกของเมล็ดด้วยวิธี Hydropriming ต่อคุณภาพของเมล็ดพริก 2 พันธุ์ คือ ‘บางช้าง’ และพริกชี้หนู ‘สามเดือน’ โดยนำเมล็ดมาแช่ในน้ำ RO ร่วมกับการให้อากาศ (45 นาทีต่อชั่วโมง) และไม่ให้อากาศ และไม่บ่มหรือบ่มเมล็ด 24 ชั่วโมง ความชื้นสัมพัทธ์ 100 % จากนั้นลดความชื้นเมล็ดลงเท่ากับความชื้นเริ่มต้น 8 % พบว่า การบ่มเมล็ดพันธุ์ทำให้เมล็ดพริก ‘บางช้าง’ งอกเร็วกว่าการไม่บ่มเมล็ด (Table 1) โดยเมล็ดพริก ‘บางช้าง’ ที่แช่ในน้ำ RO นาน 8 ชั่วโมง โดยไม่ให้หรือให้อากาศ และบ่มเมล็ดนาน 24 ชั่วโมง มี เวลาเฉลี่ยในการงอก (10.11 และ 9.83 วัน ตามลำดับ) เร็วกว่าเมล็ดที่แช่ในน้ำ RO นาน 8 ชั่วโมง โดยไม่ให้หรือให้อากาศ แต่ไม่มีการบ่มเมล็ด (11.90 และ 12.00

วัน ตามลำดับ) ส่วนเมล็ดพริกชี้หนู ‘สามเดือน’ พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำ RO นาน 8 ชั่วโมง โดยไม่ให้อากาศ และบ่มเมล็ดนาน 24 ชั่วโมง มีเวลา เฉลี่ยในการงอก 10.11 วัน เร็วกว่าเมล็ดที่ไม่บ่มเมล็ด ในขณะที่การแช่เมล็ดในน้ำ RO นาน 8 ชั่วโมง ร่วมกับการให้อากาศ ทั้งการไม่บ่มเมล็ดและบ่มเมล็ดนาน 24 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมล็ดพริกทั้งสองพันธุ์คุดน้ำ RO เริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 ใช้ เวลา 8

ชั่วโมง ดังนั้นการเตรียมพร้อมเมล็ดด้วยวิธี hydropriming โดยการแช่เมล็ดพริก ‘บางช้าง’ และพริกชี้หนู ‘สามเดือน’ ในน้ำ RO นาน 8 ชั่วโมง ร่วมกับการให้อากาศและบ่มเมล็ดนาน 24 ชั่วโมงจะเห็นได้ว่า การงอกด้วยน้ำยังส่งผลทำให้เมล็ดมีความงอกสูงสุด และเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าการไม่แช่เมล็ด

Table 1 Laboratory (LAB) and greenhouse (GH) germination and mean germination time (MGT) of 2 pepper cultivars by hydropriming methods

Treatment	Bang Chang			Samduen		
	Germination (%)		MGT	Germination (%)		MGT
	LAB	GH	(days)	LAB	GH	(days)
1. Non-primed seeds (control)	52.00	16.50 ^{d1/}	13.37 ^a	61.00 ^c	44.00	12.30 ^a
2. RO water + non-aeration + non-incubation	64.00	44.00 ^{ab}	11.90 ^b	79.50 ^b	47.00	10.95 ^b
3. RO water + non-aeration + incubation for 24 hr	72.00	33.00 ^{bc}	10.11 ^c	83.50 ^{ab}	41.00	10.11 ^d
4. RO water + aeration + non-incubation	67.00	30.50 ^c	12.00 ^b	85.00 ^{ab}	47.00	10.42 ^{cd}
5. RO water + aeration + incubation for 24 hr	73.00	51.50 ^a	9.83 ^c	90.50 ^a	58.50	10.60 ^{bc}
F-test	ns	*	*	*	ns	*
C.V. (%)	25.80	23.50	2.48	8.38	19.98	2.64

^{1/}Means within a column followed by the same letter do not differ significantly according to DMRT

ns = non-significant and * = significant at p≤0.05

Source: Chotanakoon *et al.* (2015)

2) การกระตุ้นการงอกของเมล็ดด้วยการแช่เมล็ดในสารละลาย Osmopriming หรือ Osmoconditioning

เป็นวิธีการกระตุ้นความงอกของเมล็ดพันธุ์ ด้วยการแช่เมล็ดในสารละลายที่มีค่าความต่างศักย์ของน้ำในระดับที่ต่ำ เพื่อชะลอการดูดน้ำของเมล็ดให้ช้าลง สารเคมีที่นำมาใช้ จะเพิ่มความหนืดของน้ำ วิธีการนี้สามารถควบคุมปริมาณน้ำที่เมล็ดดูดซึมเข้าไปได้ (McDonald, 2000) มี 2 ประเภท คือ inorganic salt และ organic salt

(1) Inorganic salt คือ สารละลายที่เป็นสารเคมี เช่น KNO₃, Na₂SO₄ และ KHPO₄ (Kaewsorn *et al.*, 2013) ได้รายงานผลการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์มะตาด (*Dillenia indica* L.) ด้วย KNO₃ พบว่า การแช่เมล็ดในสารละลาย KNO₃ ความเข้มข้น 0.2% นาน 12

ชั่วโมง มีแนวโน้มทำให้ความงอกสูงสุด (93%) ในขณะที่เมล็ดที่ไม่ได้กระตุ้นความงอก มีความงอกเพียง 86 % ในขณะที่เมล็ดที่ไม่ได้กระตุ้นความงอก (control) มีเวลาเฉลี่ยในการงอก 25.5 วัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า Potassium nitrate (KNO₃) มีผลในการกระตุ้นการงอก และส่งผลให้เมล็ดพันธุ์มีความแข็งแรงและ%การงอกสูงได้

จากการศึกษาของ Kikuti *et al.* (2006) ได้รายงานการกระตุ้นความงอกของเมล็ดพริกด้วยวิธี osmopriming โดยแช่เมล็ดในสารละลาย KNO₃ ที่มีค่าความต่างศักย์ของน้ำ -1.5 MPa เป็นระยะเวลา 9 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าความงอกเพิ่มขึ้นเป็น 73% เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่กระตุ้นความงอกด้วย PEG 6000 ที่มีค่าความต่างศักย์ของน้ำ -1.1 MPa เป็นระยะเวลา

8 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และเมล็ดที่ไม่ผ่านการกระตุ้นความงอก ซึ่งมีความงอก 71 และ 32% ตามลำดับ

(2) Organic salt คือ สารละลายที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นจากธรรมชาติ เช่น polyethylene glycol (PEG), manitol, sorbitol (Frett *et al.*,1991), Vitamin C, Gibberellin (GA₃) และ Indole-3-acetic acid (IAA)

Khangkhun (2003) ได้ทำการศึกษาการผลของการใช้สารเคมีปรับปรุงการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์พริกหวาน โดยการปรับปรุงเมล็ดที่เสื่อมสภาพแล้วให้ดีขึ้นด้วย PEG6000 ที่ศักย์ของน้ำ -1.5 MPa ด้วยการแช่เมล็ดเป็นเวลา 3 และ 7 วัน สรุปได้ว่าการใช้ PEG 6000 กับเมล็ดที่เสื่อมสภาพแล้วสามารถปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พริกหวานได้

นอกจากนี้ Srikaow and Siri (2008) ได้ศึกษาผลของการทำ seed priming ด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์พริกหวาน โดยนำเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุ 0, 3 และ 6 วัน ไปทำ seed priming ด้วยสารเคมี 4 ชนิด คือ 1) Vitamin C ความเข้มข้น 200 mg/L เป็นเวลา 12 ชั่วโมง 2) Polyethylene glycol 6000 ความเข้มข้น -1.5 MPa เป็นเวลา 6 วัน 3) KNO₃ ความเข้มข้น 3 % เป็น เวลา 6 ชั่วโมง และ 4) KNO₃ ความเข้มข้น 1 % ร่วมกับ KH₂PO₄ ความเข้มข้น 1%

เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า การกระตุ้นความงอกของเมล็ดด้วยทุกวิธีการทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอก และความเร็วในการงอกของเมล็ดเพิ่มมากขึ้น (Table 2) ซึ่งวิธีที่ทำให้เมล็ดที่เสื่อมคุณภาพโดยการเร่งอายุแล้ว 3 วัน มีความงอกและความเร็วในการงอกเพิ่มขึ้นคือ วิตามินซี ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สวนเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุมาแล้ว 6 วัน คือ KNO₃ ความเข้มข้น 3 % ร่วมกับ KH₂PO₄ ความเข้มข้น 3 % เป็นเวลา 6 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ในด้านการงอกและความเร็วในการงอกนั้น สอดคล้องกับงานทดลองของ (Srikaow and Siri, 2006) ได้ศึกษาการทำ seed priming กับเมล็ดพันธุ์พริกหวานสด โดยแช่เมล็ดด้วย Vitamin C ความเข้มข้น 400 mg/L, KNO₃ ความเข้มข้น 4 % และ NaCl ความเข้มข้น 200 mM เป็นเวลา 30 และ 60 นาที โดยใช้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ทุกวิธีการสามารถทำให้ความเร็วในการงอกของเมล็ดเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปได้ว่าการใช้สารอินทรีย์บางชนิด เช่น วิตามินซี และวิตามินอี จับกับอนุมูลอิสระ แทนที่อนุมูลอิสระจะจับกับสารอนินทรีย์ภายในเซลล์เมล็ดเป็นวิธีการหนึ่งที่ลดการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ (Sathiyamoorthy and Nakamura, 1995)

Table 2 Changing of germination index in laboratory condition of sweet pepper seeds from different accelerated aging periods by seed priming methods

Solution treatment	Germination Index ^{1/}		
	Accelerated aging periods (days)		
	0	3	6
Control	10.52 ^d	8.23 ^c	7.17 ^d
Vitamin C	13.16 ^a	10.87 ^a	8.64 ^b
PEG6000	11.20 ^c	9.31 ^{bc}	7.88 ^c
KNO ₃	12.38 ^b	10.30 ^{ab}	7.94 ^c
KNO ₃ + KH ₂ PO ₄	12.86 ^a	11.22 ^a	9.38 ^a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	1.75	6.41	4.12

^{1/}Means within a column followed by the same letter do not differ significantly according to DMRT

**= significant at p<0.01

Source: Srikaow and Siri (2006)

Jagosz (2015) รายงานว่าเมล็ดหัวหอมที่ผ่านการเตรียมเมล็ดด้วยวิธี osmopriming โดยใช้สาร PEG -1.5 MPa ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีผลให้เมล็ดมีความงอกเพิ่มขึ้น และเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าปกติสูงกว่าการใช้วิธีการเดียวกันที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส หากเตรียมความพร้อมเมล็ดที่อุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกนั้น จะส่งผลให้การงอกรากของเมล็ดลดลงซึ่งบางครั้งสารละลายดังกล่าวจะช่วยเพิ่มธาตุไนโตรเจนและธาตุอาหารอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน แต่หากได้รับสารในปริมาณหรือความเข้มข้นไม่เหมาะสมอาจเป็นพิษต่อต้นอ่อนที่งอกออกมาได้

ดังนั้นการประสบความสำเร็จของวิธีการนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ชนิดและความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่เมล็ด รวมถึงการลดความชื้นหลังกระบวนการกระตุ้นความงอกแล้ว (Bradford, 1995) การกระตุ้นความงอกวิธีนี้ นิยมใช้กับเมล็ดขนาดเล็ก ได้แก่ แครอท พริก และมะเขือเทศ

3) การกระตุ้นการงอกของเมล็ดด้วยวิธี Solid matrix priming (SMP)

เป็นวิธีกระตุ้นความงอกของเมล็ดโดยควบคุมการดูดน้ำด้วยการใช้วัสดุ (solid carrier) ที่มีค่า matric potential ต่ำ ละลายน้ำได้น้อยดูดยึดน้ำได้มาก มีพื้นที่ผิวมากไม่เป็นพิษกับเมล็ด เช่น ทราย พีทมอส และเวอร์มิคูไลท์ เป็นต้น (Gray *et al.*, 1990) ส่วนวัสดุที่ใช้ในทางการค้า ได้แก่ celite และ micro-cell เป็นวัสดุที่ประกอบด้วย silica และ zonalit ซึ่งมีธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Ca, K, Mg และ Mn (Jett *et al.*, 1996) โดยวิธีการนี้ใช้ได้กับพืชหลายชนิด เช่น มะเขือเทศ พริก แครอท และ หอม เป็นต้น แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือการแยกเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดเล็กภายหลังจากผ่านกระบวนการ solid matrix priming ออกจากวัสดุทำได้ยาก นอกจากนี้ Choudhary *et al.* (2008) ได้ศึกษาการกระตุ้นความงอกของเมล็ดพริกโดยนำเมล็ดพริกผสมกับ Isabgol husk ซึ่งมีคุณสมบัติดูดยึดน้ำได้มากเป็นระยะเวลา 2 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำให้ เมล็ดมีความงอกเพิ่มขึ้นเป็น 90.5% เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่กระตุ้นความงอกมีความงอกเพียง 67% และมีดัชนีความแข็งแรง (vigor index) เช่น ความยาวของยอด

และราก เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่กระตุ้นความงอก

นอกจากนี้ Chinnasaen *et al.* (2010) ได้ศึกษาผลของ Solid matrix priming ด้วยเวอร์มิคูไลท์ต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์แครอท โดยนำเมล็ดพันธุ์แครอทซึ่งเก็บรักษามานาน 5 ปี ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนัก 100 เมล็ด ความชื้น และความงอกเริ่มต้น 0.17 กรัม 6.73% และ 80.5 % ตามลำดับ มากระตุ้นการงอกด้วยเวอร์มิคูไลท์ (ขนาด 250 – 500 μm) ที่มีความชื้นแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 10, 20, 30 และ 40% นาน 1, 2, 3 และ 4 วัน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสภาพมืด หลังการกระตุ้นความงอกเมล็ดพันธุ์แครอท พบว่า เมื่อความชื้นของเวอร์มิคูไลท์และระยะเวลาในการกระตุ้นความงอกเพิ่มขึ้นมีผลให้เมล็ดพันธุ์แครอทงอกได้เร็วขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง แต่ความงอกไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยการกระตุ้นความงอกด้วยเวอร์มิคูไลท์ที่มีความชื้น 40% นาน 4 วัน มีค่าเวลาเฉลี่ยในการงอก (DTE) น้อยที่สุด เท่ากับ 3.05 วัน (Table 3) โดยการบ่มเมล็ดพันธุ์แครอทในเวอร์มิคูไลท์ที่มีความชื้น 40% นาน 4 วัน ทำให้เมล็ดพันธุ์แครอทงอกได้เร็วที่สุดโดยมีค่า DTE เท่ากับ 3.05 วัน (Fig. 4) และเมื่อพิจารณา% ความงอกพบว่า เมล็ดพันธุ์แครอทที่ผ่านการกระตุ้นมีความงอกมากกว่า 85% แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้น เมล็ดพันธุ์แครอทที่ผ่านการกระตุ้นความงอกจึงสามารถงอกได้เร็วกว่า control จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การกระตุ้นความงอกด้วยเวอร์มิคูไลท์สามารถเพิ่มความเร็วในการงอกให้แก่เมล็ดพันธุ์แครอท แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือการแยกเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดเล็กภายหลังจากผ่านกระบวนการ solid matrix priming ออกจากวัสดุทำได้ยาก

Table 3 Effects of moisture contents of vermiculite and priming times on days to emergence (DTE) and germination

Factor	DTE (day) ^{1/}	Germination (%)
Moisture contents of vermiculite (A)		
10 %	5.86 ^a	86.63
20 %	4.97 ^b	87.00
30 %	4.30 ^c	88.38
40 %	4.07 ^c	87.13
F-test	**	ns
Priming times (B)		
1 day	5.16 ^a	86.63
2 days	5.13 ^a	89.25
3 days	4.66 ^b	85.63
4 days	4.26 ^c	87.63
F-test	**	ns
A x B	**	ns
C.V. (%)	7.21	4.91

^{1/}Means within a column followed by the same letter do not differ significantly according to DMRT (p ≤ 0.01)

Source: Chinnasaen *et al.* (2010)

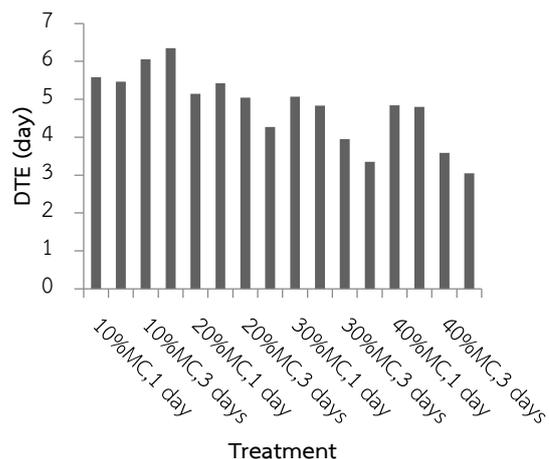


Fig. 4 Days to emergence (days) of carrot seeds after primed with different moisture contents of vermiculite and primed times

Source: Chinnasaen *et al.* (2010)

จากการตรวจเอกสารที่ได้รวบรวม พบว่า การปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยเทคนิค seed priming โดยวิธีการกระตุ้นความงอกของเมล็ดที่ต่างชนิดและต่างพันธุ์กัน คุณภาพเมล็ดพันธุ์ต่างกัน ก็จะมีขั้นตอนวิธีการที่ใช้ในแตกต่างกัน (Table 4)

Table 4 Seed priming methods implemented for developing improvement of seed qualities

Priming method	Protocol	Plant	
1. Hydropriming	- Water 24 hr	Maize, Lettuce, Rice, Basil, Tomato, Watermelon, Soybean, Onion (Caseiro <i>et al.</i> , 2004)	
	- RO water + aeration + incubation for 24 hr	Chili, Tomato	
2. Osmopriming	2.1 Inorganic salt	- KNO ₃ + KH ₂ PO ₄	Tomato, Lettuce, Sweet pepper
		- KNO ₃ (0.2 %) for 12 hr	Sunflower, Tomato, Sweet pepper
		- NaCl	Melon, Sunflower, Watermelon (Patade <i>et al.</i> , 2009)
	2.2 organic salt	- Vitamin C 12 hr	Rice (Farooq <i>et al.</i> , 2006)
	- Polyethylene glycol (6000)	Sweet pepper	
	- Polyethylene glycol (8000)	Sweet pepper, Tomato, Onion	
	- H ₂ O ₂ + ABA	Soybean	
3. Solid matrix priming	- Isabgol husk 2 Day 25°C	Capsicum	
	- Vermiculite (250 – 500 µm size)	Chili (Choudhary <i>et al.</i> , 2008)	
	- Bentonite + Charcoal+ Hydroxypropyl Methylcellulose (HPMC)	Carrot, Strawberry	
		Maize	

สรุป

การปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์โดยวิธีการทำ seed priming ที่เป็นการเตรียมความงอกโดยการกระตุ้นเมล็ดก่อนนำไปปลูกซึ่งจากการศึกษาพบว่า พืชต่างชนิดและต่างพันธุ์ คุณภาพเมล็ดพันธุ์ต่างกัน ก็จะมีขั้นตอนวิธีการที่ใช้ในแตกต่างกัน สามารถปรับปรุงเมล็ดพันธุ์ได้ด้วยวิธีการ ดังนี้

1) การกระตุ้นการงอกของเมล็ดด้วยการแช่เมล็ดในน้ำ Hydropriming หรือ Prehydration เป็นวิธีการกระตุ้นความงอกของเมล็ดพันธุ์ด้วยการนำเมล็ดไปแช่น้ำเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมทำให้เมล็ดงอกได้ดีขึ้นงอกเร็วขึ้น และเป็นการหลีกเลี่ยง สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่าง ๆ เป็นวิธีที่ปฏิบัติได้ง่ายไม่มีสารพิษตกค้างในเมล็ดและสิ่งแวดล้อม แต่ข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมการดูดน้ำของเมล็ดได้

2) การกระตุ้นการงอกของเมล็ดด้วยการแช่เมล็ดในสารละลาย Osmopriming หรือ Osmoconditioning เป็นวิธีการกระตุ้นความงอกของเมล็ดพันธุ์ ด้วยการแช่เมล็ดในสารละลายที่มีค่าความต่างศักย์ของน้ำในระดับที่ต่ำ เพื่อ

ชะลอการดูดน้ำของเมล็ดให้ช้าลง สารเคมีที่นำมาใช้บางชนิด เช่น PEG 6000 จะเพิ่มความหนืดของน้ำ วิธีการนี้สามารถควบคุมปริมาณน้ำที่เมล็ดดูดซึมเข้าไปได้ ซึ่งมี 2 ประเภทคือ Inorganic salt และ Organic salt ซึ่งเป็นไปได้ว่าการใช้สารอินทรีย์บางชนิด เช่นวิตามินซีและวิตามินอี จับกับอนุมูลอิสระ แทนที่อนุมูลอิสระจะจับกับสารอินทรีย์ภายในเซลล์เมล็ด เป็นวิธีการหนึ่งที่ลดการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์

3) การกระตุ้นการงอกของเมล็ดด้วยวิธี Solid matrix priming (SMP) เป็นวิธีการกระตุ้นความงอกของเมล็ดโดยควบคุมการดูดน้ำด้วยการใช้วัสดุ (solid carrier) ที่มีค่า Matric potential ต่ำละลายน้ำได้น้อยดูดยึดน้ำได้มากมีพื้นที่ผิวมากไม่เป็นพิษกับเมล็ด เช่น ทราย พีทมอส และ เวอร์มิคูไลท์ เป็นต้น โดยวิธีการนี้ใช้ได้กับพืชหลายชนิด เช่น มะเขือเทศ พริก แครอท และ หอม เป็นต้น แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือการแยกเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดเล็กภายหลังจากผ่านกระบวนการ Solid matrix priming ออกจากวัสดุทำได้ยาก

References

- Bradford, K.J. 1995. Water relations in seed germination. In: Seed Development and Germination. Kigel, J. and G. Galili. Marcel Dekker, Inc., New York. 351-396.
- Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. Horticultural. Science. 21: 1105-1112.
- Bray, C.M. 2015. Biochemical processes during the osmopriming of seeds. In Seed development and germination. New York. 767-789.
- Caseiro, J., Benette, M.A. and Marcos-Filho, J. 2004. Comparison of three priming techniques for onion seed lots differing in initial seed quality. Seed Sci. Tech. 32(2): 365-375.
- Chinnasaen, T., Chulaka, P., Kaewdorn, P., Shinohara Yutaka, Maruo Toru and Ito Yoshikazu. 2010. Effect of solid matrix priming by vermiculite on quality of carrot seed. Agricultural. Sci. J. 42: 355-358. (in Thai)
- Chotanakoon, K., Kaewsorn, P., Chulaka, P. and Chanprasert, W. 2015. Effect of Hydropriming on Pepper Seed Quality of 2 Cultivars. Agricultural. Sci. J. 46(3): 617-620. (in Thai)
- Choudhary, V.K., Kumari, S., Chaurasia, A.K., Naseem, M., Gupta, A. and Maiti, R.K. 2008. Effect of priming and ageing on seed quality parameters of chilli (*Capsicum annuum*). Agric. Environ. & Biotech. 1(3): 111-116.
- Delouche, J.C. and Baskins, C.C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of

- seed lots. Seed Sci. and Technol. 1: 427-452.
- Duangpatra, J. 1986. Seed Technology. Agricultural B, Bangkok. (in Thai)
- Farooq, M., Basra, S.M.A. and Hafeez, K. 2006. Seed invigoration by osmohardening in fine and course rice. Seed Sci. Technol. 34: 181-186.
- Frett, J.J., Pill, W.G. and Morneau, D.C. 1991. A comparison of priming agent for tomato and asparagus seed. Horticulture Science. 26: 1158-115.
- Gerhard, F. 2006. The seed biology place [online]. [Accessed March 4, 2017]. Available from: URL: <http://www.seedbiology.de/seedtechnology.asp>.
- Gray, D., Steckel, J.R.A. and Hands, L.J. 1990. Responses of vegetable seeds to controlled hydration. Annual Botany. 66: 227-235.
- Jagosz, B. 2015. Improving onion seed germination using priming treatments [online]. [Accessed February 20, 2017]. Available from: URL: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2015.4.4.103>.
- Jett, L.W., Welbaum, G.E. and Morse, R.D. 1996. Effect of matric and osmotic priming treatments on broccoli seed germination. Amer. Soc. Hort. Sci. J. 121: 423-429.
- Kaewsorn, P., Kasemsirisawad, S., Chulaka, P. and Somkul, C. 2013. Germination Enhancement of Elephant Apple (*Dillenia indica L.*) Seed by Water, GA₃ and KNO₃. Agricultural Science J. 44(2): 85-88. (in Thai)
- Khangkhun, P. 2003. The Biochemical and Quality Changes during an Accelerated Aging Process and using of Chemicals to Delay Deterioration and Improve Quality of Sweet Pepper (*Capsicum annuum L.*) Seeds. Ph.D. Thesis in Agronomy. Khon Kaen University. Khon Kaen. (in Thai)
- Kikuti, A.L.P., Kikuti, H. and Minami, K. 2006. Physiological conditioning in sweet pepper seeds. Revista Ciencia Agronomica. 36. 243-248.
- Mcdonald, M.B. 2000. Seed priming. In: Seed Technology and Its Biology Basis Black, M. and J.D. Bewley (eds.). Sheffield Acad. Press, Sheffield, England. 287-326.
- McGee, D.C. 1983. Introduction: deterioration mechanism in seeds. Phytopathology 73:314-315.
- Murray, D.R. 1984. Seed Physiology volume2 Germination and Reserve Mobilization. Academic press. NewYork. 295.
- Patade, V.Y., Sujata, B. and Suprasanna, P. 2009. Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. Agric. Ecosyst. Environ. 134:24-28.
- Roberto, L. B. and Rodolfo, A.S. 2004. Handbook of seed physiology applications to agriculture. Food Products Press® and The Haworth Reference Press, Imprints of The Haworth Press, Inc. New York. 501.
- Sathiyamoorthy, P. and Nakamura, S. 1995. Free radical induced lipid peroxidation in seeds. Israel Journal of Plant Science. 4 :295-302
- Santipracha, W. 1997. Seed Technology. Department of Plant Science Faculty of Natural Resources. Prince of Songkla University. Songkla. (in Thai)
- Siri B., Vichitphan K., Kaewnaree P., Vichitphan S. and Klanrit P. 2013. Improvement of quality, membrane integrity and antioxidant systems in sweet pepper (*Capsicum annuum L.*) seeds affected by osmopriming. Australian Journal of Crop Science. 7(13):2068-2073.
- Sivritepe, H.O. and Senturk, B., 2011, A Comparison of Hydro and Halopriming with Dehydration Treatments for Physiological Enhancement of Pepper Seeds, Journal of Agricultural Faculty of Uludag University.

- Srikaow, P. 2016. Seed Coating for Anti-Counterfeiting Seeds. King Mongkut's Agricultural J. 34 (3) 157-163. (in Thai)
- Srikaow, P. and Siri, B. 2008. The Effect of Seed Priming Technique with different of Chemical on Changing of Sweet Pepper Seed Quality. Agricultural Science J. 39 (3): 213-217. (in Thai)
- Srikaow, P. and Siri, B. 2006. The effect of seed priming on different of sweet pepper seed quality. Agricultural Science J. 38(5): 168-172. (in Thai)
- Thai Seed Trade Association. 2017. Quantity and Value Seed export 2558. [online] [Accessed May 5, 2017]. Available form: <http://www.thasta.com/statistics.asp>.

3 สะอาด แนวทางการเลี้ยงกุ้งในยุคปัจจุบัน

ปัทมา วิริยพัฒนทรัพย์*

ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้เทคนิค 3 สะอาด เป็นการพัฒนารูปแบบการเลี้ยงกุ้งในฟาร์มเลี้ยงและโรงเพาะฟัก เพื่อผลิตกุ้งให้ได้คุณภาพดี โดยเทคนิคนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้ 1) กุ้งสะอาด คือ เกษตรกรควรใช้ลูกกุ้งจากโรงเพาะฟักที่ใช้แม่พันธุ์กุ้งที่ปลอดเชื้อ 2) น้ำสะอาด คือ เกษตรกรควรมีบ่อพักน้ำให้เพียงพอและใช้น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วซึ่งผ่านการพักน้ำในบ่อเป็นเวลานานก่อนที่จะนำไปใช้ในบ่อเลี้ยง และ 3) บ่อสะอาด คือ เกษตรกรต้องสร้างบ่อเลี้ยงโดยการปูด้วยโพลีเอทิลีนและมีหลุมดูดตะกอนกลางบ่อ ปัจจุบันระบบการเลี้ยงกุ้งของประเทศไทยมีหลากหลายรูปแบบที่ได้นำเทคนิคนี้มาปรับใช้ในการเลี้ยงกุ้ง เช่น การเลี้ยงระบบน้ำโปร่ง ระบบหนาแน่นสูง ระบบน้ำหมุนเวียน และระบบไบโอฟิล็อก รูปแบบการเลี้ยงแบบพัฒนาหนาแน่นสูงเน้นการใช้บ่อเลี้ยงผ้าใบขนาดเล็ก 120-300 ตร.ม. ปล่อยกุ้งในอัตราความหนาแน่น 120-500 ตัว/ลบ.ม. มีหลุมดูดตะกอนในการกำจัดของเสีย เกษตรกรจะเลือกเลี้ยงระบบใดควรคำนึงถึงความเหมาะสมของพื้นที่เลี้ยงของตน

คำสำคัญ: กุ้งสะอาด น้ำสะอาด บ่อสะอาด ระบบน้ำหมุนเวียน และ ระบบไบโอฟิล็อก

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: pattawi@kku.ac.th

3 Clean Techniques in Shrimp Culture

Pattama Wiriyapattanasub*

Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

Abstract

The applications of 3 clean techniques are reared shrimp in grow out pond and hatchery system. The productions of postlarvae were good management. The 3 clean techniques should be 3 method consists of; 1) Clean of postlarvae is mean the farmer should be sure to buy the postlarvae only from breeders who use specific pathogen free broodstock. 2) Clean of water is mean the farmer should be used a reservoir pond and use only disinfected water that has been left settle rest for a long time in the reservoir pond when changing the water in their grow out ponds. 3) Clean of pond is mean the farmer must have a pond with polyethylene liner and waste of sump. The current culture system of shrimp farming has a variety of this technique such as clear water system, super intensive and intensive system, recirculating system and biofloc system. However, the intensive culture was developed to rear a small pond (120-300 m²) with plastic sheet liner and high density (120-500 ind/m³) of postlarvae rearing in the pond. This pond has sediment of sump. Therefore, The shrimp culture should be suitable for the area of farmer.

Keywords: Clean shrimp, Clean water, Clean the pond in shrimp culture, Recirculation system and Biofloc system

*Corresponding author: E-mail: pattawi@kku.ac.th

บทนำ

อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในช่วง 4-5 ปี ที่ผ่านมาต้องประสบปัญหาสำคัญและส่งผลกระทบต่อทุกภาคส่วน ตั้งแต่ต้นน้ำคือ กระบวนการผลิตลูกกุ้งจนกระทั่งปลายน้ำคือ ผลผลิตกุ้ง โดย ค.ศ.2012 ประเทศไทยพบการระบาดของโรคตายด่วน (Early Mortality Syndrome : EMS) ต่อมา ค.ศ. 2014 สหรัฐอเมริกาจัดอันดับให้ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการค้ามนุษย์ลำดับร้ายแรง (Tier 3) และสหภาพยุโรปตัดสิทธิพิเศษทางภาษีศุลกากร (Generalized System of Preference: GSP) กับสินค้าประเภทกุ้งปรุงแต่งของประเทศไทย จากนั้น ค.ศ. 2015 สหภาพยุโรปให้ใบเหลืองเรื่องการทำประมงผิดกฎหมาย (IUU Fishing) และต่อเนืองใน ค.ศ. 2016 สหภาพยุโรปตัด GSP กับสินค้าประเภทกุ้งสดแช่เย็นของประเทศไทย เห็นได้ว่าประเทศไทยเผชิญปัญหาอย่างต่อเนื่อง และปัญหาสำคัญคือ การเกิดโรค EMS ส่งผลให้เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงประสบปัญหาขาดทุน เพราะกุ้งที่เลี้ยงอัตราการรอดตายต่ำและผู้ส่งออกไม่กล้าทำสัญญาซื้อขายล่วงหน้าจากผู้ซื้อในต่างประเทศ เนื่องจากไม่มั่นใจว่าผลผลิตกุ้งจะได้เพียงพอต่อความต้องการหรือไม่ ทำให้รายได้ในการส่งออกกุ้งของประเทศไทยลดลงอย่างมาก จนสูญเสียส่วนแบ่งตลาดโลกและความเป็นผู้นำในการส่งออกกุ้งของประเทศไทยที่เคยเป็นอันดับหนึ่งมาหลาย

ทศวรรษ จึงทำให้ทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องร่วมมือกันและหาวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยประเทศไทยมีการปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ในการบริหารจัดการทรัพยากรประมงและด้านเพาะเลี้ยงต่างๆ ทั้งในระบบโรงเพาะฟัก เพื่อผลิตลูกกุ้งให้ได้คุณภาพและปลอดภัย ในระบบฟาร์มเลี้ยงต้องมีการจัดการและป้องกันโรคได้ดีมากขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตกุ้งของประเทศไทยมีแนวโน้มดีตั้งแต่ ค.ศ. 2015 ผลผลิตเพิ่มขึ้นถึง 260,000 ตัน เพิ่มขึ้นต่อเนื่อง ค.ศ. 2016 และ 2017 มีผลผลิตเพิ่มขึ้นถึง 300,000 ตัน (Table 1) จากที่ประสบปัญหาเรื่องโรคที่ผ่านมา และได้มีแนวทางการแก้ปัญหาโดยเทคนิค 3 สะอาด คือ กุ้งสะอาด น้ำสะอาด บ่อสะอาด ถือว่าเป็นการแก้ปัญหาที่ทำให้ผลผลิตกุ้งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด Apiruknusat (2016) ได้ศึกษาเพื่อทำความเข้าใจโรคของกุ้ง และได้พัฒนาปรับปรุงสายพันธุ์กุ้งแข็งแรง ตลอดจนการอนุบาล การเพาะเลี้ยง และการจัดการระหว่างการเลี้ยงเพื่อลดปัญหาโรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิค 3 สะอาด สามารถประยุกต์ใช้เลี้ยงกุ้งช่วยป้องกันโรค และสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันที่การเลี้ยงต้องเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ช่วยเกษตรกรลดต้นทุน เพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่และผลผลิตสะอาด อย่างไรก็ตาม วิธีการเลี้ยงนี้สามารถนำไปถ่ายทอดความรู้ให้แก่เกษตรกรเพื่อสร้างความสำเร็จอย่างต่อเนื่อง และยั่งยืนในอนาคต

Table 1 Global Farmed Shrimp Production 2012-2017

Country/Year	2012	2013	2014	2015	2016	2017*	%different 2016/2017*
Thailand	540	250	230	260	300	300	-
China	550	650	625	600	550	535	- 3%
Vietnam	170	240	300	210	260	320	+ 23%
Indonesia	105	180	200	220	270	260	- 4%
India	190	270	420	380	400	450	+ 13%
Malaysia	57	46	35	35	45	50	+ 11%
Philippines	40	52	57	48	53	55	+ 4%
Central-South	572	555	630	628	669	673	+ 1%
Other	85	65	70	100	110	135	+ 23%
Total	2,309	2,308	2,567	2,481	2,657	2,778	+ 5%

Unit: thousand tons

Source: Thai Shrimp Association (2017) * estimate

เทคนิค 3 สะอาดในการเลี้ยงกุ้ง

1. กุ้งสะอาด

กุ้งสะอาดเป็นหัวใจสำคัญของการเลี้ยงกุ้ง โดยต้องปลอดจากเชื้อต่างๆ เริ่มจากพ่อแม่พันธุ์ เกษตรกรควรพิจารณาเลือกใช้ลูกกุ้งที่มาจากโรงเพาะฟักที่ได้มาตรฐาน พ่อแม่พันธุ์ต้องปลอดเชื้อและมีการพัฒนาสายพันธุ์มาแล้ว และกระบวนการผลิตในโรงเพาะฟักนั้นจะต้องให้ความสำคัญต่อระบบไบโอซีเคียว (Schuur, 2003) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อในทุกๆ ขั้นตอนของการผลิต และต้องไม่มีเชื้อก่อโรค เช่น ไวรัสแดงขาว (WSSV) โรคตายด่วน (EMS/AHPND) และไมโครสปอริเดีย (EHP) ไม่มีการปนเปื้อนตั้งแต่ต้นลูกกุ้งแข็งแรง และมีการตรวจสอบคุณภาพลูกกุ้งก่อนลงเลี้ยงโดยวิธีวนซุนทรหรือซิมไบโอเทค (Limsuwan and Chanratchakool, 2004) การสุ่มตรวจปริมาณเชื้อบริโอในลูกกุ้ง โดยเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้คือ ต้องมีโคลิฟอร์มสีเหลืองไม่เกิน 100 โคลิฟอร์ม สีเขียวไม่เกิน 10 โคลิฟอร์ม และต้องไม่มีโคลิฟอร์มเรืองแสง จากการสุ่มตัวอย่างลูกกุ้งจำนวน 100 ตัว (Limsuwan and Chanratchakool, 2004) และทดสอบความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะความเค็ม หรือมีการตรวจสอบความแข็งแรงของลูกกุ้ง สุ่มตัวอย่างลูกกุ้งจำนวน 100 ตัว และทำให้ลูกกุ้งอยู่ในภาวะเครียดโดยใช้ฟอร์มาลินเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม แช่ลูกกุ้งนาน 2 ชั่วโมง ถ้าผ่าน 2 ชั่วโมงแล้ว ลูกกุ้งยังไม่ตาย แสดงว่าลูกกุ้งแข็งแรง

2. น้ำสะอาด

ในปัจจุบันแหล่งน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งมีเชื้อก่อโรคปนเปื้อนอยู่ทั่วไปจนกลายเป็นเชื้อประจำถิ่น จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้มีการเพิ่มจำนวนขึ้นจนเป็นอันตรายต่อกุ้ง น้ำสะอาดจะต้องทำให้ตะกอนแขวนลอยลดน้อยลง สารอินทรีย์ในน้ำ (DOC: Dissolved Organic Carbon) ระดับต่ำ ไม่มีตะกอน มีแพลงก์ตอนไม่มากเกินไป ไม่มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue green algae) รวมทั้งต้องมีปริมาณน้ำสะอาดที่เพียงพอตลอดระยะเวลาการเลี้ยง โดยต้องมีการวางแผนการเลี้ยงและทำการปรับปรุงโครงสร้างฟาร์มให้เหมาะสม สัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่เก็บน้ำต่อพื้นที่การเลี้ยงที่เหมาะสมคือ 70:30 ปัจจุบันจำเป็นต้องใส่ใจคุณภาพน้ำที่จะนำมาใช้เลี้ยงต้องปลอดภัยต่อกุ้งมากที่สุด

โดยการจัดการลดสารอินทรีย์ที่อยู่ในมวลน้ำ ในกระบวนนี้ต้องใช้พื้นที่เก็บน้ำมากขึ้นมีปริมาณน้ำเพียงพอ มีการพักน้ำก่อนนำไปใช้อย่างน้อย 5 วัน และมีการใช้สารเคมีในการจัดการ เช่น ใช้ต่างทับทิม คลอรีน สารจับตะกอน เป็นต้น

3. บ่อสะอาด

ต้องเริ่มตั้งแต่การเตรียมบ่อให้สะอาด เพื่อกำจัดของเสีย แหล่งอาศัย และอาหารของเชื้อโรค บ่อเลี้ยงปูโพลีเอทิลีนหรือพีอี มีหลุมรวมตะกอนกลางบ่อ มีการเก็บตัวอย่างดินและน้ำเพื่อตรวจเชื้อแบคทีเรียและเชื้อไวรัสที่ก่อโรคก่อนที่จะปล่อยกุ้งลงเลี้ยง มีบ่อเก็บตะกอนไม่ปล่อยตะกอนให้ล้นออกมา นอกฟาร์มเลี้ยง การติดตั้งเครื่องตีน้ำและเปิดให้เหมาะสม และสามารถรวมตะกอนได้ดี จะไม่กระทบต่อการกินอาหารของกุ้งและสามารถประหยัดพลังงานได้ สำหรับในระหว่างการเลี้ยงต้องมีการกำจัดตะกอนที่เกิดจากขี้กุ้ง และเศษอาหารที่เหลือจากการกินของกุ้ง โดยดูดออกจากหลุมรวมตะกอนไปเก็บไว้ในบ่อเก็บตะกอน ต้องระวังอย่าให้ตะกอนเปลี่ยนเป็นสีดำหรือมีเลนเกิดขึ้น สิ่งที่สำคัญคือเกษตรกรต้องลดพื้นที่การเลี้ยงกุ้ง เพื่อนำไปใช้เป็นพื้นที่เก็บน้ำสะอาดมากขึ้น แต่ไม่ได้ทำให้ผลผลิตกุ้งลดลง Thai Shrimp News (2017) ที่ได้เก็บข้อมูลการเลี้ยงกุ้งด้วยเทคนิค 3 สะอาด ต้นทุนต่ำแบบอิงธรรมชาติที่ฟาร์มเอกชน จ.สงขลา เลี้ยงด้วยน้ำความเค็ม 25-30 พีพีที มีบ่อพักน้ำพื้นที่ 3 ไร่ จำนวน 7 บ่อ และบ่อเลี้ยงพื้นที่ 3 ไร่ จำนวน 3 บ่อ (อัตราส่วน 70:30) การเตรียมน้ำทะเล คือสูบน้ำทะเลโดยตรง เข้ามายังบ่อพักน้ำที่ 1 ใช้ต่างทับทิม 15-20 พีพีเอ็ม ในการฆ่าเชื้อน้ำทะเล จากบ่อที่ 1 ทำเป็นฝายน้ำล้นต่อเนื่องไปยังบ่อที่ 2-5 หลังจากนั้นจะสูบน้ำเข้าบ่อเลี้ยงกรองด้วยผ้ากรองละเอียด และใช้น้ำนี้เติมช่วยพรางแสงแดดให้ลูกกุ้งในช่วงแรก โดยบ่อเลี้ยงปูด้วยพีอี 100 % และพื้นบ่อมีหลุมดูดตะกอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เมตร ก้นหลุมลึก 2.5 เมตรอยู่กลางบ่อเลี้ยง (Fig. 1) พื้นบ่อเป็นลักษณะเหมือนอ่างกระทะเพื่อให้ออกซิเจนและขี้กุ้งได้ง่าย มีเครื่องให้อากาศแบบใบพัดและให้ออกซิเจนโดยสายยางรอบบ่อเลี้ยง ปล่อยกุ้งในอัตราความหนาแน่น 300,000 ตัว/ไร่ (หรือเท่ากับ 188 ตัว/ตร.ม.) เป็นการทดลองเลี้ยงเพื่อหาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบเลี้ยงกุ้งด้วยเทคนิค 3 สะอาด ไม่ใช่สารเคมีระหว่างเลี้ยง ทำการตรวจเช็คคุณภาพน้ำทุกวันและเติมแร่ธาตุสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการเลี้ยง สามารถเลี้ยงกุ้งได้นานถึง

105 วัน เริ่มมีการเก็บเกี่ยวกุ้งออกบางส่วนเป็นจำนวน 4 ครั้ง และครั้งที่ 5 จับหมดบ่อ ผลผลิตรวมทั้งหมดเฉลี่ย 15-20 ตัน/บ่อ โดยมีอัตราแลกเนื้อเฉลี่ย 1.67 และยังมีมีการถ่ายน้ำในปริมาณ 20-40% ทุกวัน ไม่ได้มีระบบบำบัดน้ำ แต่ใช้วิธีการตกตะกอนในบ่อพักน้ำ ผลการเลี้ยงนี้ถึงแม้ประสิทธิภาพการให้อาหารยังคงไม่ดี แต่ระบบนี้ก็มีประสิทธิภาพของการเลี้ยงในเชิงผลผลิตมากกว่าประสิทธิภาพของกุ้งที่เลี้ยงในระบบถ่ายน้ำน้อยในปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่ากุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นจากปัจจัยสำคัญในการเลี้ยง การจัดการระหว่างการเลี้ยง รวมถึงสภาพแวดล้อมดีขึ้น และเกษตรกรใส่ใจในการเลี้ยงเป็นอย่างดี จะทำให้ผลผลิตกุ้งจากการเลี้ยงด้วยวิธีนี้เพิ่มมากขึ้นได้ และสามารถสร้างความยั่งยืนให้กับเกษตรกรได้เป็นอย่างดี



Fig.1 Grow-out shrimp pond with plastic sheet liner 100% and sump (8-m diameter, 2.5-m deep)
Source: Thai Shrimp News (2017)

ค่ามาตรฐานต่างๆ ในระบบการเลี้ยง 3 สะอาด

1. ค่า DOC (Dissolved Organic Carbon) ในน้ำ คือ ค่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายในน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่มาจากอาหารที่ตกค้างในบ่อเลี้ยงและการขับถ่ายของเสียจากกุ้ง วัดด้วยค่า potassium permanganate demand ค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของน้ำพร้อมใช้คือ 0 พีพีเอ็ม สำหรับน้ำในบ่อเลี้ยงและบ่ออนุบาลต้องไม่เกิน 20 พีพีเอ็ม
2. ความขุ่นของน้ำ เกิดจากสารแขวนลอยในน้ำที่ทำให้น้ำไม่โปร่ง โดยใช้ Turbidity meter มีหน่วยเป็น NTU (Nephelometric Turbidity Units) น้ำพร้อมใช้ต้องมีค่าไม่

เกิน 25 NTU ซึ่งค่าความขุ่นของน้ำประปาตามมาตรฐานต้องไม่เกิน 4 NTU

3. Total count vibrio ตรวจสอบแบคทีเรียกลุ่ม vibrio โดยเฉพาะโคโลนีสีเขียวมากเกินไป (ไม่ควรเกิน 10^2 cfu/ml) ทำการตรวจเช็คในน้ำใช้ในการอนุบาลและลูกกุ้งก่อนปล่อยลงเลี้ยงด้วย (Limsuwan and Chanratchakool, 2004)

4. Biofilm check เป็นการตรวจเช็คการปนเปื้อนของเชื้อ vibrio และเชื้อ EHP สำหรับการตรวจเช็คการปนเปื้อนของเชื้อ EHP ต้องตรวจทั้งในตัวของกุ้งเป็นระยะๆ โดยการสุ่มและตรวจการปนเปื้อนของเชื้อที่บริเวณใยฟูสำหรับกรองน้ำ ในกรณีที่พบเชื้อต้องเข้มงวดในการดูแลตะกอนและควบคุมคุณภาพน้ำให้โปร่งมากขึ้น

5. Stress test คือ การทดสอบความแข็งแรงของลูกกุ้งที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค็มแบบเฉียบพลันต้องใช้เกณฑ์ผ่านที่ 95% ขึ้นไป (Limsuwan and Chanratchakool, 2004)

6. Oxidation Reduction Potential (ORP) คือค่าปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีในน้ำ โดยเกิดปฏิกิริยาการให้อิเล็กตรอน (Oxidation) หรือรับอิเล็กตรอน (Reduction) มีหน่วยวัดเป็นมิลลิโวลต์ (mV) หากน้ำในบ่อมีค่า ORP ไปในทางบวกจะเกิดการใช้ออกซิเจนเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถ้าค่า ORP เป็นค่าลบแสดงว่าเกิดปฏิกิริยารีดักชัน คือการวัดค่าความเน่าเสียของบ่อเลี้ยง สามารถตรวจสอบทั้งในตะกอนและดินในบ่อได้พอดี ค่ามาตรฐานคือ ไม่เกิน -100 mV หากมีค่าเกินมาตรฐานถือว่าบ่อมีปัญหาต้องรีบจัดการแก้ไขทันที (Wongmaneeprateep, 2006)

ประโยชน์จากเทคนิค 3 สะอาดในการเลี้ยงกุ้ง

การเลี้ยงกุ้งตั้งแต่ ค.ศ. 2015 - 2017 มีผลผลิตเพิ่มขึ้นจากการเลี้ยงโดยใช้เทคนิค 3 สะอาด คือ บ่อสะอาด น้ำสะอาด และกุ้งสะอาด สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงกุ้งหลากหลายรูปแบบ ตั้งแต่บ่อเลี้ยงไม่ถึง 1 ไร่ จนถึง 3 ไร่ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสภาพการเลี้ยงและพื้นที่เลี้ยง สามารถสรุปรูปแบบการเลี้ยง (Table 2) ได้ ดังนี้

1. การเลี้ยงกุ้งแบบโปร่ง Songsaengjinda (2016) กล่าวว่า เป็นระบบการเลี้ยงแบบใหม่ที่เน้นการทำให้บ่อเลี้ยง

กึ่งมีสารอินทรีย์สะสมน้อยที่สุด ตั้งแต่การนำน้ำเข้ามาใช้ในบ่อโดยน้ำทะเลต้องผ่านการตกตะกอน และใช้สารเคมีบำบัดให้เป็นน้ำที่มีสารอินทรีย์ต่ำ เก็บไว้ใช้ถ่ายน้ำร่วมกับวิธีการดูดของเสีย และกึ่งที่อ่อนแอในระหว่างเลี้ยงจากหลุมดูดตะกอนกลางบ่อ ทำให้บ่อเลี้ยงกึ่งมีสารอินทรีย์ต่ำ กึ่งสามารถเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง โครงสร้างระบบเลี้ยงกึ่งแบบน้ำโปร่งนี้นิยมการปูพีอี 100% เพื่อหยุดบทบาทของดินพื้นบ่อต่อระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกึ่ง และทำให้สามารถจัดการตะกอนเลนได้ดีขึ้น และสามารถนำเอาออกซิเจนที่ให้ดินบริเวณมาใช้ในการเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น ระบบนี้ใช้เครื่องให้อากาศปริมาณมาก 4-10 แร่งม้า/ไร่ และนิยมใช้บ่อขนาด 2-4 ไร่ และปล่อยกุ้งหนาแน่น 200,000-500,000 ตัว/ไร่ จุดเด่นของระบบนี้คือ สามารถจัดการให้มีสารอินทรีย์ต่ำ เลี้ยงกุ้งให้ผลผลิตสูง โดยต้องเก็บเกี่ยวบางส่วนระหว่างเลี้ยงเมื่อปริมาณกุ้งในบ่อถึงจุดสูงสุดที่ระบบสามารถจัดการ และยังเป็นระบบที่สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ดีกว่าบ่อเลี้ยงกุ้งระบบการเปลี่ยนถ่ายน้ำ จุดด้อยของระบบเลี้ยงกึ่งแบบน้ำโปร่งคือใช้พื้นที่การเลี้ยงและทรัพยากรน้ำในปริมาณมาก มีต้นทุนสารเคมีในการจัดการน้ำสูง และต้นทุนพลังงานสูง

2. การเลี้ยงกุ้งความหนาแน่นสูง (super-intensive culture) เป็นการเลี้ยงในบ่อขนาดเล็กใช้พื้นที่ในการเลี้ยงไม่เกิน 1 ไร่ หรือเรียกว่าบ่อเลี้ยงกุ้งไรด์ิน (Raceway) บ่อเลี้ยงเป็นบ่อผ้าใบทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เมตร หรือเป็นบ่อผ้าใบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เป็นระบบการเลี้ยงแบบความหนาแน่นสูงและบ่อเลี้ยงลักษณะนี้นั้นการจัดการง่าย การดูดของเสียโดยวิธีดูดผ่านท่อพีวีซี ระบบนี้เดิมอากาศโดยใช้รูปโบลเวอร์ขนาด 3-4 นิ้ว พร้อมมอเตอร์ 10 แร่งม้า และนิยมใช้บ่อขนาดเล็กความจุน้ำ 150-300 ลบ.ม. และปล่อยกุ้งหนาแน่น 200,000-300,000 ตัว/บ่อ สามารถทยอยจับกุ้งขายบางส่วน 3-4 ครั้ง อัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 20-40% จุดเด่นของระบบนี้คือ สามารถจัดการให้มีสารอินทรีย์และของเสียในบ่อได้ง่าย ใช้คนน้อย มีความเสี่ยงน้อย และให้ผลผลิตสูง จุดด้อยของระบบบ่อผ้าใบ คือ หลังจากปิดรอบการเลี้ยงอัตราการแลกเนื้อสูงกว่าบ่อดิน มีต้นทุนสารเคมีในการจัดการน้ำสูง

3. การเลี้ยงกุ้งแบบน้ำหมุนเวียน (Recirculation Aquaculture System; RAS) เป็นระบบนำน้ำที่ใช้แล้วมา

บำบัดและนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการใช้น้ำอย่างประหยัดและคุ้มค่า มีการใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบน้ำหมุนเวียนใช้เทคโนโลยีในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อทดแทนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบดั้งเดิม เช่น การเพาะเลี้ยงในบ่อดิน ระบบน้ำหมุนเวียนแตกต่างกับระบบ raceway ตรงที่ raceway เป็นระบบน้ำไหลผ่านออกจากบ่อเลี้ยงแล้วทิ้งไป การเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบน้ำหมุนเวียนต้องควบคุมสภาวะที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและสุขภาพที่ดีของสัตว์น้ำ ระบบนี้จำเป็นต้องผลิตน้ำที่สะอาด มีออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ มีการกรองน้ำโดยระบบไบโอไฟเตอร์ โปรตีนสกินเมอร์ สาหร่าย หรือไบโอบอล ในการบำบัดน้ำก่อนนำกลับเข้ามาในระบบการเลี้ยงอีกรอบ (Ray, 2015) ซึ่งทำให้น้ำที่ไหลผ่านมีความสะอาดขึ้น และนำของเสียเศษอาหารออกจากน้ำหมุนเวียน ควรให้อาหารที่มีสารอาหารครบถ้วนเพื่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำที่ดี และมีอัตราการรอดตายสูง การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบน้ำหมุนเวียน มีจุดเด่น คือ วิธีการนี้สามารถเพิ่มผลผลิตกุ้งได้สูงสุด สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงได้ดีเพื่อให้ได้อัตราการเจริญเติบโตที่ดีและสามารถควบคุมการเกิดโรคได้ดี จุดด้อยคือ มีปริมาณน้ำจำกัดพื้นที่เลี้ยงจำกัดต้นทุนพลังงานสูงในการจัดการระบบหมุนเวียน

4. ระบบการเลี้ยงแบบไบโอฟลอค Ingthamjitr (2017) กล่าวว่า ไบโอฟลอค คือ การใช้ตะกอนจุลินทรีย์มาช่วยในการย่อยสลายซากของเสีย (แอมโมเนีย) เปลี่ยนของเสียให้กลายเป็นของดีเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ไบโอฟลอคสามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติ แต่หากน้ำไม่หมุนเวียนหรือเคลื่อนไหว ฟลอคก็จะตกตะกอนสะสมที่พื้นก้นบ่อกลายเป็นของเสียเช่นเดิม ไบโอฟลอคจะเกิดเมื่อเกิดคุณสมบัติของอัตราส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจนในน้ำซึ่งการสร้างไบโอฟลอคในบ่อเลี้ยงกุ้งจะทำได้ต้องมีปัจจัยที่สนับสนุนการเกิดฟลอค ดังนี้

4.1 สัดส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจน หรือ C:N ratio ที่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียที่มีประโยชน์คือ 20:1 หมายถึง ในน้ำจะต้องมีคาร์บอน 20 ส่วน ต่อไนโตรเจน 1 ส่วน แต่โดยทั่วไปในบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีไนโตรเจนสูงซึ่งเกิดจากอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งมีโปรตีนสูง ดังนั้นการจะปรับ C:N ให้ปริมาณคาร์บอนสูงขึ้นสามารถทำได้โดยการเติม

คาร์โบไฮเดรตลงในบ่อ แหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ใช้เติม ได้แก่ กากน้ำตาล น้ำตาลแดง และแป้ง

4.2 แบคทีเรีย เป็นสิ่งมีชีวิตที่เป็นกลไกสำคัญในการสร้างสารที่ทำหน้าที่ในการยึดรวมเอาสิ่งแขวนลอยในน้ำ ได้แก่ สารอินทรีย์ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ จนกลายเป็นตะกอนเบาแขวนลอยอยู่ในน้ำ

4.3 มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนให้อยู่ในปริมาณสูง และการเคลื่อนตัวของมวลน้ำต้องแรงและต่อเนื่อง ตลอดจนต้องมีการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสม

Table 2 Advantages and Disadvantages of various shrimp culture system

Check list	Culture system			
	Clean-water	Intensive with plastic sheet liner	RAS	Biofloc
Size of pone (rai)	2-4	> 1	6-10	4-6
Deep (m)	1.5-2	0.8-0.9	1.5-2.5	1-1.2
Water Volume (ton/pond)	4,800-12,800	150-300	14,000-40,000	6,400-9,600
Density of PL (ind/m ²)	120-320 (shrimp/rai)	120-200	60-120	20-40
Aerator (hp/rai)	4-10	3-4	2-4	1-2
Waste management	- Removal of sludge - Recirculation water	- Water changed 20-40 %	- Recirculation water - Protein skimmer	- Biofloc system
Suitable environment of culture system	- Outbreak of bacteria	- Outbreak of disease	- Outbreak of disease	-Outbreak of disease with grow out pond
Advantages	- Lower organic mater - High density of PL	- High density of PL	- Use water drops	- Prevent the disease
Disadvantages	- Use a lot of water resources	- Higher FCR	- Higher cost	- Use a lot of water resources

การศึกษาการเลี้ยงกุ้งในรูปแบบต่างๆ

การเลี้ยงกุ้งทะเลเพื่อป้องกันโรคและเพิ่มผลผลิตสูงขึ้น แต่มีการใช้พื้นที่การเลี้ยงน้อยลง โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเลี้ยงหลากหลายรูปแบบ สรุปรจากการศึกษาได้ (Table 3) ดังนี้

Songsangjinda (2016) ได้ศึกษาการเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นสูงในบ่อขนาดเล็ก จำนวน 2 บ่อ บ่อขนาด 300 ตร.ม.

ความจุน้ำ 270 ลบ.ม. ปล่อยุ้งในอัตราความหนาแน่น 135,000 ตัว/บ่อ ในสภาพแวดล้อมควบคุมแสง ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาขนาดเล็ก ระยะเวลาการเลี้ยง 102 วัน มีการเก็บเกี่ยวกุ้งออกบางส่วนจำนวน 3 ครั้ง และครั้งที่ 4 ได้ผลผลิตรวมทั้งหมด 2,450 กก. (9.07 กก./ลบ.ม.) อัตราแลกเนื้อ 1.67 และ Thai Shrimp news (2017) ได้เก็บข้อมูลการเลี้ยงกุ้งแบบไร้ดิน ระบบหนาแน่นสูงในบ่อขนาดเล็กของฟาร์ม

เอกชน จำนวน 3 บ่อ บ่อผ้าใบทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เมตร น้ำลึก 80 เซนติเมตร ความจุ 176 ลบ.ม. ปล่อยุ้งใน อัตราความหนาแน่น 50,000 ตัว/บ่อ มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 20-40% มีการคุมแสงโดยใช้สีน้ำเทียม และมีการเก็บเกี่ยว กุ้งออกบางส่วนจำนวน 3 ครั้ง และครั้งที่ 4 ได้ผลผลิตรวม ทั้งหมด 1,834 กก. (10.43 กก./ลบ.ม.) อัตราแลกเนื้อ 1.70 การเลี้ยงทั้ง 2 รูปแบบนี้ได้ผลผลิตใกล้เคียงกัน ขึ้นอยู่กับเกษตรกรในการนำไปประยุกต์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ของตน

นอกจากนี้ Ray *et al.* (2017) ได้ทดลองการเลี้ยง กุ้งในระบบแตกต่างกัน 2 ระบบ คือ ระบบน้ำหมุนเวียน (RAS) และระบบไบโอฟลอค (Biofloc) ในบ่อทดลองขนาด 1.36 ลบ.ม. ปล่อยุ้งในอัตราความหนาแน่น 250 ตัว/บ่อ ระยะเวลาการเลี้ยงนาน 55 วัน ศึกษาคุณภาพน้ำ อัตราการ เจริญเติบโต และอัตราการรอดตาย พบว่าระบบน้ำ หมุนเวียนมีคุณภาพน้ำดีกว่าระบบไบโอฟลอค เนื่องจากมี การเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยเฉพาะปริมาณแอมโมเนียน้อยกว่า ระบบไบโอฟลอคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วน อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายทั้ง 2 ระบบ ไม่ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ การศึกษาของ Esparza-Leal *et al.* (2015) ที่ได้ศึกษา อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของกุ้งระยะ โปสลาวาในระบบน้ำหมุนเวียนและระบบไบโอฟลอคที่ระดับ ความหนาแน่นแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 1,500 3,000

6,000 และ 9,000 ตัว/ลบ.ม. ระยะเวลาการเลี้ยงนาน 42 วัน พบว่า อัตราการเจริญเติบโตที่ระดับความหนาแน่น 1,500 และ 3,000 ตัว/ลบ.ม. ที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำหมุนเวียน มากกว่าระบบไบโอฟลอคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และอัตราการรอดตายที่เลี้ยงด้วยระบบน้ำ หมุนเวียนมีค่าสูงกว่าระบบไบโอฟลอค แต่ไม่มีความ แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) นอกจากนี้ Effendy *et al.* (2016) ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตาย ของกุ้งในระบบกึ่งหนาแน่นเปรียบเทียบกับระบบไบโอฟ ลอคในบ่อโพลีเอสเตอร์ที่สิ้นขนาด 300 ตร.ม. ปล่อยุ้งระยะพี แอล 20 ในอัตราความหนาแน่น 100 ตัว/ตร.ม. ระยะเวลา การเลี้ยงนาน 120 วัน โดยในระบบกึ่งหนาแน่นมีการเปลี่ยน ถ่ายน้ำ 10% ส่วนระบบไบโอฟลอคไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ พบว่า การเลี้ยงระบบไบโอฟลอคน้ำหนักกุ้งสุดท้ายมากกว่า ระบบกึ่งหนาแน่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P < 0.05$) ส่วน อัตราการรอดตายและอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน มีค่าไม่ แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งการเลี้ยงกุ้งในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เป็นรูปแบบการเลี้ยงแบบพัฒนา โดยลดพื้นที่การ เลี้ยงลง แต่ได้ผลผลิตกุ้งสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงกุ้ง รูปแบบใดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของพื้นที่และความรู้ ความเข้าใจของผู้เลี้ยงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ประสบความสำเร็จสูงสุด

Table 3 Effect of density on growth performance on shrimps

Culture system	Level of density	Period of culture (day)	Survival rate (%)	FCR	Biomass Produced
Water change ¹	124 ¹ (shrimp/m ²)	56	79	1.47	1,418.32 (kg/rai)
	25 ¹ (shrimp/m ²)	56	93	0.92	443.52 (kg/rai)
RAS	250 ² (shrimp/m ³)	55	78	1.50	2.00 (kg/m ³)
Intensive with plastic sheet	450 ³ (shrimp/m ³)	102	75	1.67	9.07 (kg/m ³)
	285 ⁴ (shrimp/m ³)	90	78	1.70	10.43 (kg/m ³)
Biofloc	250 ² (shrimp/m ³)	55	69	1.80	1.70 (kg/m ³)
	300 ⁵ (shrimp/m ³)	40	75	1.34	2.72 (kg/m ³)
	400 ⁵ (shrimp/m ³)	40	67	1.49	2.99 (kg/m ³)
	500 ⁵ (shrimp/m ³)	40	59	1.71	2.63 (kg/m ³)
Semi-intensive	100 ⁶ (shrimp/m ²)	120	83	2.90	981.28 (kg/rai)
Semi-biofloc	100 ⁶ (shrimp/m ²)	120	81	2.60	1,093.28 (kg/rai)

Source: ¹Juan *et al.* (2017); ²Ray *et al.* (2017); ³Songsaenjinda (2016); ⁴Thai Shrimp News (2017); ⁵Gang *et al.* (2017) and ⁶Effendy *et al.*(2016)

สรุป

ระบบการเลี้ยงกุ้งในอนาคตไม่ว่าจะเลือกระบบใด เช่น การเลี้ยงระบบน้ำโปร่ง ระบบน้ำหมุนเวียน ระบบบ่อไร้ดิน หรือระบบไปโอฟลอค ควรคำนึงถึงจุดด้อยหรือจุดเด่นในการเพิ่มประสิทธิภาพการให้อาหาร และต้นทุนพลังงานในการจัดการเลี้ยงกุ้ง กำลังการผลิตต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้น และมีความเหมาะสมของพื้นที่เลี้ยง เนื่องจากการลดและ

ควบคุมของเสียในระหว่างการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถนำไปสู่รูปแบบการผลิตกุ้งทะเลที่มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศต่ำกว่าระบบปัจจุบันที่เลี้ยงกุ้งในบ่อดิน ซึ่งประเทศไทยมีความพร้อมด้านเทคโนโลยีและความสามารถในการพัฒนาระบบดังกล่าวให้สมบูรณ์และสามารถนำมาใช้งานได้จริง เพื่อให้เกิดระบบเลี้ยงกุ้งที่จะเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลในประเทศไทยในอนาคต

References

- Apiruknosit, P. 2016. CP Model. Thailand Shrimp. 26th 14 December. Surat Thani Province. (in Thai)
- Effendy, I., Deen, S.A. and Chithambaran, S. 2016. Semi Intensive and Semi Biofloc Methods for the Culture of India White Prawn, *Fenneropenaeus indicus* in High-density Polyethylene Liner Ponds. HAYATI J. Bios. 23:106-110.
- Esparza-Leal, H.M., Cardozo, A.P. and Wasielesky, W. 2015. Performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in indoor nursery tanks at high stocking density in clear-water versus biofloc system. Aquacult. Eng. 68:28-34.
- Gang, L., Songming, Z., Dezhao L., Xishan, G. and Zhangying, Y. 2017. Effect of stocking density of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) on immunities, antioxidant status and resistance against *Vibrio harveyi* in a biofloc system. Fish & Shellfish Imm. 67:19-26.
- Ingthamjitr, S. 2017. Biofloc Technology A Practical Guidebook. Kasetsart University. Bangkok. 232 pp. (in Thai)
- Juan, P.A., Robles-Romo, A., Alvarez-Ruoz, P., Santamaria-Miranda, A., Olivia, A. and Racotta, I. S. 2017. Influence of stocking density and exposure to white spot syndrome virus in biological performance, metabolic, immune and bioenergetics response of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Aquaculture. 429:528-537.
- Limsuwan, C. and Chanratchakool, P. 2004. Shrimp aquaculture industries of Thailand. National Research Council of Thailand, Bangkok. (in Thai)
- Ray, A.J. 2015. Indoor-raised shrimp find potential market in Kentucky State University test. Global Aquacult. Advocate. 18(6):76-77.
- Ray, A. J., Thomas, H. and Cecil, D.A. . 2017. Comparing clear-water RAS and biofloc systems: Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production, water quality, and biofloc nutritional contributions estimated using stable isotopes. Aquacult. Eng. 77: 9-14.
- Schuur, A. M. 2003. Evaluation of biosecurity applications for intensive shrimp farming. Aquacult. Eng. 28:3-20
- Songsaengjinda, P. 2016. Shrimp farming system in the future of Thailand. 5th Thailand shrimp Conference, 10-11 September 2016. Songkhla Province. (in Thai)

Thai Shrimp Association. 2017. Shrimp Industry Trends in Thailand 2017. [Accessed May 20, 2017]. Available from: URL: <http://www.thinsiam.com>. (in Thai)

Thai Shrimp News. 2017. 3 Clean technique in shrimp culture with lost cost [online]. [Accessed February 8, 2018]. Available from: URL: <https://www.facebook.com/shrimpnewsThai/.../1152123858165526/>. (in Thai)

Wongmaneeprateep, S. 2006. The Effect of Sodium Nitrate Base (Nutrilake) on Raising Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius) in a Closed System. Master of Science (Fisheries Science). Kasetsart University. Bangkok. 128 pp. (in Thai)

การคัดเลือกเชื้อบาซิลลัสในการควบคุมโรคและเป็นปุ๋ยชีวภาพเพื่อใช้ในฟาร์มข้าวอินทรีย์

อานัติ ขัตติยะ¹, ขรรค์ชัย ดันเมฆ¹, วีระชัย ตีรอรุณศิริ², ตะวัน ห่างสูงเนิน³ และ
สุภัค มัทธนพรรค^{2*}

¹ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

² ศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

³ บริษัท ข้าวอินทรีย์ไทย จำกัด อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ 50180

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกเชื้อที่แยกได้จากดินบริเวณแปลงข้าวอินทรีย์เพื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติในการเป็นปุ๋ยชีวภาพ โดยคัดเลือกเชื้อจำนวน 3 ไอโซเลท คือ BS3, BA3 และ BL3 ซึ่งเบื้องต้นศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และคุณสมบัติทางเคมีพบว่าเป็นเชื้อ *Bacillus* spp. เชื้อดังกล่าวถูกนำไปตรวจสอบคุณสมบัติในการผลิตสารปฏิชีวนะ การผลิต Indole acetic acid และการตรึงไนโตรเจน โดยพบว่าไอโซเลท BA3 สามารถผลิต Indole acetic acid และ ไอโซเลท BS3 สามารถในการตรึงไนโตรเจนและผลิตสารปฏิชีวนะได้ในระดับสูง จากนั้นนำเชื้อแบคทีเรียไปทดสอบผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ผลการทดสอบพบว่าไอโซเลท BS3 มีผลต่อการเจริญของข้าวโดยทำให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และให้ผลผลิตต่อกระถางสูงกว่าชุดควบคุมที่ใช้น้ำเปล่า และปุ๋ยเคมี

คำสำคัญ: ข้าวดอกมะลิ 105 ปุ๋ยชีวภาพ และ บาซิลลัส

*ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: anutkatisa@hotmail.com/ โทร: 088-4005589

Screening of *Bacillus* in Biocontrol and Production of Bio-Fertilizer for use in Organic Rice Farms

Anut Khattisa¹, Khanchai Danmek¹, Werachai Tera arusiri², Tawan Hangsoongnern³ and Supuk Mahadtanapuk^{2*}

¹*School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao, 56000, Thailand*

²*Central laboratory University of Phayao, Phayao, 56000, Thailand*

³*Thai Organic Rice Company limited, Mae Rim, Chiang Mai, 50180, Thailand*

Abstract

This study was conducted to isolate bacteria from soil in organic rice farm, and evaluate their potential as biofertilizers. Three bacterial isolates (BS3, BA3 and BL3) were isolated. These isolates were studied and found to be *Bacillus* spp. with their colony characteristics and biochemical testing. These isolates were checked for their ability to produce antibiotic, Indole acetic acid, and nitrogen fixation. Isolate BA3 was found to produce maximum amount of Indole acetic acid and BS3 showed higher nitrogen fixation and antibiotic potential. Then, these isolates used for rice (KDML 105) growth testing. The results were indicated that, isolate BS3 had the effect on the growth of rice with high percentage of rice grain filling and higher yield per pot compared with water and chemical fertilizer.

Keywords: Khao Dawk Mali 105, Bio fertilizers and *Bacillus*

*Corresponding author: E-mail: anutkatisa@hotmail.com/Tel: 088-4005589

บทนำ

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก และประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวที่สำคัญประเทศหนึ่งของโลก เนื่องจากข้าวไทยมีคุณภาพดีจึงเป็นที่ต้องการของตลาดผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศซึ่งในการเพาะปลูกข้าวมีการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกมากกว่าพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นๆ ทำให้การใช้ปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มผลผลิตของข้าวให้สูงขึ้นของชาวนา (Division of Rice Research and Development, 2004) แต่จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยมีปริมาณการนำเข้าปุ๋ย และสารเคมีกำจัดศัตรูพืชประมาณ 164 ล้านกิโลกรัม แต่ในทางกลับกันปริมาณผลผลิตกลับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Office of Agricultural Economics, 2016) การใช้ปุ๋ยเคมีเป็นระยะเวลาอันยาวนานมีผลทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ และก่อให้เกิดผลเสียในระยะยาว (Sirikul, 2010) การใช้สารเคมีทางการเกษตรนอกจากเป็นต้นทุนทางการเกษตรแล้วยังมีต้นทุนด้านสาธารณสุขที่ตามมาภายหลังที่รัฐบาลต้องใช้งบประมาณในการดูแลจัดการผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งด้านสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม แล้วยังสูญเสียภาษีที่ควรจะได้รับจากการเติบโตของอุตสาหกรรมสารเคมีเกษตรนี้อีกด้วย แม้ว่าประเทศไทยที่เป็นผู้ส่งออกสินค้าทางการเกษตร และอาหารเป็นอันดับต้นของโลกทำให้ไม่ประสบปัญหาความมั่นคงทางอาหาร แต่มีความเสี่ยงกับความปลอดภัยของอาหาร และความมั่นคงของภาคการเกษตร อันเป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตรที่เพิ่มขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกร รวมทั้งปัญหาอื่นๆ ที่เกิดขึ้นล้วนแต่เป็นภาพเชิงลบของภาคการเกษตรที่เป็นปัจจัยทำให้เกษตรกรรุ่นใหม่ และแรงงานภาคการเกษตรมีแนวโน้มลดลง (Office of Agricultural Economics, 2012)

ปัจจุบันมีเกษตรกรที่ปลูกข้าวส่วนหนึ่งหันมาทำเกษตรแบบไม่ใช้สารเคมี หรือเกษตรอินทรีย์อันเนื่องมาจากปัญหาด้านต้นทุนการผลิตที่ต้องใช้ปุ๋ย และสารเคมีเป็นพิษ และเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดรายได้ที่ตกต่ำ เนื่องจากข้าวอินทรีย์หรือการผลิตแบบปลอดสารพิษได้รับความนิยมจากผู้บริโภคตลาดบนที่มีกำลังซื้อข้าวในราคาที่สูงกว่า ทำให้เกษตรกร

สามารถขายข้าวได้ราคาสูงกว่าการขายข้าวที่ผลิตแบบเคมี แต่แนวคิดพื้นฐานของเกษตรอินทรีย์คือ การบริหารจัดการโดยการผลิตทางการเกษตรแบบองค์รวมโดยพึ่งพาธรรมชาติ การพัฒนาเทคนิคต่างๆ เกี่ยวกับการให้ธาตุอาหารพืช และป้องกันกำจัดสิ่งมีชีวิตอื่นที่อาจมีผลในการทำให้พืชที่ปลูกมีผลผลิตลดลงจึงเป็นหัวใจสำคัญในการผลิตข้าวอินทรีย์ ซึ่งปัจจุบันปุ๋ยชีวภาพ กำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นในหลายประเทศ ซึ่ง ปุ๋ยชีวภาพ คือปุ๋ยที่ได้จากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่จะไปเพิ่มปริมาณธาตุอาหาร หรือเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน (Vessey, 2003) จุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเหล่านั้นมักจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มของ Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) ได้แก่ *Azospirillum*, *Streptomyces*, *Trichoderma*, *Pseudomonas* และ *Bacillus* เป็นต้น ทั้งนี้ยังมีรายงานว่าแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สามารถควบคุมเชื้อรา *Pyricularia grisea* ซึ่งเป็นสาเหตุโรครไหมในข้าวได้ดี (Tayuan et al., 2016) ซึ่งอาจเป็นแนวทางในการศึกษาและคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพได้ในอนาคตได้

การวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบเชื้อ *Bacillus* spp. ที่มีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เป็นจุลินทรีย์ในการทำปุ๋ยชีวภาพเพื่อนำไปใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี ในการผลิตข้าวอินทรีย์สำหรับเกษตรกรต่อไปในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

นำเชื้อแบคทีเรียจำนวน 40 ไอโซเลทที่แยกจากดินในแปลงปลูกข้าวอินทรีย์ (บริษัทข้าวอินทรีย์ไทย อำเภอมะริม จังหวัดเชียงใหม่) โดยเก็บดินบริเวณรอบรากข้าว 3 จุด ต่อหนึ่งแปลง โดยขุดต้นข้าวขึ้น แล้วเก็บตัวอย่างดินใส่ถุงพลาสติกที่ปราศจากเชื้อแล้วนำมาคัดแยกแบคทีเรียในห้องปฏิบัติการเพื่อค้นหาเชื้อ *Bacillus* spp. ซึ่งเบื้องต้นได้ 3 ไอโซเลท ได้แก่เชื้อ *Bacillus* spp. (BS3 BA3 และ BL3) ซึ่งเก็บภายใต้อุณหภูมิต่ำ -20 องศาเซลเซียส ในลิเธอรอลเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ นำมา cross streak บนอาหาร Luria - Bertani (LB) agar บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อใช้ศึกษาคุณสมบัติและการนำไปประยุกต์ใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. การตรวจสอบคุณสมบัติของเชื้อ

ตรวจสอบความสามารถในการผลิตสารปฏิชีวนะ โดยการใช้สารปฏิชีวนะเพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์กลุ่ม PGPR โดยอาศัยวิธีของ Kraus and Loper (1995) โดยนำจุลินทรีย์ที่เลี้ยงบนอาหาร Nutrient broth (NB) มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำตะกอนมาสกัดด้วยคลอโรฟอร์ม แล้วเติมโซเดียมซัลเฟต แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้งที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที 10 นาที เทส่วนที่เป็นของเหลวทิ้ง และละลายตะกอนด้วยอะซิโตน 200 ml แล้วนำไมโครปิเปตดูดมา 70 μ l จุดลงบน Thin Layer Chromatographic Plates (TLC plate) (Silica gel 60 F254, 10x20 cm, 0.2 mm thickness, Marck) โดยมีตัวคลอโรฟอร์ม:acetone (9:1) เป็นตัวทำละลาย นำไปตรวจสอบตำแหน่งของสารภายใต้แสง UV ที่ 254 nm นำแผ่นซิลิกาเจลมาทาบกับอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) ที่มีสปอร์เชื้อรา *Pyricularia* sp. ผสมอยู่ในความเข้มข้น 10^6 spores/ml (เลือกใช้เชื้อรานี้ทดสอบการสร้างสารปฏิชีวนะเพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์ทดสอบเนื่องจากเชื้อรา *Pyricularia* sp. เป็นสาเหตุโรคน้ำข้าว ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการประยุกต์จุลินทรีย์ที่คัดเลือกไปใช้ในอนาคตต่อไป) บันทึกผล clear zone เปรียบเทียบกับ iturin A

ตรวจสอบความสามารถในการสร้าง Indole Acetic Acid (IAA) ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชในกลุ่มออกซิน โดยนำเชื้อจุลินทรีย์มาเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร Tris-TMRT (glucose 10 กรัม yeast extract 0.2 กรัม $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.2 กรัม $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.25 กรัม Tris-base 1.21 กรัม L-tryptophan 0.061 กรัม pH 6.8 ในน้ำ 1 ลิตร) บ่มที่อุณหภูมิห้องที่มีดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที นำส่วนที่เป็นสารละลายไปตรวจสอบการสร้าง IAA โดยดูดสารละลายใส่มา 1 ml ใส่ในหลอดทดลองขนาด 15 ml เติมสารละลาย 0.01 M FeCl_3 ใน 35 เปอร์เซ็นต์ HClO_4 (Salkowsky reagent) ในปริมาณ 2 ml เขย่าให้เข้ากัน บ่มไว้ในที่มืดนาน 30 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่

ความยาวคลื่น 530 nm ทำการเทียบกับ IAA มาตรฐาน (Costacurta *et al.*, 2006)

เตรียมกราฟมาตรฐาน IAA ตามวิธีของ (Ahmad *et al.*, 2008) โดยชั่ง IAA จำนวน 10 mg แล้วละลาย IAA ด้วย Ethanol 500 μ l ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 10 ml จะได้ stock สารละลาย IAA ที่มีความเข้มข้น 1000 μ g/ml จากนั้นทำการ dilution stock IAA ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 μ g/ml ในอาหาร Tris-TMRT โดยปริมาตรรวมเท่ากับ 5 ml ดูดสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ มา 500 μ l เติม Salkowski reagent 500 μ l ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 nm แล้วนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของ IAA ในหน่วยไมโครกรัม/ml กับค่าการดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 530 nm

ตรวจสอบความสามารถในการตรึงไนโตรเจน จากกิจกรรมของเอนไซม์ nitrogenase โดยใช้เทคนิค Acetyl Reduction Assay (ARA) ด้วยเครื่อง Gas Chromatography โดยใช้ Capillary column โดยวิธีประยุกต์จาก (Piromyou *et al.*, 2010) เริ่มจากการนำเชื้อมาเลี้ยงในอาหารเหลว Nitrogen Free Medium (NFM) ที่ไม่เติมแหล่งไนโตรเจน ปริมาตร 7 ml ในหลอดทดลองขนาด 21 ml บ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่า 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นเติมก๊าซ Acetylene ในปริมาตร 10 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรอากาศ บ่มต่อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ดึงก๊าซจากหลอดที่ผ่านการบ่มแล้วปริมาตร 1 ml มาตรวจวัดปริมาณก๊าซเอธิลีนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Gas Chromatography ที่มี Flame Ionization detector โดยใช้ PE-alumina column

2. การทดสอบเชื้อบราซิลที่มีผลต่อการเจริญของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในกระถาง

เตรียมต้นกล้าข้าวทดสอบโดยเฉพาะในถังกักน้ำพลาสติก หูหิ้วสีดำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 เซนติเมตร สูง 28 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นกระถางข้าวโดย บรรจุดินผสม 10 กิโลกรัมต่อกระถาง (Chongkid *et al.*, 2013) (อัตราส่วนดินร่วน: ดินเหนียว: ปุ๋ยคอก; 3:1:1 โดยปริมาตร)เตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (KDML 105) ที่ไม่ได้ออบสารเคมี และเป็นข้าวที่ปลูกโดยฟาร์มข้าวอินทรีย์

นำเมล็ดพันธุ์ข้าวมาลอยน้ำสะอาดตัดเอาเมล็ดที่จมน้ำไว้ใช้ในการทดลอง จากนั้นนำเมล็ดข้าวที่จมน้ำดังกล่าวมาแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไปเพาะบนภาคเพาะกล้าเป็นเวลา 20 วัน นำกล้าข้าวที่เพาะไว้ปักดำลงบนดินที่เตรียมไว้โดยถึงละ 1 กอ กอละ 3 ต้น ทำการดูแลต้นกล้าข้าวให้สมบูรณ์ ทั้งให้ต้นข้าวตั้งตัว 15 วัน (Boonphiom, 2015) นำมาใช้ในการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ชุดการทดลองละ 5 ซ้ำ 6 ทรีตเมนต์ ประกอบด้วย 1) น้ำเปล่า 2) ปุ๋ยเคมี 3) ฉีดพ่นด้วย BS3 4) ฉีดพ่นด้วย BA3 5) ฉีดพ่นด้วย BL3 และ 6) สารชีวภัณฑ์

เตรียมเชื้อบาซิลลัสไอโซเลท BS3, BA3 และ BL3 ความเข้มข้น 10^6 cfu/ml ฉีดพ่นลงบนใบข้าวที่อายุ 15 วัน โดยฉีดในปริมาณ 10 ml/plant หลังจากนั้นฉีดพ่นเชื้อซ้ำอีกทุกๆ 1 สัปดาห์ ฉีดพ่นทั้งหมด 15 สัปดาห์ โดยการแบ่งการทดลองออกเป็น treatment คือ ชุดที่พ่นด้วยบาซิลลัสไอโซเลท BS3 ชุดที่พ่นด้วยบาซิลลัสไอโซเลท BA3 ชุดที่พ่นด้วยบาซิลลัสไอโซเลท BL3 เปรียบกับชุดควบคุมคือ น้ำเปล่า สารชีวภัณฑ์เปรียบเทียบ (พด.3) และปุ๋ยเคมี แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 หลังปักดำประมาณ 15 วัน โดยใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 1.10 กรัมต่อกระถาง (25 กิโลกรัมต่อไร่) ครั้งที่ 2 ใส่ก่อนข้าวออกดอกประมาณ 30 วัน โดยใช้ปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 ในอัตรา 0.44 กรัมต่อกระถาง (10 กิโลกรัมต่อไร่)

การเก็บข้อมูลการทดสอบในการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในกระถาง ด้านการเจริญเติบโตของข้าวประยุกต์จากวิธีของ Ashrafuzzaman *et al.* (2009) และ Doni *et al.* (2014) โดยเก็บข้อมูล ความสูง (เซนติเมตร) จำนวนใบต่อต้น จำนวนต้นต่อกระถาง และความกว้างใบ ด้านผลผลิตประยุกต์จากวิธีของ Piadang *et al.* (2006) โดยเก็บข้อมูลจำนวนรวงต่อกระถาง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด (กรัม) และน้ำหนักเมล็ด (กรัมต่อกระถาง)

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลตามแผนการทดลองและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple-Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS

1. ผลการวิจัย

1.1 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติของเชื้อ

ความสามารถในการผลิตสารปฏิชีวนะโดยการนำจุลินทรีย์ *Bacillus* spp. ทั้ง 3 ไอโซเลท มาทดสอบกับ TLC plate แล้วนำแผ่นซิลิกาเจลมาทาบกัอาหาร PDA ที่มีสปอร์เชื้อรา *Pyricularia* sp. เข้มข้น 10^6 spores/ml จากการทดลองพบว่ามีเพียงไอโซเลท BS3 ที่พบ clear zone มีค่า Rf = 0.58 และสารปฏิชีวนะเปรียบเทียบกับ iturin A มีค่า Rf = 0.45 ส่วน ไอโซเลทที่ BA3 และ BL3 ไม่พบ clear zone นอกจากนี้ยังมีผลในการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum* sp. สาเหตุโรคสำคัญของเมลอนโดยเชื้อดังกล่าวสามารถควบคุมการเจริญของเส้นใยราในการทดสอบระดับจานเลี้ยงเชื้อและบนต้นกล้าเมลอน

ผลความสามารถในการสร้าง Indole Acetic Acid โดยใช้ L-Tryptophan เป็นสารตั้งต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อ สกัดแล้วทำปฏิกิริยากับ Salkowsky reagent นำไปวัดค่าดูดกลืนแสง เทียบกับกราฟมาตรฐาน IAA (Table 1)

Table 1 Production of indole acetic acid by different *Bacillus* isolates

Isolate	Production of Indole Acetic Acid ($\mu\text{g/ml}$)
Isolate BA3	0.0170 ± 0.0010^a
Isolate BL3	0.0103 ± 0.0032^b
Isolate BS3	0.0143 ± 0.0015^{ab}

^{ab}Values in the same column with different superscripts differed at $P < 0.05$ by DMRT

จากการทดลองพบว่าเชื้อจุลินทรีย์ ไอโซเลทของ BA3 มีการผลิต IAA มากที่สุด รองลงมาคือ BS3 เมื่อเปรียบเทียบกับ standard curve โดยพบว่าสามารถผลิต IAA ได้เท่ากับ 0.017 และ 0.014 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ

ผลความสามารถในตรึงไนโตรเจน โดยใช้เทคนิค Acetyl Reduction Assay (ARA) ตรวจสอบด้วยเครื่อง Gas Chromatography โดยใช้ PE-alumina column (Table 2)

Table 2 Nitrogen fixation of *Bacillus* spp.

Isolate	Nitrogen fixation (nmol C ₂ H ₄ /hr/tube)
Isolate BA3	5.89 ± 0.17 ^b
Isolate BL3	3.64 ± 0.11 ^c
Isolate BS3	9.70 ± 0.36 ^a

^{abc}Values in the same column with different superscripts differed at P<0.05 by DMRT

จากผลการทดลองพบว่า ไอโซเลทที่มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนสูงสุดคือ BS3 รองลงมาคือ BA3 โดยมีค่าเท่ากับ 9.7 และ 5.89 นาโนโมล/ชั่วโมง ตามลำดับ

1.2 การทดสอบเชื้อบราซิลีสที่มีผลต่อการเจริญของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในกระถาง

การเจริญเติบโตของข้าวจากการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีทำให้มีจำนวนต้นต่อกระถางมากที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้เชื้อไอโซเลท BS3 โดยมีจำนวนต้นต่อกระถาง เท่ากับ 38.50 และ 36.13 ต้น ตามลำดับส่วนในลักษณะจำนวนใบต่อต้น และความกว้างใบไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกชุดการทดลอง สำหรับลักษณะความสูงของข้าวพบว่าชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีและชุดการทดลองที่ใช้น้ำเปล่าทำให้มีความสูงของต้นข้าวสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 168.25 และ 165.62 เซนติเมตร (Table 3)

ด้านองค์ประกอบผลผลิตพบว่าชุดการทดลองที่ทำให้จำนวนรวงต่อกระถางมากที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ใช้เชื้อไอโซเลท BS3 ชุดการทดลองที่ใช้สารชีวภัณฑ์เปรียบเทียบ และ ชุดการทดลองที่ใช้เชื้อ BL3 โดยมีจำนวนรวงต่อกระถางเท่ากับ 35.75, 33.38, 32.50 และ 32.38 รวง ตามลำดับ ส่วนจำนวนเมล็ดต่อรวงไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติทุกชุดการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีมีความแตกต่างในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ชุดการทดลองที่ทำให้มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีมากที่สุด คือ ชุดการทดลองที่ใช้ไอโซเลท BS3 และชุดการทดลองที่ใช้สารชีวภัณฑ์เปรียบเทียบ โดยมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี เท่ากับ 74.20 และ 72.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสำหรับน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ดข้าวเปลือก พบว่าในชุดการทดลองที่ใช้สาร

ชีวภัณฑ์เปรียบเทียบ ให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ด มากที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้เชื้อไอโซเลท BL3 BS3 และ BA3 ซึ่งให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 25.05 24.13 23.96 และ 22.56 กรัม ตามลำดับ และผลผลิตต่อกระถาง (กรัมต่อกระถาง) พบว่า ในชุดการทดลองที่ใช้สารชีวภัณฑ์เปรียบเทียบ และชุดการทดลองที่ใช้ไอโซเลท BS3 ให้น้ำหนักผลผลิตต่อกระถางมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 149.00 และ 136.96 ตามลำดับ (Table 4)

2. วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการนำเชื้อมาตรวจสอบคุณสมบัติการผลิตสารปฏิชีวนะโดยใช้ iturin A เป็นชุดควบคุม พบว่ามีเพียงเชื้อไอโซเลท BS3 ที่มีการผลิตสารปฏิชีวนะ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่กล่าวไว้ว่าเชื้อ *B. subtilis* สามารถผลิตสารปฏิชีวนะได้หลายชนิด เช่น bacillomycin, bacilysin, iturin, mycosubtilin, fengymycin และ mycobacillin ขึ้นอยู่กับอาหารที่เหมาะสม และเชื้อ *B. subtilis* สายพันธุ์ FR-2 สามารถผลิตสารปฏิชีวนะ iturin A ที่มีฤทธิ์ต่อต้านโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในแตงกวา โรคใบไหม้ และโรคกาบใบแห้งของข้าว Pusey (1989) ซึ่งจากการทดลองได้ใช้เพียง iturin A เป็นสารทดสอบเทียบเพียงชนิดเดียวเท่านั้น และทดสอบกับเชื้อ *Pyricularia* sp. เพียงเชื้อเดียว ดังนั้นเป็นไปได้ว่าเชื้อไอโซเลท BS3 คือเชื้อ *B. subtilis* ส่วน BA3 และ BL3 อาจเป็น *Bacillus* ในสปีชีส์อื่น ทั้งนี้อาจเกิดจากอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งมีรายงานว่า มีผลต่อชนิด และคุณสมบัติของสารทุติยภูมิในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ (Akpa *et al.*, 2001; Elkahoui *et al.*, 2012) ในด้านความสามารถในการสร้าง IAA ผลที่ได้พบว่าเชื้อ *Bacillus* spp. ทั้ง 3 ไอโซเลทสามารถสร้าง IAA ได้ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่ระบุว่า แบคทีเรียในสกุล *Paenibacillus*, *Bacillus*, *Microbacterium*, *Methylophaga*, *Pseudomonas*, *Agromyces* และ *Azospirillum* สามารถสังเคราะห์ IAA ได้ (Bal *et al.*, 2013; Lavakush *et al.*, 2014) ส่วนความสามารถในตรึงไนโตรเจน พบว่าเชื้อบราซิลีสทุกไอโซเลทสามารถตรึงไนโตรเจนได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่กล่าวว่า แบคทีเรียหลายสกุลสามารถตรึงไนโตรเจนได้ ได้แก่ *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Pesudomonase* และ *Bacillus* เป็นต้น ซึ่งแบคทีเรียพวกนี้สามารถตรึงไนโตรเจน

ได้โดยไม่จำเป็นต้องอยู่ร่วมกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดยกลไกการแปรสภาพอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นอินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ (Glick, 1995) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *Bacillus subtilis* TU-Orga 1 ที่สามารถส่งเสริมให้ต้นข้าวมีประสิทธิภาพในการใช้ไนโตรเจนจากสภาพธรรมชาติได้เพิ่มมากขึ้น (Doungkaew *et al.*, 2013)

ผลของการทดสอบเชื้อบาซิลลัส ต่อการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในกระถาง พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี และชุดการทดลองที่ใช้เชื้อไอโซเลท BS3 ทำให้มีจำนวนต้นต่อกระถางมากที่สุด ส่วนในด้านจำนวนใบต่อต้น และความกว้างใบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกชุดการทดลอง สำหรับความสูงของข้าว ชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี และชุดการทดลองที่ใช้น้ำเปล่า ทำให้มีความสูงมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่พบว่าการปลูกข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราค่าวิเคราะห์ดิน จะมีค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต มากกว่าการปลูกข้าวที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (Kirdlum *et al.*, 2012) และยังมีรายงานที่พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวสังข์หยดมีความสูงมากกว่าชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยผสม

ผลของการทดสอบเชื้อบาซิลลัส ต่อผลผลิตข้าว พบว่าชุดการทดลองที่ใช้สารชีวภัณฑ์เปรียบเทียบกับ ชุดการทดลองที่ใช้ไอโซเลท BS3 มีแนวโน้มในการเพิ่มผลผลิตของข้าวได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับชุดทดลองไอโซเลท BA3 BL3 ปุ๋ยเคมี และน้ำเปล่า โดยมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนักเฉลี่ย 1,000 เมล็ด และผลผลิตต่อกระถาง มากกว่าปุ๋ยเคมี และน้ำเปล่า ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานการทดลองที่เกี่ยวข้อง plant growth-promoting N₂-fixing และ P solubilizing โดยกล่าวว่าสายพันธุ์ *Bacillus* สามารถทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น (Sudha *et al.*, 1999) และรายงานที่

กล่าวว่า *Bacillus megaterium* สามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวและข้าวบาร์เลย์ได้ (Cakmakci *et al.*, 1999; Khan *et al.*, 2003)

สรุปผลการวิจัย

จากการตรวจสอบคุณสมบัติของเชื้อบาซิลลัส 3 ไอโซเลทมีการผลิตสาร Indole Acetic Acid (IAA) โดยพบในไอโซเลท BA3 สามารถผลิต IAA ได้มากที่สุดและพบว่าเชื้อไอโซเลท BS3 มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนสูงที่สุด อีกทั้งมีการผลิตสารปฏิชีวนะที่มีผลต่อการเจริญของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในกระถาง พบว่าเชื้อ BS3 มีแนวโน้มในการเพิ่มคุณภาพเมล็ดโดยมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีมากเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ทั้งนี้ในการทดลองเป็นการทดลองในระดับกระถางทดลอง จึงควรมีการศึกษาในระดับแปลงปลูก เพื่อให้ทราบถึงผลที่จะเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เป็นจุลินทรีย์ในการทำปุ๋ยชีวภาพ ในการผลิตข้าวอินทรีย์สำหรับเกษตรกรต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) รหัสโครงการ MSD5810031, มหาวิทยาลัยพะเยา งบประมาณปี 2561 สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) บริษัท ข้าวอินทรีย์ไทย และศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวพะเยา ตลอดจนศูนย์เครื่องมือกลางมหาวิทยาลัยพะเยาในการสนับสนุนสถานที่และครุภัณฑ์ในการวิจัย

Table 3 Effect of *Bacillus* on growth of KDML 105 rice (120 days)

Treatment	Plant/pot	Leaf number/plant	Leaf: width (cm)	Plant height (cm)
Water	28.00±3.30 ^c	6.38±0.74	1.50±0.05	165.62±9.77 ^a
Chemical fertilizer	38.50±4.17 ^a	6.25±0.71	1.51±0.04	168.25±8.17 ^a
Isolate BS3	36.13±4.52 ^{ab}	5.88±0.64	1.50±0.05	141.62±4.03 ^b
Isolate BA3	28.63±4.17 ^c	6.25±0.46	1.48±0.05	139.62±3.81 ^b
Isolate BL3	31.50±4.24 ^c	6.50±0.76	1.49±0.06	140.50±2.98 ^b
Bio-fertilizer	32.50±5.40 ^{bc}	5.88±0.83	1.49±0.06	138.38±5.42 ^b

^{abc}Values in the same column with different superscripts differed at P<0.05 by DMRT

Table 4 Effect of *Bacillus* on KDML 105 rice grain yield

Treatment	Panicles/pot	Grain/panicles	Filled Grain (%)	1000 Filled grain weight (g)	yield (g/pot)
Water	26.50±1.77 ^c	175.90±32.73	63.67±2.63 ^b	21.78±2.20 ^b	105.16±19.18 ^c
Chemical fertilizer	35.75±6.80 ^a	167.20±29.26	51.87±1.40 ^d	17.45±0.70 ^c	108.98±17.02 ^c
Isolate BS3	33.38±5.45 ^{ab}	174.20±19.05	74.20±0.30 ^a	23.96±0.59 ^{ab}	136.96±9.84 ^{ab}
Isolate BA3	28.00±5.07 ^{bc}	184.60±16.75	58.33±0.67 ^c	22.56±1.50 ^{ab}	113.26±12.83 ^c
Isolate BL3	32.38±3.85 ^{ab}	187.40±22.29	66.17±1.67 ^b	24.13±1.97 ^{ab}	125.07±15.57 ^{bc}
Bio-fertilizer	32.50±5.66 ^{ab}	195.50±25.32	72.97±0.45 ^a	25.05±1.68 ^a	149.00±14.50 ^a

^{abc}Values in the same column with different superscripts differed at P<0.05 by DMRT

References

- Ahmad, R., Arshad, M., Khalid, A., Zahir, Z.A. and Mahmood, T. 2008. Effect of compost enriched with N and L-tryptophan on soil and maize. *Agron. Sustain. Dev.* 28: 299-305.
- Akpa, E., Jacques, P., Wathélet, B., Paquot, M., Fucks, R., Budzikiewicz, H. and Thonart, P. 2001. Influence of culture conditions on lipopeptide production by *Bacillus subtilis*. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 91: 551-561.
- Ashrafuzzaman, M., Hossen, F.A., Razi Ismail, M., AnamulHoque, M.d., Zahurul Islam, M., Shahidullah, S.M. and Meon, S. 2009. Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *Afr. J. Biotechnol.* 8(7): 1247-1252.
- Bal, H.B., Das, S., Dangar, T.K. and Adhya, T.K. 2013. ACC deaminase and IAA producing growth promoting bacteria from the rhizosphere soil of tropical rice plants. *J. Basic Microbiol.* 53(12): 972-984.
- Boonphirom, T. 2015. Effect of plant spaces on the growth and yield of Homkradung-nga Rice (*Oryza sativa* L.). *Princess of Naradhiwas University Journal.* 7(3): 115-120. (in Thai)
- Cakmakci, R., Kantar, F. and Algur, Ö.F. 1999. Sugar beet and barley yields in relation to *Bacillus polymyxa* and *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum* inoculation. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 162: 437-442.

- Chongkid, B., Lorkhamshap, P., Sauyou, Y. and Taengthong, W. 2013. Tillering ability and seed component yielding of mutated KDML 105 lines at different numbers of seedlings per hill. *Thammasat International Journal of Science and Technology*. 21(6): 543-546.
- Costacurta, A., Mazzafera, P., and Rosato, Y.B. 2006. Indole-3-acetic acid biosynthesis by *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* is increased in the presence of plant leaf extracts, *FEMS Microbiol. Lett.* 159: 215-220.
- Division of Rice Research and Development. 2004. Instructions for use of chemical fertilizers in paddy fields based on soil analysis. Department of Agriculture. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Doni, F., Isahak, A., Che Mohd Zain, C. R., and Wan Yusoff, W. M. 2014. Physiological and growth response of rice plants (*Oryza sativa* L.) to *Trichoderma* spp. Inoculants. *AMB Express*. 4(1). 1-7.
- Doungkaew, N., Chuaboon, W., Kladsuwan, L., Choorin, M. and Athinuwat, D. 2013. Novel gene, *yutl Bacillus subtilis* TUOrga1 is critical for suitable nitrogen utilization to against bacterial streak disease inorganic rice production system. The 51th Kasetsart University Annual Conference. 5-7 February. Kasetsart University, Bangkok. 116 - 126. (in Thai)
- Elkahoui, S., Djebali, N., Tabbene, O., Hadjbrahim, A., Mnasri, B., Mhamdi, R., Shaaban, M. and Limam, F. 2012. Evaluation of antifungal activity from *Bacillus* strains against *Rhizoctonia solani*. *African. J. Biotechnol.* 11(18): 4196-4201.
- Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can. J. Microbiol.* 41: 109-117.
- Khan, M.R., Talukdar, N.C. and Thakuria, D. 2003. Detection of *Azospirillum* and PSB in rice rhizosphere soil by protein and antibiotic resistance profile and their effect on grain yield of rice. *Indian. J. Biotechnol.* 2: 246-250.
- Kirdlum, P., Chancharean, C. and Anakad, S. 2012. Use of LDD.12 for cultivation of Phitsanulok 2 rice to variety in Uttaradit soil series. Land Development Department. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Kraus, J. and Loper, J.E. 1995. Characterization of a genomic region required for production of the antibiotic pyoluteorin by the biological control agent *Pseudomonas fluorescens* Pf-5. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 849-854.
- Lavakush, Yadav, J., Verma, J.P., Jaiswal, D.K. and Kumar, A. 2014. Evaluation of PGPR and different concentration of phosphorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa*). *Ecol. Eng.* 62: 123-128.
- Office of Agricultural Economics. 2012. Thailand's agricultural trade statistics for the year 2010. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. 2016. The volume and the import value of pesticides. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Piadang, N., Chumpoonta, T., Wimolphon, W., Dhammapitak, S. and Panyaban, N. 2006. The Application of Bio-Organic Fertilizers (Factory and Swine Farm Wastewater) on Organic Rice Production. Office of Atoms for Peace, Ministry of Science and Technology. 7-19. (in Thai)
- Piromyong, P., Longtonglang, A., Chunleuchanon S., Tittabutr, P., Wongkaew, S., Boonkerd, N., and Teaumroong, N. 2010. Application of *Bacillus subtilis* for baby corn seed production. *KHON KAEN AGR. J.* 38: 155-162.

(in Thai)

Pusey, P.L. 1989. Use of *Bacillus subtilis* and related organisms as biofungicides. Pestic. Sci. 27: 133-140.

Sirikul, A. 2010. Chemical Compositions and Antioxidant Activity of Organic and Chemical Rice Bran. Master of Science (Food Technology) Mahasarakham University. 137 pp. (In Thai)

Sudha, S.N., Jayakumar, R. and Sekar, V. 1999. Introduction and expression of the cry1Ac gene of *Bacillus thuringiensis* in a cereal-associated bacterium, *Bacillus polymyxa*. Curr. Microbiol. 38: 163-167.

Tayuan, C., Rachaisawan, K. and Sriphadet, S. 2016. Control of *Pyricularia grisea* causing of rice blast disease. KHON KAEN AGR. J. 44 SUPPL. 1: 972 – 976. (in Thai)

Vessey, J.K. 2003, Plant growth promoting rhizobacteria as bio-fertilizers. Plant Soil. 255: 571-586.

ผลของการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์และเชื้อราไตรโคเดอร์มาต่อการทนแล้งของ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในสภาพโรงเรือน

ธีรพงศ์ นवलฉวี, กิตติ ศรีสะอาด และ พิระยศ แข็งขัน*

ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

บทคัดย่อ

การเกษตรมีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิต และเกือบครึ่งหนึ่งของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร โดยพื้นที่ทางการเกษตรถูกใช้ในการทำนาข้าวมากที่สุด ซึ่งมีกบประสบปัญหาสภาวะแล้งในช่วงต้นฤดูปลูกทำให้สูญเสียผลผลิต การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลการทดลองใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.005, 0.02, 0.04 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 4 ระดับ ได้แก่ 0, 1, 2, 3, กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับสภาวะแล้งที่อายุ 30 และ 75 วัน ซึ่งวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จัดได้ 16 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ ทำการทดลองในกระถาง เก็บข้อมูลเมื่ออายุ 45 วันหลังปลูก พบว่าจำนวนต้นตอกและค่าทนต่อความเหี่ยวเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ความเข้มข้น 0.02 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 3 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร ให้จำนวนต้นตอกสูงสุดที่ 13.67 ต้นตอก และการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ความเข้มข้น 0.04 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร ทำให้มีค่าต้านทานความเหี่ยวสูงสุดที่ 1.00 คะแนน การเก็บข้อมูลเมื่อข้าวอายุ 90 วันส่งผลให้ความสูงต้นเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร และพื้นที่ใบมากที่สุดเมื่อใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.4 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร ค่า SPAD Unit มากที่สุดเมื่อใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.005 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร เพียงอย่างเดียว และอัตราการคายน้ำลดลง เมื่อใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.02 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร เมื่อถึงอายุการเก็บเกี่ยวพบว่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีมากที่สุดเมื่อใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.04 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร น้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.005 ppm น้ำหนักแห้งลำต้นเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.005 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร ดังนั้นการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ร่วมกับกับเชื้อราไตรโคเดอร์มาสามารถช่วยให้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทนต่อสภาวะแล้ง มีการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ : ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ เชื้อราไตรโคเดอร์มา และ ทนแล้ง

*ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: perayos@gmail.com

Effects of Brassinosteroids and *Trichoderma* sp. on Drought Tolerance of Khao Dok Mali 105 Grown in Greenhouse

Teerapong Nualchawee, Kitti Srisaard and Phirayot Khaengkhan*

*Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Maha Sarakham University,
Maha Sarakham, 44150, Thailand*

Abstract

Agriculture is an important role in livelihoods and half of the area in country is utilized agriculture. The most of the lands are used for rice cultivation. The problem in dry season is low production. The aim of this study was to determine the effect of four brassinosteroids: 0, 0.005, 0.02, and 0.04 ppm with *Trichoderma* sp. 4 levels: 0, 1, 2, 3, kg per 100 liters. of water. In KDML 105 rice, drought at the age of 30 and 75 days. The experimental design was Factorial in CRD including 16 treatments with 3 replications. Data collection at the age of 45 days after harvesting. It was found that the number of shoots per plant and the resistance to wilting increased with 0.02 ppm brassinosteroids plus *Trichoderma* sp. of 3 kg per 100 liters of water. Peak at 13.67 plants per hill by use of 0.04 ppm of brassinosteroids in combination with *Trichoderma* sp. was 1 kg per 100 liters of water, giving the highest resistance to suturing at 1.00 points. For data collection on 90 days after plant result was higher plant height with *Trichoderma* sp. 2 kg per 100 lit of water. The leaf area was highest when used with 0.4 ppm of brassinosteroids plus *Trichoderma* sp. of 1 kg per 100 liters of water. Most chlorophyll SPAD use brassinosteroids 0.005 ppm together with 2 kg per 100 L. of water. The rate of photosynthesis increased with the use of *Trichoderma* sp. 2 kg per 100 lit of water alone. And the water retention rate decreased. When using brassinosteroids 0.02 ppm with *Trichoderma* sp. 1 kg per 100 liters of water. At the age of reproduction, the percentage of seeds was highest when used with 0.04 ppm of brassinosteroids plus *Trichoderma* sp. of 2 kg per 100 liters of water. Root dry weight increased with 0.005 ppm Brassicosteroids. Dry weight increased with 0.005 ppm brassinosteroids plus 1 kg bodyweight. 100 liters of water. Therefore, the use of brassinosteroids together with *Trichoderma* sp. can help KDML 105 rice tolerate drought. Growth and yield were increased.

Keywords : Khao Dok Mali 105, Brassinosteroids, *Trichoderma* sp. and Drought resistance

*Corresponding author: E-mail: perayos@gmail.com

การเกษตรมีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการดำรงชีวิตความเป็นอยู่ของประชากรและการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากประมาณหนึ่งในสามของประชากรเป็นครัวเรือนเกษตรกร และเกือบครึ่งหนึ่งของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร พื้นที่ถูกใช้ในการทำนาข้าวมากที่สุด ร้อยละ 60.96 รองลงมาปลูกสวนไม้ผลไม้ยืนต้น ร้อยละ 34.91 พืชไร่ ร้อยละ 31.16 สวนผักไม้ดอกไม้ประดับ 1.41 และใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอื่นๆ ร้อยละ 11.80 ตามลำดับ ผลผลิตและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกษตรถูกนำมาใช้เป็นอาหาร เครื่องดื่ม เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรคที่อยู่อาศัย ตลอดจนสิ่งอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันมากมาย รวมทั้งส่งออกนำเงินตรามาพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้าทัดเทียมอารยประเทศ ซึ่งสินค้าเกษตรจำนวนมากหลายชนิดที่ประเทศไทย ผลิตหนึ่งในสิบของประเทศผู้ผลิตที่สำคัญของโลก เช่น ข้าว ยางพารา มันสำปะหลัง อ้อย โรงงาน สับปะรดโรงงาน ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว พริกไทย เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสินค้าเกษตรสำคัญอีกหลายชนิดที่ส่งออกและทำชื่อเสียงให้ประเทศ เช่น ลำไยทุเรียน มังคุด มะพร้าวน้ำหอม มะม่วง ถั่วลิสง ฝรั่ง เป็นต้น จึงกล่าวได้ว่าประเทศไทยเป็นครัวเลี้ยงประชากรโลก (Department of Agricultural Extension, 2015)

อย่างไรก็ตาม ระบบการค้าเสรีในปัจจุบัน ทำให้ประเทศไทยจำเป็นต้องปรับตัวพัฒนาศักยภาพสินค้าเกษตรให้สามารถแข่งขันได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดต้นทุนในการผลิต รวมทั้งคำนึงถึงมาตรฐานและความปลอดภัยในกระบวนการผลิตให้เกิดการยอมรับ ไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma* sp.) เป็นเชื้อราปฏิปักษ์ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช และสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืช ไตรโคเดอร์มาที่สามารถควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชมีหลายสายพันธุ์และสามารถควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชหลายชนิด กลไกการควบคุมโรคของเชื้อราไตรโคเดอร์มามีหลายกลไกที่สำคัญ ๆ เช่น การสร้างสารปฏิชีวนะ การแข่งขัน การเป็นปรสิต และการชักนำให้เกิดความต้านทาน ในปัจจุบันมีการผลิตเชื้อราไตรโคเดอร์มาเพื่อควบคุมโรคพืช และผลิตเพื่อจำหน่ายทางการค้าอย่างกว้างขวาง (Kaewchay, 2012)

ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์เป็นฮอร์โมนที่ช่วยในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการแบ่งเซลล์ การขยายตัวของเซลล์ เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง และสามารถช่วยให้พืชทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ (Sasse, 1997) ซึ่งการนำฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์มาประยุกต์ใช้กับพืชจึงเป็นองค์ความรู้ใหม่และอยู่ในความสนใจอย่างกว้างขวาง บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจในปัจจุบัน

บทบาททางสรีรวิทยาของฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ในพืชเป็นไปในลักษณะที่คล้ายคลึงกับออกซินในบางกรณีและคล้ายกับไซโทไคนินหรือจิบเบอเรลลินในบางกรณี ดังนั้น จึงเห็นได้ว่าบทบาททางสรีรวิทยาที่แท้จริงของฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ในพืชจึงเป็นประเด็นที่มีความซับซ้อนในกรณีของการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชชนิดนี้ เพื่อประโยชน์ทางการเกษตรนั้นพบว่าการใช้มุ่งเพื่อการเพิ่มผลผลิตและการปรับปรุงลักษณะต่าง ๆ ของพืชให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในพืชหลายชนิด ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์แสดงบทบาททางสรีรวิทยาหลายประการในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและกระบวนการพัฒนาการของพืช เช่น การงอกของเมล็ด การออกดอก การชราภาพและความทนทานต่อความเครียด บทบาททางสรีรวิทยาของบราสซิโนสเตอรอยด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชอันจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชชนิดนี้ทางการเกษตรต่อไป การศึกษาและทดสอบความเข้มข้นของฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ต่อพืช เช่น ทานตะวัน ถั่วเขียว แตงกวา มะเขือเทศ ข้าวสาลี เป็นต้น เมื่อพืชแต่ละชนิดได้รับฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ในความเข้มข้นที่ต่ำ ก็ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตได้ดี ข้าวสาลีแสดงให้เห็นว่าเจริญเติบโตได้ดีที่ความเข้มข้นของฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์เพียง 0.005 ppm - 0.02 ppm (Patanachatchai, 2010)

ในการปลูกข้าวปัจจุบันมีค่าใช้จ่ายที่สูงคือ ต้นทุนด้านเคมีภัณฑ์ได้แก่ ปุ๋ยเคมี ฮอร์โมน สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ค่าใช้จ่ายด้านเครื่องจักรกลการเกษตร ได้แก่ รถแทรกเตอร์ รถเกี่ยวข้าว รถขนส่ง ค่าน้ำมัน และสุดท้ายคือค่าจ้างแรงงาน ซึ่งแนวโน้มราคาต้นทุนการผลิตเหล่านี้ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะค่าปุ๋ยเคมี เพื่อเป็นการลดต้นทุนการ

ผลิตจึงมีการหาวิธีต่างๆ ในการผลิตข้าว โดยการเพิ่มผลผลิตข้าวมีหลายปัจจัยเช่น พันธุกรรม สภาพแวดล้อม ธาตุอาหารในดิน การจัดการน้ำ การจัดการวัชพืช และอีกหนึ่งปัจจัยคือการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์และเชื้อราไตรโคเดอร์มากับต้นข้าวเพื่อให้เจริญเติบโตได้ดีและคุ้มค่าต่อการลงทุน ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์และเชื้อราไตรโคเดอร์มากับต้นข้าวเพื่อจะทำให้ต้นข้าวเจริญเติบโตได้ดีและส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตที่สูง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แผนการทดลอง

โดยจัดแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD โดยมี 2 ปัจจัย 3 ซ้ำ โดยมี 2 ปัจจัยดังนี้ A คือฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 4 ระดับ (0, 0.005, 0.02 และ 0.04 ppm) ปัจจัย B คือเชื้อราไตรโคเดอร์มา 4 ระดับ (0, 1, 2 และ 3 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร) จัดได้ 16 กรรมวิธี แต่ละกรรมวิธีทำ 3 ซ้ำ

2. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานในกระถาง

2.1 การเตรียมดินสำหรับปลูกโดยเตรียมตากดินไว้ 7 วัน นำไปบดแล้วซั่ง 8 กิโลกรัม แล้วนำไปใส่ในกระถางขนาด 10 นิ้ว

2.2 การเตรียมเมล็ดและการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 หยอดเมล็ดลงไปจำนวน 5 เมล็ดต่อกระถาง เมื่องอกได้ 7 วันถอนแยกให้เหลือ 2 ต้น ดูแลการให้น้ำ ใส่ปุ๋ยและกำจัดวัชพืช

2.3 การเตรียมฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์

2.3.1 เตรียมฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ความเข้มข้น 0.04 ppm โดยปิเปตฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.4 ไมโครลิตรละลายในน้ำ 10 ลิตร

2.3.2 เตรียมฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ความเข้มข้น 0.02 ppm โดยปิเปตฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.2 ไมโครลิตรละลายในน้ำ 10 ลิตร

2.3.3 เตรียมฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ความเข้มข้น 0.005 ppm โดยปิเปตฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์

ความเข้มข้น 0.02 ppm มา 2.5 ลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ ปริมาณ 10 ลิตร

2.4 การเตรียมเชื้อราไตรโคเดอร์มา โดยนำมาเลี้ยงในข้าวสุก ตามวิธีของ Jamsawang (2003)

2.5 การฉีดพ่นสารในเวลา 07.00 - 09.00 น. ครั้งแรกหลังปลูก 30 วัน ครั้งที่สองหลังปลูก 45 วัน ครั้งที่ 3 หลังปลูก 70 วัน

2.6 การรดน้ำหลังฉีดพ่นสารครั้งแรก 1 สัปดาห์ งดเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ครั้งที่ 2 งดน้ำหลังฉีดพ่นสารครั้งที่ 3 งดเป็นเวลา 2 สัปดาห์

3. การเก็บรวบรวมและบันทึกข้อมูล

3.1 ความสูง เก็บข้อมูลเมื่ออายุต้นข้าว 45 และ 90 วัน โดยทำการวัดจากโคนต้นที่ติดกับพื้นดินถึงปลายใบ

3.2 การแตกกอ เก็บข้อมูลเมื่ออายุต้นข้าว 45 วัน โดยนับจำนวนต้นในแต่ละกอ

3.3 พื้นที่ใบ เก็บข้อมูลเมื่ออายุ 45 และ 90 วัน โดยใช้เครื่อง Handheld Laser Leaf Area Meter (CI-203)

3.4 อัตราการสังเคราะห์แสง เก็บข้อมูลเมื่อต้นข้าวอายุ 45 วัน โดยใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสง (Portable Photosynthesis Measurement System) ยี่ห้อ ADC BioScience รุ่น Lci SD

3.5 การวัดความเหี่ยวโดยให้คะแนน ตามการม้วนใบเป็นการตอบสนองต่อสภาพแล้ง ทำการบันทึกโดยการประเมินความรุนแรงของอาการม้วนใบตามวิธีของของ De Datta *et al.* (1988) ซึ่งบันทึกเป็นระดับคะแนน มี 5 คะแนน ดังนี้

ระดับ 1 ไม่แสดงอาการเหี่ยว

ระดับ 2 ขอบใบโค้งเข้าหากันเล็กน้อย

ระดับ 3 ขอบใบโค้งเข้าหากันมากขึ้น (เป็นรูปครึ่งวงกลม)

ระดับ 4 ขอบใบโค้งเข้าหากันจนเกือบชิดกัน

ระดับ 5 ขอบใบโค้งจนชิดกัน

3.6 น้ำหนักแห้งราก ทำการเก็บข้อมูลเมื่ออายุต้นข้าว 120 วัน โดยเอาเฉพาะส่วนที่อยู่ใต้ดิน นำไปล้างทำความสะอาด นำไปอบ 80 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

3.7 น้ำหนักแห้งลำต้น ทำการเก็บข้อมูลเมื่ออายุ 120 วัน โดยตัดเอาส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน นำไปอบ 80 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

3.8 เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี นับจำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบ โดยนับจำนวนเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์และเมล็ดลีบแล้ว นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

3.9 น้ำหนัก 100 เมล็ด โดยสุ่มนับเมล็ดข้าวจำนวน 100 เมล็ด แล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ของข้อมูลแต่ละลักษณะตามแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 เมื่อต้นข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 อายุ 45 วัน จากการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ เชื้อราไตรโคเดอร์มา และการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา พบว่า ไม่มีผลทำให้ SPAD Unit พื้นที่ใบ และความสูงลำต้นของข้าวมะลิ 105 แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีผลต่อจำนวนต้นตอก และความเขียว โดยการให้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 3 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตรให้จำนวนต้นตอกสูงสุดที่ 12 ต้นตอก แต่ไม่แตกต่างกันกับการให้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร และ 0 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร เมื่อพิจารณาปฏิกริยาสัมพันธ์ของการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา พบว่า การใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.02 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 3 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร ให้จำนวนต้นตอกสูงสุดที่ 13.67 ต้นตอก

สำหรับค่าความเขียวการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.04 ppm ทำให้มีค่าการต้านทานความเขียวสูงสุดที่ 3 แต่ไม่มีความแตกต่างกันกับใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ที่ 0.02 และ 0.005 ppm เมื่อพิจารณาปฏิกริยาสัมพันธ์ของการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ร่วมกับเชื้อ

ราไตรโคเดอร์มา พบว่าการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.04 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร ทำให้มีค่าต้านทานความเขียวสูงสุดที่ 1.00 (Table 1) ซึ่งฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์สามารถกระตุ้นการแบ่งและการขยายของเซลล์ (Gudesblat and Russinova, 2011) อีกทั้งสามารถช่วยลดการชราภาพและการทนทานต่อความเครียดของสภาพแวดล้อม (Patanachatchai, 2010) การต้านทานต่อความเครียดนี้ ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์มีส่วนช่วยให้พืชสามารถปลูกได้ภายใต้สภาพความแล้ง (Anuradha and Rao, 2001) ช่วยเพิ่มความทนทานของต้นกล้าต่อความแห้งแล้ง (Kagale *et al.*, 2007) และไตรโคเดอร์มาก็ช่วยในการเจริญเติบโตของพืชได้ (Jamsawang, 2004)

การวัดการสังเคราะห์แสงจากต้นข้าวพันธุ์ มะลิ 105 อายุ 45 วัน จากการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ เชื้อราไตรโคเดอร์มา พบว่า ไม่มีผลทำให้ค่าการเปิดปากใบ (Stomatal conductance: Gs) แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีผลให้อัตราการสังเคราะห์แสง (net photosynthesis rate: A) อัตราการคายน้ำ (Evaporation: E) และค่าความเข้มข้นของ CO₂ (Ci) มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.04 ppm ค่าความเข้มข้นของ CO₂ ระหว่างช่องว่างในใบพืช (intercellular CO₂ concentration: Ci) สูงที่สุด และการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 3 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตรให้ค่า Ci สูงสุดแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 0 และ 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร เมื่อพิจารณาปฏิกริยาสัมพันธ์ของการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา พบว่าการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 4 ppm ร่วมกับ เชื้อราไตรโคเดอร์มา 0 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร ให้ค่า Ci สูงสุดที่ 460.71 $\mu\text{mol mol}^{-1}$

อัตราการคายน้ำ (Evaporation: E) พบว่า การใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์และเชื้อราไตรโคเดอร์มาเพียงอย่างเดียวไม่ทำให้ค่า E มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาปฏิกริยาสัมพันธ์ของการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา พบว่า การใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.005 ppm ร่วมกับ เชื้อราไตรโคเดอร์มา 3 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร มีค่า E สูงสุดที่ -5.1533 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$

อัตราการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis: A) พบว่า การใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0 ppm มีค่า A สูงสุด และการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร มีค่า A สูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 0 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร เมื่อพิจารณาปฏิกริยาสัมพันธ์ของการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา พบว่า การใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0 ppm ร่วมกับ เชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร มีค่า A สูงสุดที่ 19.113 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Table 2)

การเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 เมื่อต้นข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 อายุ 90 วัน จากการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์

เชื้อราไตรโคเดอร์มา และการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา พบว่า มีผลทำให้พื้นที่ใบ ความสูงลำต้น และ SPAD Unit แตกกันทางสถิติ โดยการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ เพียงอย่างเดียวไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางสถิติ แต่การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 มีความสูงต้นสูงสุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 0 และ 3 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร เมื่อพิจารณาปฏิกริยาสัมพันธ์ของการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา พบว่าการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตรมีความสูงต้นสูงสุดที่ 105.33 เซนติเมตร

Table 1 Height, tillers per plant, leaf area, SPAD Unit and drought scoring of KDML 105 at 45 days after plantation

Treatment	Height (cm)	Tillers per plant	Leaf area (cm ²)	SPAD Unit	Drought scoring
Br 0 ppm	58.521 ^{ab}	10.750 ^a	0.9092	37.904	4.25 ^b
Br 0.005 ppm	56.417 ^a	10.917 ^a	0.8758	38.725	4.67 ^{ab}
Br 0.02 ppm	57.333 ^a	11.417 ^a	0.7542	37.442	4.83 ^{ab}
Br 0.04 ppm	58.448 ^a	10.500 ^a	0.7058	39.849	3.00 ^a
<i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	59.000 ^a	10.583 ^{ab}	0.7283	37.900	4.67 ^a
<i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	57.250 ^a	10.000 ^b	0.9142	38.786	3.00 ^a
<i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	58.198 ^a	11.000 ^{ab}	0.8383	37.842	4.58 ^a
<i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	56.271 ^a	12.000 ^a	0.7642	39.392	4.50 ^a
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	58.667 ^a	11.000 ^{a-e}	0.6467	37.700	4.00 ^b
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	58.667 ^a	9.333 ^{def}	0.9667	40.117	4.67 ^b
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	62.000 ^a	12.333 ^{abc}	1.1267	34.633	4.00 ^b
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	54.750 ^a	10.333 ^{b-f}	0.8967	39.167	4.33 ^b
Br 0.005ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	58.667 ^a	12.000 ^{a-d}	0.8267	34.300	4.67 ^b
Br 0.005ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	56.667 ^a	11.333 ^{a-e}	0.9500	40.800	4.33 ^b
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	54.333 ^a	9.000 ^{ef}	0.7900	39.567	4.67 ^b
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	56.000 ^a	11.333 ^{a-e}	0.9367	40.233	3.00 ^{ab}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	58.000 ^a	9.667 ^{c-f}	0.9167	40.700	3.00 ^{ab}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	58.333 ^a	11.333 ^{a-e}	0.8167	34.467	3.00 ^{ab}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	55.000 ^a	11.000 ^{a-e}	0.7700	36.500	4.67 ^b
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	58.000 ^a	13.667 ^a	0.5133	38.100	4.67 ^b
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	60.667 ^a	9.667 ^{c-f}	0.5233	38.900	3.00 ^{ab}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	55.333 ^a	8.000 ^f	0.9233	39.762	1.00 ^a
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	61.458 ^a	11.667 ^{a-e}	0.6667	40.667	3.00 ^{ab}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	56.333 ^a	12.667 ^{ab}	0.7100	40.067	4.00 ^b
F-test	ns	**	ns	ns	*
C.V. (%)	7.90	11.93	35.65	7.78	22.06

ns= non-significant, *significantly different at P<0.05, ** significantly different at P<0.01

^{1/}Different superscripts in the same column indicate the significant differences (P<0.05)

Br = Brassinosteroids, *Trichoderma* = *Trichoderma* sp.

Table 2 Photosynthesis of KDML 105 at 90 days after plantation

Treatment	Intercellular CO ₂ concentration: Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	Evaporation: E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Photosynthesis: A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Br 0 ppm	117.95 ^{c1/}	-3.5442 ^a	17.998 ^a
Br 0.005 ppm	297.62 ^b	-3.6217 ^a	11.712 ^b
Br 0.02 ppm	295.66 ^b	-3.8308 ^a	10.203 ^c
Br 0.04 ppm	426.57 ^a	-3.6583 ^a	11.695 ^b
<i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	299.13 ^a	-3.4142 ^a	13.257 ^{ab}
<i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	302.81 ^a	-3.5875 ^a	12.229 ^{bc}
<i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	232.10 ^b	-3.5358 ^a	14.347 ^a
<i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	303.76 ^a	-4.1175 ^a	11.775 ^c
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	119.88 ^{fg}	-3.7733 ^{ab}	18.127 ^a
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	125.31 ^{fg}	-3.9533 ^{ab}	17.910 ^a
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	107.96 ^g	-3.8000 ^{ab}	19.113 ^a
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	118.67 ^{fg}	-2.6500 ^a	16.843 ^a
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	390.29 ^{abc}	-3.0900 ^{ab}	13.393 ^{bc}
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	315.46 ^{cd}	-3.4300 ^{ab}	9.827 ^{efg}
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	217.00 ^{ef}	-2.8133 ^a	14.157 ^b
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	267.71 ^{de}	-5.1533 ^b	9.473 ^{fg}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	225.63 ^{ef}	-3.6667 ^{ab}	11.167 ^{cef}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	345.00 ^{bccd}	-2.5833 ^a	9.650 ^{fg}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	224.25 ^{ef}	-4.0167 ^{ab}	11.863 ^{b-f}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	387.75 ^{abc}	-5.0567 ^b	8.130 ^g
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	460.71 ^a	-3.1267 ^{ab}	10.343 ^{d-g}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	425.46 ^{ab}	-4.3833 ^{ab}	11.530 ^{c-f}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	379.21 ^{abc}	-3.5133 ^{ab}	12.253 ^{b-e}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	440.92 ^{ab}	-3.6100 ^{ab}	12.653 ^{bcd}
F-test	**	*	**
C.V. (%)	16.80	26.79	8.68

*significantly different at P<0.05, ** significantly different at P<0.01

^{1/}Different superscripts in the same column indicate the significant differences (P<0.05)

Br = Brassinosteroids, *Trichoderma* = *Trichoderma* sp.

การใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0 ppm มีพื้นที่ใบสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ที่ความเข้มข้น 0.005 ppm และการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตรที่ใบสูงสุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ของการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา พบว่าการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.04 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตรมีพื้นที่ใบสูงสุดที่ 44.212 ตารางเซนติเมตร สำหรับ SPAD Unit การใช้การฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์หรือ

เชื้อราไตรโคเดอร์มาเพียงอย่างเดียวไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ของการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา พบว่า การใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.005 ppm ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตรที่ 51.167 (Table 3) ซึ่งฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์มีส่วนทำให้มีพื้นที่ใบมากขึ้นโดยกระตุ้นการแบ่งและการขยายของเซลล์ (Gudesblat and Russinova, 2011) และไตรโคเดอร์มาช่วยในการเจริญเติบโตของพืช โดยช่วยเพิ่มขนาด ความสูง และต้นใหญ่กว่าปกติ (Jamsawang, 2004)

Table 3 Height, leaf area and SPAD Unit of KDML 105 at 90 days after plantation

Treatment	Height (cm)	Leaf area (cm ²)	SPAD Unit
Br 0 ppm	91.583 ^{ab}	38.421 ^a	44.154 ^a
Br 0.005 ppm	95.667 ^a	36.162 ^a	44.576 ^a
Br 0.02 ppm	94.438 ^a	30.771 ^b	44.194 ^a
Br 0.04 ppm	98.646 ^a	29.336 ^b	44.242 ^a
<i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	94.70 ^{ab}	32.018 ^b	45.947 ^a
<i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	92.08 ^b	35.866 ^a	41.871 ^a
<i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	100.65 ^a	37.589 ^a	47.167 ^a
<i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	92.91 ^{ab}	29.216 ^b	42.181 ^a
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	86.46 ^{cde}	40.777 ^{a-d}	48.200 ^{abc}
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	76.67 ^e	37.267 ^{abc}	41.983 ^{abc}
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	105.33 ^a	41.722 ^{abc}	46.300 ^{abc}
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	97.88 ^{a-d}	33.918 ^{d-g}	40.133 ^{bc}
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	88.00 ^{b-e}	38.695 ^{a-e}	45.000 ^{abc}
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	93.00 ^{a-d}	26.791 ^{gh}	43.967 ^{abc}
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	104.00 ^{ab}	42.897 ^{ab}	51.167 ^a
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	97.67 ^{a-d}	36.263 ^{b-f}	38.171 ^c
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	103.33 ^{ab}	28.943 ^{fg}	49.921 ^{ab}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	97.33 ^{a-d}	35.193 ^{c-f}	40.200 ^{bc}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	94.00 ^{a-d}	32.003 ^{efg}	44.233 ^{abc}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	83.08 ^{de}	26.943 ^{gh}	42.421 ^{abc}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	101.00 ^{abc}	19.657 ^h	40.667 ^{abc}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	101.33 ^{abc}	44.212 ^a	41.333 ^{abc}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	99.25 ^{a-d}	33.733 ^{d-g}	46.967 ^{abc}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	93.00 ^{a-d}	19.741 ^h	48.000 ^{abc}
F-test	**	*	*
C.V. (%)	7.59	10.06	10.89

*significantly different at P<0.05, ** significantly different at P<0.01

^{1/}Different superscripts in the same column indicate the significant differences (P<0.05)

Br = Brassinosteroids, *Trichoderma* = *Trichoderma* sp.

เมื่อต้นข้าวพันธุ์มะลิ 105 ถึงอายุการเก็บเกี่ยว จากการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตรอยด์ เชื้อราไตรโคเดอร์มา และการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มาพบว่า ไม่มีผลทำให้น้ำหนักเมล็ด และความยาวรากแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีผลให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนักแห้งลำต้น และราก มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตรอยด์ 0.04 ppm มีผลให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีมีค่าสูงสุดที่ 88.41% และการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีสูงสุด 89.40% เมื่อพิจารณาปฏิกริยาสัมพันธ์ของการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มาพบว่า การใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตรอยด์ 0.04 ppm และเชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร มีเปอร์เซ็นต์เมล็ด

ดีสูงสุดที่ 97.869% คล้ายกันกับการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตรอยด์กับข้าวโพดมีผลจำนวนของเมล็ดฝ่อของข้าวโพดลดลง (Hamada, 1986) และเพิ่มจำนวนของฝักและน้ำหนักเมล็ดในถั่วลิสง (Vardhini and Rao, 2002) และไตรโคเดอร์มาช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของฝักกาดหอมมะเขือเทศ และพริกไทย โดยผลผลิตเพิ่มมากถึง 300% เมื่อเทียบกับไม่ใช้ (Vinale *et al.*, 2008)

น้ำหนักแห้งรากพบว่าการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตรอยด์ 0.005 ppm มีน้ำหนักสูงสุดที่ 22.185 กรัม และการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 2 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร มีน้ำหนักแห้งรากสูงสุด 21.385 กรัม เมื่อพิจารณาปฏิกริยาสัมพันธ์ของการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มาพบว่า การใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตรอยด์

0.005 ppm และใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา 0 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร มีน้ำหนักแห้งรากสูงสุดที่ 35.018 กรัม

น้ำหนักแห้งลำต้นพบว่า การใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.005 ppm มีน้ำหนักสูงสุดที่ 3.4389 กรัม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.02 และ 0.04 ppm และการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาเพียงอย่างเดียวไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางสถิติ เมื่อพิจารณาปฏิกริยาสัมพันธ์ของการใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มา พบว่า การใช้ฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ 0.005 ppm และใช้เชื้อรา

ไตรโคเดอร์มา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 100 ลิตร มีน้ำหนักแห้งลำต้นสูงสุดที่ 3.9083 กรัม (Table 4) ซึ่งฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์สามารถกระตุ้นการงอกของราก การขยายท่อลำเลียงน้ำ (Mandava, 1988) และคล้ายกับรายงานของ Jamsawang ปี 2004 การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของต้นและรากแห้งกว่าได้ทั้งการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการและในระดับโรงเรือน และสามารถเจริญร่วมกับรากพืชและช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Benitez *et al.*, 2004)

Table 4 Grain weight, filled grains, root length, root dry weight and stem dry weight of KDML 105

Treatment	Grain weight (g)	Filled grains (%)	Root length (cm)	Root dry weight (g)	Stem dry weight (g)
Br 0 ppm	2.4875 ^{sl}	83.036 ^{bl}	47.182 ^a	11.978 ^c	2.056 ^b
Br 0.005 ppm	2.4364 ^a	82.518 ^b	47.958 ^a	22.185 ^a	3.439 ^a
Br 0.02 ppm	2.4657 ^a	83.595 ^b	46.781 ^a	18.392 ^b	2.982 ^a
Br 0.04 ppm	2.5471 ^a	88.412 ^a	49.167 ^a	16.961 ^b	3.142 ^a
<i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	2.5137 ^a	78.503 ^c	49.120 ^a	16.287 ^b	2.510 ^a
<i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	2.4215 ^a	84.038 ^b	47.708 ^a	17.339 ^b	3.136 ^a
<i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	2.5267 ^a	89.403 ^a	47.125 ^a	21.385 ^a	2.923 ^a
<i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	2.4746 ^a	85.617 ^b	47.135 ^a	14.505 ^b	3.052 ^a
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	2.6023 ^a	90.557 ^{bcd}	51.979 ^a	6.441 ^h	2.577 ^{bcd}
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	2.3236 ^a	81.116 ^{fg}	43.167 ^a	8.792 ^{gh}	1.973 ^{de}
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	2.6256 ^a	77.952 ^g	49.000 ^a	12.344 ^{fgh}	1.220 ^e
Br 0 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	2.3984 ^a	82.519 ^{efg}	44.583 ^a	20.337 ^{de}	2.453 ^{cde}
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	2.4029 ^a	71.010 ^h	46.500 ^a	35.018 ^a	2.470 ^{cde}
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	2.4977 ^a	76.577 ^{gh}	49.333 ^a	20.280 ^{de}	3.908 ^a
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	2.4755 ^a	87.355 ^{de}	47.167 ^a	18.657 ^{def}	3.560 ^{abc}
Br 0.005 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	2.3696 ^a	95.131 ^{abc}	48.833 ^a	14.785 ^{efg}	3.817 ^{ab}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	2.4976 ^a	57.079 ⁱ	45.833 ^a	9.204 ^{gh}	2.270 ^{cde}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	2.3628 ^a	88.882 ^{cde}	49.833 ^a	27.691 ^{bc}	3.347 ^{abc}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	2.4741 ^a	94.436 ^{abc}	46.000 ^a	22.296 ^{cd}	3.557 ^{abc}
Br 0.02 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	2.5281 ^a	93.983 ^{abc}	45.458 ^a	14.376 ^{e-g}	2.756 ^{a-d}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 0 kg/ 100 L	2.5521 ^a	95.368 ^{ab}	52.167 ^a	14.486 ^{e-g}	2.723 ^{a-d}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 1 kg/ 100 L	2.5019 ^a	89.576 ^{bcd}	48.500 ^a	12.596 ^{fgh}	3.314 ^{abc}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 2 kg/ 100 L	2.5318 ^a	97.869 ^a	46.333 ^a	32.242 ^{ab}	3.353 ^{abc}
Br 0.04 ppm + <i>Trichoderma</i> 3 kg/ 100 L	2.6025 ^a	70.833 ^h	49.667 ^a	8.521 ^{gh}	3.180 ^{a-d}
F-test	ns	**	ns	**	**
C.V. (%)	6.15	3.37	10.46	18.18	19.85

ns= non-significant

*significantly different at P<0.05, ** significantly different at P<0.01

^{1/}Different superscripts in the same column indicate the significant differences (P<0.05)

Br = Brassinosteroids, *Trichoderma* = *Trichoderma* sp.

สรุปผลการวิจัย

การใช้ฮอร์โมน brassinosteroid ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มาต่อการทนแล้งของข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 อายุ 45 วัน สามารถช่วยให้ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นโดย การแตกกอ SPAD Unit เพิ่มขึ้นและลดความเหี่ยวลง เมื่อต้นข้าวอายุ 90 วัน

ช่วยให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นและอัตราการคายน้ำลดลง และช่วยให้ความสูงลำต้น พื้นที่ใบ SPAD Unit เพิ่มขึ้น รวมถึงการทำให้น้ำหนักแห้งลำต้นและรากเพิ่มขึ้น เมื่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ถึงอายุการเก็บเกี่ยวการใช้ฮอร์โมน brassinosteroid ร่วมกับเชื้อราไตรโคเดอร์มาไม่ส่งผลต่อน้ำหนักเมล็ด แต่มีผลทำให้ เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีเพิ่มขึ้น

References

- Anuradha, S., and Rao, S.S.R. 2001. Effect of brassinosteroids on salinity stress induced inhibition of seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L). *Journal of Plant Growth Regulation*; 33 (2): 151-153.
- Benitez, T., Rincon, M.A., Limon, M.C. and Codon, C.A. 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *Int. Microbiol.* 7(4): 249-260.
- De Datta, S.K., Malabuyoc, J.A. and Aragon, E.L. 1988. A field screening technique for evaluating rice germplasm for drought tolerance during the vegetative stress. *Field Crops Research*. 19: 123-134.
- Department of Agricultural Extension. 2015. Agricultural economy. [online]. [Accessed December 1, 2016] Available from: http://ssnet.doae.go.th/wp-content/uploads/2015/04/002_introduce.pdf. (in Thai)
- Gudesblat, G.E, and Russinova, E. 2011. Plants grow on brassinosteroidss. *Plant Phybiology*; 14: 530–537.
- Hamada, K. 1986. In P Macgregor (Ed.), *Plant Growth Regulators in Agriculture*. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region, Brassinolide in crop cultivation. Taipei: Taiwan ROC. 190-197.
- Jamsawang, J. 2004. Biological control of vegetables. Training materials on pest control by biological methods for growing vegetables without soil. The house is hosted by the Research Fund.(Integrated Pest Management Program) and Faculty of Agriculture Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang 13 February, 2004, at Military Building. Faculty of Agricultural Technology King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. (in Thai)
- Jamsawang, J. 2003. Biological control of pests and diseases. National Agricultural Relief Project Relay Project Biotech and biopharmaceuticals in pest management. To replace synthetic chemicals Department of Plant Pathology Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus. 194. (in Thai)
- Kaewchay, S. 2012. The use of trichoderma in plant disease control. *Journal of Narathiwat Rajanagarindra University* 4 (3): 108-123. (in Thai)
- Kagale, S., Divi, U.K., Krochko, J.E., Keller, W.A., and Krishna, P. 2007. Brassinosteroids confers tolerance in *Arabidopsis thaliana* and *Brassica napus* to a range of abiotic stresses. *Planta*. 225 (2): 353-364.
- Mandava, N.B. 1988. Plant growth promoting brassinosteroidss. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39: 23-52.
- Patanachatchai, N. 2010. Brassinosteroids: Physiological role in plants. Department of Agriculture and

Environment Faculty of Science and Technology Surin Rajabhat University. 133-142. (in Thai)

Sasse, J.M. 1997. Recent progress in brassinosteroids research. *Physiologia Plantarum*, 100(3): 696-701.

Vardhini, B.V., and Rao, S.S.R. 2002. Acceleration of ripening of tomato pericarp discs by brassinosteroids. *Phytochemistry*; 61(7): 843-847.

Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E.L, Marra, R., Woo, S.L, and Lorito, M. 2008. *Trichoderma* plantpathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 1-10.

โปรตีนบางชนิดที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสในหน้าวัว

ปิยะฉัตร วิริยะอำไพวงศ์*, แก้วตา สุตรสุวรรณ, ปิยนันท์ ชมนาวัง และ ญัฐพงษ์ ศรีสมุท

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาโปรตีนบางชนิดที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสในหน้าวัว โดยเปรียบเทียบการแสดงออกของโปรตีนระหว่างหน้าวัวที่ได้รับการปลูกเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* กับหน้าวัวปกติด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบ 2 มิติ ซึ่งผลการวิจัยพบว่าหน้าวัวที่ได้รับเชื้อรา มีระดับการแสดงออกของโปรตีนบางชนิดเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับหน้าวัวปกติ รวมทั้งมีโปรตีนใหม่เกิดขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของโปรตีนนี้เป็นการตอบสนองของหน้าวัวต่อเชื้อราก่อโรค และจากการวิเคราะห์จุดโปรตีนที่สนใจด้วยเทคนิคลิขวิดโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรสโกปี พบว่า ได้โปรตีนจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ Oxygen-evolving enhancer protein 1, Oxygen-evolving enhancer protein 2, Triosephosphate isomerase, Fructose-bisphosphate aldolase, Superoxide dismutase และ Glutathione S-transferase ซึ่งโปรตีนเหล่านี้มีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการชีวเคมีภายในเซลล์พืช

คำสำคัญ: *Colletotrichum gloeosporioides* โรคแอนแทรคโนส หน้าวัว และ อิเล็กโทรโฟรีซิสแบบ 2 มิติ

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: piyachat.wi@ksu.ac.th โทรศัพท์: 08 6921 5582

Related Proteins for Responding of Fungal Pathogen Causing Anthracnose Disease in *Anthurium*

Piyachat Wiriyampaiwong^{*}, Kaewta Sootsuwan, Piyanan Chomnawang and
Nuttapong Srisamoot

*Department of Biotechnology, Faculty of Agro-Industrial Technology, Kalasin University,
Kalasin, 46000, Thailand*

Abstract

The purpose of this study was to investigate some proteins which response to fungal pathogen causing anthracnose disease in *Anthurium*. The protein expression between infected *Anthurium* with *Colletotrichum gloeosporioides* and non-infected *Anthurium* was performed using two-dimensional gel electrophoresis (2-DE) technique. Results exhibited that some protein expression showed significantly ($p < 0.05$) increased whilst decreased in infected *Anthurium*. In addition, new proteins were also occurred in infected *Anthurium*. The alteration in protein expression was the response produced by *Anthurium* against fungal pathogen. Liquid chromatography–mass spectrometry was use to analyze interested protein spots. Six proteins were identified including oxygen-evolving enhancer protein 1, oxygen-evolving enhancer protein 2, triosephosphate isomerase, fructose-bisphosphate aldolase, superoxide dismutase, and glutathione s-transferase. These proteins played an important role in biochemical process of plant cells.

Keywords: *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose, *Anthurium* and Two-dimensional electrophoresis

*Corresponding author: E-mail: piyachat.wi@ksu.ac.th Tel: 08 6921 5582

หน้าวัวเป็นไม้ดอกไม้ประดับอยู่ในสกุล *Anthurium* และมีชื่อสามัญว่า flamingo flower มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนชื้นของทวีปอเมริกาเหนือและทวีปอเมริกาใต้แถบประเทศโคลัมเบีย (Poopaiboon *et al.*, 2009) ในประเทศไทยพบหน้าวัว 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ *Anthurium andraeanum* และ *Anthurium schzerianum* มีการนำเข้ามาครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2440 (Kasetsart University, 2004; Thaikasert, 2012) จัดเป็นไม้ดอกไม้ประดับที่มีความสำคัญซึ่งทำรายได้ต่อพื้นที่สูงที่สุดและเป็นที่ยอดนิยมของตลาด (Ampawan *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญที่ทำให้ผลผลิตหน้าวัวลดลง คือ โรคแอนแทรกโนส (Anthracnose) ที่มีสาเหตุมาจากเชื้อราสกุล *Colletotrichum* ลักษณะอาการ คือ มีแผลจุดสีน้ำตาลค่อนข้างกลมที่ใบและจานรองดอก ขอบแผลมีสีน้ำตาลเข้มรอบนอกมีสีเหลืองจาง เมื่อสภาพอากาศร้อนชื้นแผลจะขยายใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็ว (Soonswon *et al.*, 2010; Dibanuka, 2016) ซึ่งนอกจากหน้าวัวแล้ว โรคแอนแทรกโนสยังก่อให้เกิดความเสียหายกับพืชผลการเกษตรอื่นอีกหลายชนิด เช่น มะม่วง สตรอเบอร์รี่ มันฝรั่ง มะเขือเทศ พริกไทย เป็นต้น โดยสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว (Lewis-Ivey *et al.*, 2004) การควบคุมโรคแอนแทรกโนสในหน้าวัวสามารถทำได้ด้วยการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดเชื้อรา เช่น คลอโรทาโลนิล (chlorothalonil) ไพราโคลสโตรบิน (pyraclostrobin) บอสคาลิด (boscalid) เป็นต้น (Brown, 2012) ซึ่งการควบคุมโรคพืชด้วยสารเคมีนี้แม้จะได้ผลดีแต่ก็เป็นอันตรายต่อคน สัตว์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นหากมีข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของหน้าวัวต่อการบุกรุกของเชื้อก่อโรคจะทำให้เข้าใจถึงกลไกการต้านทานโรคของหน้าวัว ซึ่งผลจากการศึกษากลไกมีประโยชน์สำหรับนักปรับปรุงพันธุ์โดยตรงในการสร้างพืชให้ต้านทานต่อโรคได้ (Perintawong, 2013)

วิธีการทางโปรตีโอมิกส์ (Proteomics) เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาหรือวิเคราะห์โปรตีนที่แสดงออกเมื่อพืชถูกบุกรุกด้วยเชื้อก่อโรค (Mehta *et al.*, 2008) มีงานวิจัยที่ศึกษาโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับโรคแอนแทรกโนสในพืช เช่น Vasanthaiah *et al.* (2009) ศึกษาการ

แสดงออกของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานโรคแอนแทรกโนสในองุ่นฟลอริดา โดยเก็บตัวอย่างใบจากองุ่นที่ปลูกเชื้อรา *Elsinoe ampelina* มาตรวจสอบการแสดงออกของโปรตีนด้วยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบ 2 มิติ (Two-dimensional gel electrophoresis, 2-DE) พบโปรตีนที่แตกต่างกัน 32 ชนิด และมีโปรตีน 2 ชนิดที่พบเฉพาะในองุ่นที่สามารถต้านทานเชื้อราหรือตอบสนองต่อเชื้อราน้อย โปรตีนดังกล่าว คือ Mitochondrial adenosine triphosphate synthase และ Glutamine synthetase ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีบทบาทในกระบวนการเมแทบอลิซึมและกลไกการป้องกันตัวเองของพืช นอกจากนี้ Moura *et al.* (2014) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางโปรตีโอมิกส์ของถั่วฝักยาวที่เป็นโรคแอนแทรกโนส เมื่อได้รับเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบ 2 มิติ พบโปรตีนที่สนใจจำนวน 126 จุด โดยเป็นโปรตีนที่มีการแสดงออกเพิ่มขึ้นจำนวน 102 จุด และเป็นโปรตีนที่มีการแสดงออกลดลงจำนวน 16 จุด เมื่อนำโปรตีนเหล่านี้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค LC-MS พบว่าเป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึม การสังเคราะห์แสง ปฏิกิริยารีดอกซ์ภายในเซลล์ การตอบสนองต่อสภาวะเครียด การตอบสนองต่อการต้านทานโรค การส่งสัญญาณ และกระบวนการตัดแต่งอาร์เอ็นเอ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในหน้าที่ต่างๆ ดังกล่าวมีผลมาจากการแสดงออกต้านทานต่อเชื้อรา *C. gloeosporioides* ของถั่วฝักยาว

การศึกษาความเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในพืชที่ถูกเชื้อราเข้าบุกรุก ส่วนใหญ่จะศึกษาในพืชประเภทไม้ผลหรือพืชผัก เช่น ผักกาด (Subramanian *et al.*, 2005) องุ่น (Vasanthaiyah *et al.*, 2009) สตรอเบอร์รี่ (Fang *et al.*, 2012) ข้าวสาลี (Zhang *et al.*, 2013) ถั่วฝักยาว (Moura *et al.*, 2014) ข้าวโพด (Zhang *et al.*, 2014) และมะม่วงหิมพานต์ (Cipriano *et al.*, 2015) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม รายงานที่กล่าวถึงการศึกษานี้ในพืชประเภทไม้ดอกไม้ประดับยังมีน้อย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเบื้องต้นถึงโปรตีนบางชนิดที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อเชื้อรา *C. gloeosporioides* ซึ่งเป็นสาเหตุโรคแอนแทรกโนสในหน้าวัวเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงพันธุ์หน้าวัวต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

เชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสได้มาจากงานวิจัยของ Wiriyampaiwong *et al.* (2013) ซึ่งได้ทำการแยกเชื้อราจากหน้าวัวที่เป็นโรคแอนแทรคโนส พิสูจน์การเป็นเชื้อสาเหตุโรคด้วยวิธี Koch's postulate และประเมินระดับความรุนแรงของการเกิดโรค รวมทั้งได้ตรวจสอบลักษณะโคโลนีและลักษณะสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้ว คาดว่าเป็นเชื้อราสกุล *Colletotrichum*

เก็บรักษาเชื้อราที่ได้ในกลีเซอรอล 10 % ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการเตรียมเชื้อราสำหรับการทดลองจะนำเชื้อราที่เก็บไว้มาทำให้อุ่นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงย้ายเชื้อรามาวางบนอาหาร PDA แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน เพื่อเตรียมไว้สำหรับการทดลอง

เตรียมหน้าวัว (*Anthurium andraeanum*) สำหรับการทดลองอายุประมาณ 8 เดือน มาปรับสภาพในโรงเรือนแบบเปิด ณ สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ โดยทำการรดน้ำตามปกติ

2. การตรวจสอบสายพันธุ์เชื้อราด้วยเทคนิค PCR

ในขั้นตอนนี้ทำเพื่อตรวจสอบสายพันธุ์เชื้อราสกุล *Colletotrichum* ที่ได้จากข้อ 1 ว่าเป็นสายพันธุ์ใดด้วยเทคนิค PCR โดยสกัด DNA จากเชื้อรา ด้วยชุด GF-1 Plant DNA Extraction Kit (Vivantis, Malaysia) จากนั้นทำ PCR เพื่อเพิ่มปริมาณส่วนของ ITS1-5.8S-ITS2 โดยใช้ universal primers ได้แก่ ITS5 (5'-GGAAGTAAAGTCGTAACAAGG-3') และ ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') แล้วตรวจสอบผลด้วย agarose gel electrophoresis ทำขึ้น PCR ให้บริสุทธิ์ด้วยชุด GF-1 Gel DNA Recovery Kit (Vivantis, Malaysia) เพื่อส่งไปตรวจหาลำดับเบส (BIOTECH, Thailand) จากนั้นตรวจวิเคราะห์ลำดับเบสโดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล GenBank ของ National Center for Biotechnology Information (NCBI) โดยใช้โปรแกรม BLAST search

3. การปลูกเชื้อราบนหน้าวัวสำหรับวิเคราะห์โปรตีน

แบ่งหน้าวัวออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ต้น ได้แก่ กลุ่มทดลองหรือหน้าวัวที่ได้รับการปลูกเชื้อรา (Infected) และกลุ่มควบคุมหรือหน้าวัวปกติ (Non-infected) ซึ่งกลุ่มทดลองทำการปลูกเชื้อราโดยนำเชื้อรา *C. gloeosporioides* ที่เตรียมไว้มาชะสปอร์ที่ผิวหน้าโคโลนีด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ ใช้แท่งแก้วชุดผิวหน้าโคโลนีเบาๆ แล้วจึงนำส่วนของสารละลายสปอร์ที่ได้มาปรับความเข้มข้นให้ได้ 10^7 สปอร์/มม. และฉีดพ่นลงบนหน้าวัวบริเวณใบที่ทำแผลด้วยเข็มเย็บเชื้อ ส่วนกลุ่มควบคุมฉีดพ่นด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อเพียงอย่างเดียวโดยทำแผลที่ใบเช่นเดียวกัน หลังจากนั้นให้น้ำตามปกติเป็นเวลา 4 สัปดาห์

4. การสกัดโปรตีนจากใบหน้าวัว

ตัดชิ้นส่วนใบหน้าวัวจากกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมาต้นละ 1 ใบ เติมนิโตรเจนเหลวและเก็บรักษาไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดลอง จากนั้นสกัดโปรตีนโดยชั่งใบหน้าวัวประมาณ 1 กรัม นำมาสกัดโปรตีนด้วยชุดสกัดสำเร็จรูป P-PER Plant Protein Extraction Kit (Thermo Scientific, USA) และวัดปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ด้วยวิธี แบริดฟอร์ด (Bradford method) (Bradford, 1976)

5. การทำอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบ 2 มิติและการวิเคราะห์หาชนิดของจุดโปรตีน

ทำการเตรียมตัวอย่างโปรตีนหน้าวัวก่อนที่จะนำไปทำอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบ 2 มิติด้วยชุด 2D Clean-up kit (GE Healthcare, USA) จากนั้นแยกทิศทางแรกโดยนำตัวอย่างโปรตีนปริมาณ 60 ไมโครกรัม ผสมกับ rehydration buffer (8 M urea, 4% CHAPS, 0.001% bromphenol blue และ 3 mM dithiothreitol) ปริมาณ 125 ไมโครกรัม และ 1% IPG buffer (pH 3-10) ปีเปิดสารละลายผสมลงใน IPG strip ขนาด 7 เซนติเมตร นำไปวางบนเครื่อง Ettan IPGphor II (GE Healthcare, USA) และตั้งโปรแกรมทำไอโซอิเล็กตริกโฟกัสซิง (Isoelectric focusing, IEF)

หลังจากแยกโปรตีนทิศทางแรกแล้วนำ IPG strip มาแช่ใน equilibration buffer (50 mM Tris pH 8.8,

6 M urea, 30% glycerol, 2% SDS, 0.03% bromphenol blue) ที่มี 65 mM DTT และ 135 mM iodoacetamide เป็นเวลา 15 นาที จำนวน 2 ครั้ง ต่อมาทำการแยกทิศทางที่ 2 ใน 12.5% SDS-polyacrylamide gel (SDS-PAGE) ย้อมสีเจลด้วยวิธี Coomassie blue staining ซึ่งเมื่อได้รูปแบบเจล 2 มิติแล้วจึงนำจุดโปรตีนที่สนใจไปวิเคราะห์การแสดงออกด้วยการเปรียบเทียบความเข้มจากโปรแกรม ImageJ (National Institutes of Health, NIH) และคัดเลือกเฉพาะจุดโปรตีนที่สนใจไปหาชนิดของโปรตีนด้วยเทคนิค LC-MS (ศูนย์วิจัยพัฒนานวัตกรรม คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล) นำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ชนิดของโปรตีนจากเว็บไซต์ ดังนี้ พิมพ์ URL www.matrixscience.com เลือก Mascot database search หัวข้อ MS/MS Ions Search

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ความเข้มของจุดโปรตีนระหว่างหน้าวัวที่ได้รับการปลูกเชื้อราและหน้าวัวที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อรา ใช้การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม STAR 2.0.1

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการวิจัย (Results)

1.1 ผลการตรวจสอบสายพันธุ์เชื้อราด้วยเทคนิค PCR

จากการตรวจสอบลำดับเบสบริเวณ ITS โดยใช้ไพรเมอร์ ITS5/ITS4 พบว่าผลิตภัณฑ์ PCR ที่ได้มีขนาดประมาณ 570 คู่เบส (Fig. 1) ซึ่งเมื่อนำไปตรวจหาลำดับเบสแล้วพบว่ามีความยาว 598 คู่เบส

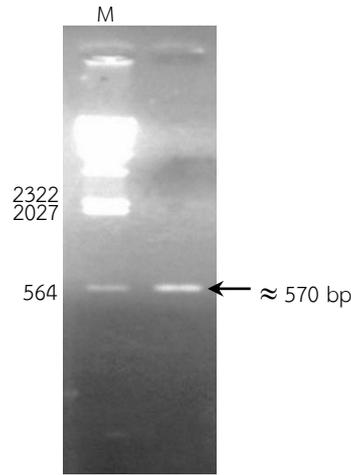


Fig. 1 PCR product of *Collectotrichum* sp.

โดย Photita *et al.* (2005) ใช้คู่ไพรเมอร์ ITS5/ITS4 ในการหาลำดับเบสบริเวณ ITS ของเชื้อรา *Collectotrichum* ที่แยกได้จาก กล้วย ชิง ถั่วเหลือง ลำไย มะม่วง *Eupatorium thymifolia* และ *Draceana sanderiana* พบว่าลำดับเบสที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 581 – 620 คู่เบส และเมื่อตรวจสอบสายพันธุ์ของเชื้อราโดยใช้โปรแกรม BLAST search จากฐานข้อมูล GenBank ของ NCBI ส่วนใหญ่ระบุว่าเป็นเชื้อรา *C. gloeosporioides* ซึ่งมี%ความเหมือนเท่ากับ 99% (Table 1) ดังนั้น จากผลการตรวจสอบสายพันธุ์ราทางอณูชีววิทยา สามารถกล่าวได้ว่าเชื้อราที่ได้นี้เป็น *C. gloeosporioides*

Table 1 Results of blast analysis

GenBank accession no.	Organisms	% Identity
AY266378	<i>C. gloeosporioides</i> strain CMUBE1814	99
JF826502	<i>C. gloeosporioides</i> 18S ribosomal RNA gene	99
EU326190	<i>C. gloeosporioides</i> isolate XSD-139	99
AY266392	<i>C. gloeosporioides</i> strain CMUBE1852	99
AY266391	<i>C. gloeosporioides</i> strain CMUBE1851	99

1.2 ผลการทำอิเล็กโทรโพรซิซิสแบบ 2 มิติ

รูปแบบจุดโปรตีนของหน้าวัวที่เกิดขึ้นบนเจล 2 มิติ (Fig. 2) จะเห็นว่าจากโปรตีนที่สนใจจำนวน 28 จุด หน้าวัวที่ได้รับการปลูกเชื้อรามีการแสดงออกของโปรตีนเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1.2 ถึง 4.7 เท่า เมื่อเทียบกับหน้าวัวปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จำนวน 10 จุด (Table 2 และ Fig. 3) ได้แก่ จุดโปรตีนหมายเลข 2 3 4 5 9 10 11 12 13 24 และ 25 มีการแสดงออกลดลงจำนวน 2 จุด (Table 2 และ Fig. 3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ได้แก่ จุดโปรตีนหมายเลข 1 (ลดลง 1 เท่า) และ 7 (ลดลง 1.5 เท่า) และมีโปรตีนที่เกิดขึ้นใหม่ในหน้าวัวที่ได้รับการปลูกเชื้อราจำนวน 7 จุด ได้แก่ จุดโปรตีนหมายเลข 6 16 17 18 26 27 และ 28 สำหรับโปรตีนที่พบเฉพาะในหน้าวัวกลุ่มควบคุมมีจำนวน 9 จุด ได้แก่ จุดโปรตีนหมายเลข 8 11 14 15 19 20 21 22 และ 23

1.3 ผลการวิเคราะห์โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานโรคแอนแทรกคโนสด้วยเทคนิค LC-MS

ได้ทำการคัดเลือกโปรตีนจำนวน 8 จุด (จุดโปรตีนหมายเลข 1-8) นำไปวิเคราะห์หาชนิดของโปรตีนด้วยเทคนิค LC-MS และนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลพบว่าสามารถระบุชนิดของโปรตีนได้เพียง 6 จุดจาก 8 จุด (Table 3) ได้แก่ จุดโปรตีนหมายเลข 1 2 5 6 7 และ 8 อย่างไรก็ตามแต่ละจุดโปรตีนก็มีความใกล้เคียงของน้ำหนักโมเลกุลและชนิดของโปรตีนที่สืบค้นได้จากฐานข้อมูล

2. วิจารณ์ผลการวิจัย

รูปแบบโปรตีนบนเจล 2 มิติของหน้าวัวที่ได้รับเชื้อราสาเหตุโรคแอนแทรกคโนส แสดงให้เห็นถึงความสามารถของพืชในการเพิ่มการแสดงออกของโปรตีนบางชนิดและการเหนี่ยวนำให้เกิดโปรตีนใหม่ เป็นการตอบสนองต่อการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรคเพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นในพืชให้เป็นปกติ (Vasanthaiyah *et al.*, 2009)

Oxygen-evolving enhancer protein 1 (OEE1, จุดโปรตีนหมายเลข 1) และ Oxygen-evolving enhancer protein 2 (OEE2, จุดโปรตีนหมายเลข 8) เป็นโปรตีนที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงในระบบแสง II (Photosystem II) และยังเกี่ยวข้องกับกลไกการป้องกัน

ตัวเองของพืชจากสภาวะเครียด เช่น สภาวะที่มีความเข้มข้นของเกลือสูง (Sugihara *et al.*, 2000) โดยเชื้อสาเหตุโรคพืชหลายชนิดมีความสามารถในการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (Vasanthaiyah *et al.*, 2009) ดังนั้นการที่กระบวนการสังเคราะห์แสงถูกยับยั้งเป็นผลให้โปรตีน OEE ไม่แสดงออกหรือมีการแสดงออกลดลง (Dahal *et al.*, 2010) ดังผลการศึกษาที่พบว่าโปรตีน OEE1 ในหน้าวัวที่ได้รับเชื้อรา *C. gloeosporioides* มีการแสดงออกลดลง 1 เท่า เมื่อเทียบกับหน้าวัวกลุ่มควบคุม อีกทั้งยังไม่พบการแสดงออกของโปรตีน OEE2 อีกด้วย สำหรับโปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระบวนการสังเคราะห์แสง คือ Fructose biphosphate aldolase (FBA, จุดโปรตีนหมายเลข 7) เป็นโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญในวัฏจักรคัลวิน (Calvin cycle) (Subramanian *et al.*, 2005) โดยจากผลอิเล็กโทรโพรซิซิสแบบ 2 มิติ หน้าวัวที่ได้รับเชื้อรา *C. gloeosporioides* มีการแสดงออกของโปรตีน FBA ลดลง 1.5 เท่า ซึ่ง Polesani *et al.* (2008) พบว่า ยีนที่แปลรหัสได้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรคัลวินหลายชนิด เช่น Ribulose biphosphate carboxylase Phosphoribulokinase และ Fructose biphosphate aldolase มีการแสดงออกลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำไวน์ได้รับเชื้อรา *Plasmopara viticola* ตรงข้ามกับการศึกษาของ Campo *et al.* (2004) ที่พบว่าข้าวโพดที่ถูกบุกรุกด้วยเชื้อรา *Fusarium verticillioides* มีการแสดงออกของโปรตีน FBA เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ทั้งโปรตีน OEE และ FBA มีการแสดงลดลงแสดงว่ากระบวนการสังเคราะห์แสงในหน้าวัวไม่เป็นปกติหลังจากถูกเชื้อรา *C. gloeosporioides* เข้าทำลาย

Triosephosphate isomerase (TPI) เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis) กลูโคโนโอเจเนซิส (Gluconeogenesis) และวัฏจักรคัลวิน (Chen and Thelen, 2010) ซึ่งเป็นจุดโปรตีนหมายเลข 2 มีการแสดงออกเพิ่มขึ้น 2.4 เท่า เมื่อหน้าวัวถูกบุกรุกด้วยเชื้อรา *C. gloeosporioides* โดย Mutuku and Nose (2010) ได้ศึกษาการแสดงออกของ mRNA ของเอนไซม์ TPI ในข้าวที่ได้รับเชื้อรา *Rhizoctonia solani* และพบว่ามีระดับการแสดงออกเพิ่มขึ้น โดยต่อมาได้แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของเอนไซม์ TPI ในข้าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังจาก

ได้รับเชื้อรา *R. solani* ด้วย ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของโปรตีน TPI นี้อาจเนื่องมาจากการรักษาสภาพของวิถีไกลโคไลซิสในพลาสติดและเกิดการสร้างวิถีไกลโคไลซิสในไซโทซอล (cytosol) เป็นการตอบสนองของพืชเมื่อถูกบุกรุกด้วยเชื้อรา (Mutuku and Nose, 2012)

Superoxide dismutase (SOD, จุดโปรตีนหมายเลข 5) มีการแสดงออกของโปรตีนเพิ่มขึ้น 4.7 เท่า ในหน้าวัวที่ได้รับเชื้อรา *C. gloeosporioides* ซึ่งโปรตีนนี้มีบทบาทในการป้องกันตัวเองของพืชจากสภาพแวดล้อมและการกำจัดอนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species, ROS) รวมทั้งการกำจัดสารพิษ (Alscher *et al.*, 2002; Marrs, 1996) Wang *et al.* (2015) ได้ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในสตรอเบอร์รี่ 4 สายพันธุ์ พบว่า เมื่อสตรอเบอร์รี่ได้รับเชื้อรา *Mycosphaerella fragariae* ระดับกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้น โดยสตรอเบอร์รี่สายพันธุ์ HR SJ8976-1 และ MR มีระดับกิจกรรมของเอนไซม์ SOD สูงกว่าสายพันธุ์ HS เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Fang *et al.* (2012) ที่พบว่าสตรอเบอร์รี่ที่ได้รับเชื้อรา *C. fragariae* มีระดับกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสตรอเบอร์รี่ปกติและจากผลอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบ 2 มิติยังพบว่าจุดโปรตีน SOD ของสตรอเบอร์รี่ที่ได้รับเชื้อราก็มีการแสดงออกเพิ่มขึ้นด้วย จะเห็นได้ว่าเวลาที่โปรตีน SOD มีการแสดงออกเพิ่มขึ้นในหน้าวัวที่ได้รับการปลูกเชื้อรานั้นเนื่องมาจากในบางกรณีเชื้อรากระตุ้นให้พืชเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid peroxidation) อันเนื่องมาจากอนุมูลอิสระ ดังนั้นจึงทำให้พืชสร้างโปรตีน SOD เพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันไม่ให้เซลล์ถูกทำลายในสถานการณ์นี้ (Bowler *et al.*, 1992)

Glutathione S-transferase (GST, จุดโปรตีนหมายเลข 6) เป็นโปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและกำจัดสารพิษ (Dalton *et al.*, 2009) ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้พบการแสดงออกของ GST เฉพาะในหน้าวัวที่ได้รับเชื้อรา *C. gloeosporioides* จากการศึกษาของ Liao *et al.* (2014) พบว่า ระดับการแสดงออกของเอนไซม์ GST เพิ่มขึ้นสูงเมื่อ *Populus tomentosa* ถูกบุกรุกด้วยเชื้อรา *Botryosphaeria dothidea* แสดงว่าเอนไซม์ GST เกี่ยวข้องกับการต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อก่อโรคพืชคือ สามารถป้องกันการลุกลามของโรคโดยกำจัดความเป็น

พิษของสารอินทรีย์เปอร์ออกไซด์ต่าง ๆ ซึ่งผลิตขึ้นระหว่างที่พืชถูกเชื้อก่อโรคบุกรุก อีกทั้งระดับออกซินที่เพิ่มขึ้นยังสามารถเหนี่ยวนำให้พืชสร้างเอนไซม์ GST ได้อีกด้วย (Shahrtash, 2013) และจากการศึกษาการแสดงออกของเอนไซม์ GST ใน *Nicotiana benthamiana* ด้วยการปลูกเชื้อ *C. destructivum* และ *C. orbiculare* พบว่ายีน GST มีการแสดงออกเพิ่มขึ้นอย่างมากหลังจากการปลูกเชื้อราดังกล่าว (Dean *et al.*, 2005)

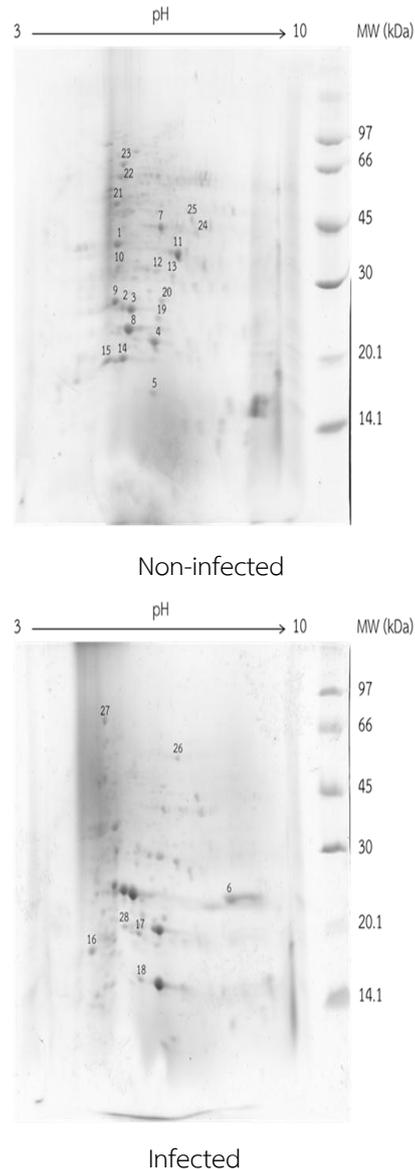


Fig. 2 Two-dimensional gel electrophoresis patterns of non-infected and infected *Anthurium*

Table 2 Close-up view of differentially expressed protein spots which presented in non-infected and infected *Anthurium*

Spot no.	Non-infected	Infected
1		
2		
3		
4		
5		
7		
9		
10		
12		
13		
24		
25		

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้พบโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อเชื้อรา *C. gloeosporioides* ที่เป็นสาเหตุโรคแอนแทรคโนสในหน้วว โดยผลจากการทำอิเล็กโทรโฟริซิสแบบ 2 มิติ มีโปรตีนที่สนใจจำนวน 28 จุด ซึ่งโปรตีนดังกล่าวถูกเหนี่ยวนำให้มีการแสดงออกเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับหน้ววปกติ รวมทั้งยังมีโปรตีนที่ถูกกระตุ้นให้สร้างขึ้นใหม่อีกด้วย และเมื่อวิเคราะห์ชนิดของโปรตีนที่สนใจจำนวน 8 จุดด้วยเทคนิค LC-MS พบว่าสามารถระบุได้โปรตีน 6 ชนิด ที่มีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และเกี่ยวข้องกับกลไกการป้องกันตัวเองของพืชจากสภาพแวดล้อม เช่น การต้านอนุมูลอิสระและกำจัดสารพิษ ทั้งนี้ข้อมูลจากการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษากลไกการตอบสนองของพืชต่อการเข้าบุกรุกทำลายของเชื้อก่อโรคในพืชชนิดอื่น อีกทั้งยังเป็นข้อมูลสำหรับนักปรับปรุงพันธุ์เพื่อนำไปสู่การสร้างหน้ววต้านทานโรคต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ขอขอบคุณศูนย์วิจัยโปรตีนและโปรตีโอมิกส์เพื่อการพาณิชย์และอุตสาหกรรม (ศปพ.) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำอิเล็กโทรโฟริซิสแบบ 2 มิติ และขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้อุปกรณ์เครื่องมือวิจัย และสถานที่ตลอดระยะเวลาของการวิจัย

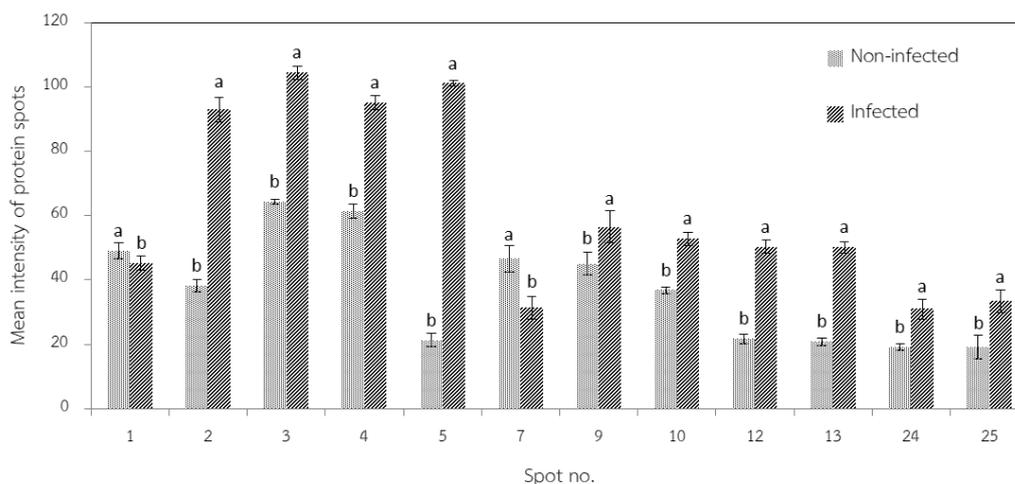


Fig. 3 Expression levels of protein spots identified in non-infected and infected *Anthurium*. The mean intensity of protein spots were analyzed manually using Image J program. Results are presented as the mean intensity \pm SE of protein spots for gels from 3 replicates. The different letters ($p < 0.05$) above the error bars indicate statistically significant difference (Duncan's Multiple Range Test) between non-infected and infected

Table 3 LC-MS identification of selected protein spots of non-infected and infected *Anthurium*

Spot no.	Name of the protein	MW (kDa)/pI	Organism matched	Accession no.
1	Oxygen-evolving enhancer protein 1	35.1/6.26	<i>Fritillaria agrestis</i>	O49079
2	Triose-phosphate isomerase	27.3/5.38	<i>Oryza sativa</i> subsp. <i>japonica</i>	P48494
5	Superoxide dismutase	15.4/5.13	<i>Capsicum annuum</i>	O22373
6	Glutathione S-transferase	24.6/5.88	<i>Silene vulgaris</i>	Q04522
7	Fructose-bisphosphate aldolase	42.4/6.85	<i>Fritillaria agrestis</i>	P16096
8	Oxygen-evolving enhancer protein 2	23.4/4.91	<i>Brassica juncea</i>	Q96334

References

- Alscher, R.G., Erturk, N. and Heath, L. S. 2002. Role of Superoxide Dismutases (SODs) in Controlling Oxidative Stress in Plants. *J. Exp. Bot.* 53(372): 1331-1341.
- Ampawan, R., Pookmanee, T., Samransakul, P., Duangban, D., Teja, S. and Wongchai, K. 2016. Anthurium Propagation by Tissue Culture Technique. [online] [Accessed December 13, 2016]. Available from: URL: <http://research.rae.mju.ac.th/raebase/index.php/knowledge/blog2/710-anthurium1?showall=1&limitstart=>.
- Bowler, C., Montagu, M. V. and Inze, D. 1992. Superoxide Dismutase and Stress Tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 43(1): 83-116.

- Bradford, M.M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Anal. Biochem.* 72: 248–254.
- Brown, S.H. 2012. Anthracnose Disease of Ornamental Plants: A Pictorial [online]. [Accessed December 14, 2016]. Available from: URL: <http://lee.ifas.ufl.edu/Hort/GardenPubsAZ/Anthracnose.pdf>.
- Campo, S., Carrascal, M., Coca, M., Abián, J. and San Segundo, B. 2004. The Defense Response of Germinating Maize Embryos Against Fungal Infection: A Proteomics Approach. *Proteomics.* 4(2): 383-396.
- Chen, M. and Thelen, J.J. 2010. The Plastid Isoform of Triose Phosphate Isomerase Is Required for the Postgerminative Transition from Heterotrophic to Autotrophic Growth in *Arabidopsis*. *Plant Cell.* 22(1): 77-90.
- Cipriano, A.K., Gondim, D.M., Vasconcelos, I.M., Martins, J.A., Moura, A.A., Moreno, F.B., Monteiro-Moreira, A.C.O., Melo, J.G.M., Cardoso, J.E., Paiva, A.L.S. and Oliveira, J.T.A. 2015. Proteomic Analysis of Responsive Stem Proteins of Resistant and Susceptible Cashew Plants After *Lasiodiplodia theobromae* Infection. *J. Proteomics.* 15(113): 90-109.
- Dahal, D., Pich, A., Braun, H.P. and Wydra, K. 2010. Analysis of Cell Wall Proteins Regulated in Stem of Susceptible and Resistant Tomato Species After Inoculation with *Ralstonia solanacearum*: A Proteomic Approach. *Plant Mol. Biol.* 73(6): 643-658.
- Dalton, D.A., Boniface, C., Turner, Z., Lindahl, A., Kim, H.J., Jelinek, L., Govindarajulu, M., Finger, R.E. and Taylor, C.G. 2009. Physiological Roles of Glutathione S-Transferases in Soybean Root Nodules. *Plant Physiol.* 150(1): 521-530.
- Dean, J.D., Goodwin, P.H. and Hsiang, T. 2005. Induction of Glutathione S-Transferase Genes of *Nicotiana benthamiana* Following Infection by *Colletotrichum destructivum* and *C. orbiculare* and Involvement of One in Resistance. *J. Exp. Bot.* 56(416): 1525-1533.
- Dibanuka, C. 2016. Anthurium Cut Flowers. [Accessed December 13, 2016]. Available from: URL: <http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/ebooks/2016/20160068/index.html#>.
- Fang, X., Chen, W., Xin, Y., Zhang, H., Yan, C., Yu, H., Liu, H., Xiao, W., Wang, S., Zheng, G. and Liu, H. 2012. Proteomic Analysis of Strawberry Leaves Infected with *Colletotrichum fragariae*. *J. Proteomics.* 75(13): 4074-4090.
- Kasetsart University. 2004. Anthurium. [online] [Accessed December 13, 2016]. Available from: URL: <http://www.ku.ac.th/e-magazine/september47/agri/flower.html>.
- Lewis-Ivey, M.L., Nava-Diaz, C. and Miller, S.A. 2004. Identification and Management of *Colletotrichum acutatum* on Immature Bell Peppers. *Plant Dis.* 88 (11):1198–1204.
- Liao, W., Ji, L., Wang, J., Chen, Z., Ye, M., Ma, H. and An, X. 2014. Identification of Glutathione S-Transferase Genes Responding to Pathogen Infestation in *Populus tomentosa*. *Funct. Integr. Genomics.* 14(3): 517-529.
- Marrs, K.A. 1996. The Functions and Regulation of Glutathione S-Transferases in Plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47: 127-158.
- Mehta, A., Brasileiro, A., Souza, D. S., Romano, E., Campos, M. A., Grossi-de-Sá, M. F. Silva, M.S., Franco, O.L., Fragoso, R.R., Bevitori, R. and Rocha, T. L. 2008. Plant-Pathogen Interactions: What is proteomics telling us?. *FEBS J.* 275(15). 3731-3746.
- Moura, H.F., Vasconcelos, I.M., Souza, C.E., Silva, F.D., Moreno, F.B., Lobo, M.D., Monteiro-Moreira, A.C., Moura,

- A.A., Costa, J.H. and Oliveira, J.T. 2014. Proteomics Changes During the Incompatible Interaction Between Cowpea and *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz and Sacc. Plant Sci. 217(218): 158– 175.
- Mutuku, J. M. and Nose, A. 2012. Changes in the Contents of Metabolites and Enzyme Activities in Rice Plants Responding to *Rhizoctonia solani* Kuhn Infection: Activation of Glycolysis and Connection to Phenylpropanoid Pathway. Plant Cell Physiol. 53(6): 1017-1032.
- Mutuku, M. and Nose, A. 2010. *Rhizoctonia solani* Infection in Two Rice Lines Increases mRNA Expression of Metabolic Enzymes Genes in Glycolytic, Oxidative Pentose Phosphate Pathways and Secondary Metabolism. Trop. Agr. Develop. 54(4): 119-131.
- Perintawong, N. 2013. Mechanism of Disease Resistance in Plants. King Mongkut's Agricultural Journal 31(3): 76-82. (in Thai)
- Photita, W., Taylor, P. W., Ford, R., Hyde, K. D., and Lumyong, S. 2005. Morphological and Molecular Characterization of *Colletotrichum* Species from Herbaceous Plants in Thailand. Fungal Divers. 18: 117-133.
- Polesani, M., Desario, F., Ferrarini, A., Zamboni, A., Pezzotti, M., Kortekamp, A. and Polverari, A. 2008. cDNA-AFLP Analysis of Plant and Pathogen Genes Expressed in Grapevine Infected with *Plasmopara viticola*. Bmc Genomics. 9(1): 142.
- Poopai boon, A., Kaosiri, T. and Leelapiromkul, P. 2009. Anthurium: Black Rot Disease Resistance. Kasikorn. 82(4): 63-67. (in Thai)
- Shahrtash, M. 2013. Plant Glutathione S-Transferases Function During Environmental Stresses: A Review Article. Rom. J. Biol. - Plant Biol. 58(1): 19-25.
- Soonswon, W., Chuenchitt, S., Yenyongsawad, C., Techato, S. and Poonthong, O. 2010. Anthurium Breeding for Cut Flower. Research report which received financial support from annual government statement of expenditure 2004-2006. (in Thai)
- Subramanian, B., Bansal, V.K., and Kav, N.N. 2005. Proteome-Level Investigation of *Brassica carinata*-Derived Resistance to *Leptosphaeria maculans*. J. Agric. Food Chem. 53(2): 313-324.
- Sugihara, K., Hanagata, N., Dubinsky, Z., Baba, S. and Karube, I. 2000. Molecular Characterization of cDNA Encoding Oxygen Evolving Enhancer Protein 1 Increased by Salt Treatment in the Mangrove *Bruguiera gymnorhiza*. Plant Cell Physiol. 41(11): 1279–1285.
- Thaikasetsart. 2012. Typical Characteristics of Anthurium. [Accessed December 13, 2016] Available from: URL: <http://www.thaikasetsart.com/>.
- Vasanthaiyah, H.K.N., Katam, R. and Basha, S.M. 2009. Characterization of Unique and Differentially Expressed Proteins in Anthracnose-Tolerant Florida Hybrid Bunch Grapes. Appl. Biochem. Biotechnol. 157(3): 395–406.
- Wang, Y., Moidu, H., Charles, M.T., Dubé, C. and Khanizadeh, S. 2015. Differential Regulation of Superoxide Dismutase Activity in Selected Strawberry Lines Exposed to *Mycosphaerella fragariae*. J. Plant Stud. 4(2): 30-41.
- Wiriyaampaiwong, P., Chomnawang, P. Sootsuwan, K. and Samranpong, O. 2013. Preliminary Study on Isolation of Fungal Pathogen Causing Anthracnose of *Anthurium andraeanum* in Thailand. [Abstract]. Proceedings of the 25th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology and International Conference. Bangkok. 226. (in Thai)
- Zhang, X., Fu, J., Hiromasa, Y., Pan, H., and Bai, G. 2013. Differentially Expressed Proteins Associated with

Fusarium Head Blight Resistance in Wheat. PloS ONE, 8(12): 1-10.

Zhang, X.L., Si, B.W., Fan, C.M., Li, H.J. and Wang, X.M. 2014. Proteomics Identification of Differentially Expressed Leaf Proteins in Response to *Setosphaeria turcica* Infection in Resistant Maize. J. Integr. Agric. 13(4): 789-803.

ระดับของปุ๋ยเคมีไนโตรเจนต่อผลผลิต ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน เอนไซม์ยูรีเอส และความอุดมสมบูรณ์ของดินหลังการเก็บเกี่ยวอ้อยในสภาพดินทราย

นิพนธ์ มาวัว¹ และ วรณวิภา แก้วประดิษฐ์^{1,2,3*}

¹ ศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

² ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

³ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมประยุกต์เพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลของระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้แก่อ้อยปลูกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน กิจกรรมเอนไซม์ยูรีเอสและคุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินที่ระยะเก็บเกี่ยวอ้อยในเขตดินทราย วางแผนงานทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 กรรมวิธีทดลอง 4 ซ้ำ: 1) กลุ่มควบคุมไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (control group) 2) ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำ (N1) และ 3) ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำ (N2) ผลการศึกษาพบว่าความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำอ้อยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตามที่อ้อยอายุ 4 เดือน กรรมวิธี N2 ส่งผลให้จำนวนต้นตอกและปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าในกรรมวิธี N1 และ Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้กรรมวิธี N2 ส่งผลให้ผลผลิต (9.08 ตันต่อไร่) และจำนวนลำต่อไร่ (14,824 ลำต่อไร่) สูงที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธี N1 และ control ตามลำดับ นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำ (N2) ส่งผลต่ออินทรีย์วัตถุและปริมาณฟอสฟอรัสในดินหลังการทดลองเพิ่มขึ้นและไม่ส่งผลต่อการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอส ในขณะที่สัดส่วนกิจกรรมยูรีเอสต่อปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราแนะนำ ดังนั้นการผลิตอ้อยในเขตดินทรายของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หากได้รับปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกเพิ่มขึ้นสองเท่าของอัตราแนะนำ สามารถเพิ่มผลผลิตอ้อยและยังคงส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน ดินทราย และ อินทรีย์วัตถุ

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: wanwka@gmail.com

Effect of Nitrogen Fertilizer Level on Yield, Nitrogen Efficiency, Urease Activity and Soil Fertility after Sugarcane Harvesting under Sandy Soil Condition

Nipon Mawan¹ and Wanwipa Kaewpradit^{1,2,3*}

¹*Northeast Thailand Cane and Sugar Research Center, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand*

²*Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand*

³*Applied engineering for important Crop of the North East Research Group, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand*

Abstract

The objectives of this research were to study the effects of different nitrogen fertilizer level on growths, yields, nitrogen efficiency, urease activity and soil fertility after sugarcane harvesting under sandy soil condition. The experiment was designed under Randomized Complete Block Design (RCBD) with three treatments and four replications. There were three nitrogen rates i.e. 1) control group (0 kg/rai), 2) N at recommended rate (N1) and 3) double recommended N rate (N2). The results were indicated that plant height and stalk diameter were not significantly different between treatments. However, N2 treatment gave significantly number of tiller and SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) at 4 MAP ($P < 0.05$) higher than N1 and control. Moreover, N2 treatment had the highest of cane yield (9.08 tons/rai) and stalk number (14,824 stalks/rai) ($P < 0.01$) compared with N1 and control group respectively. N2 treatment improved soil organic matter and available phosphorus but not soil urease activity while urease activity per N added ratio lower than N1 treatment. Thus, double recommended N rate not only increased cane yield but also nitrogen use efficiency in sugarcane production under sandy soil condition of Northeastern Thailand.

Keywords: Nitrogen use efficiency, Sandy soil and Organic matter

* Corresponding author: E-mail: wanwka@gmail.com

บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย จากการสำรวจพื้นที่ในปี 2560 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยประมาณ 11 ล้านไร่ แหล่งผลิตอ้อยแหล่งใหญ่ที่สุดของประเทศอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีพื้นที่ประมาณ 4.8 ล้านไร่ คิดเป็น 43 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ (The Office of the Cane and Sugar Board, 2017) เนื่องจากดินในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้นส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและมีลักษณะเป็นดินทรายซึ่งมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ค่อนข้างต่ำ เมื่อเกษตรกรให้ปุ๋ยเคมีแก่อ้อย ธาตุอาหารที่ละลายออกมาจากปุ๋ยนั้นอาจสูญเสียไปจากระบบรากอ้อยได้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจนซึ่งมีความสำคัญต่อผลผลิต จึงส่งผลให้อ้อยมีจำนวนลำที่สามารถตัดส่งโรงงานได้ต่อพื้นที่ต่ำ เนื่องจากภายหลังจากที่อ้อยมีการแตกกอเต็มที่แล้วกลับพบว่าหน่ออ้อยทั้งหมดไม่สามารถเจริญเติบโตเป็นลำที่สมบูรณ์เพื่อตัดส่งโรงงานได้ทั้งหมด จำนวนลำต่อพื้นที่ของอ้อยในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือจึงต่ำ ส่งผลให้ผลผลิตต่อพื้นที่ต่ำตามไปด้วย จากการศึกษาของ Koochekzadeh *et al.* (2009) พบว่าไนโตรเจนสามารถช่วยในการแตกหน่อและการยืดยาวของลำอ้อยเพิ่มขึ้น สอดคล้องงานวิจัยของ Lofton and Tubana (2015) พบว่าไนโตรเจนสามารถช่วยเพิ่มให้ผลผลิตอ้อยสูงขึ้น การให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่มากขึ้นอาจจะเป็นแนวทางที่สามารถเพิ่มผลผลิตแก่อ้อยได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากดินทรายนั้นมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินต่ำ การเพิ่มอัตราของปุ๋ยไนโตรเจนอาจจะไม่ส่งผลให้พืชนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกิจกรรมของเอนไซม์ยูเรียเอสซึ่งเป็นดัชนีที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเพิ่มผลผลิตของพืช การให้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนแก่อ้อยในปริมาณที่สูงกว่าอัตราแนะนำในพื้นที่ดินทราย เพื่อให้มีธาตุไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์แก่อ้อยในการเจริญเติบโต อาจสามารถเพิ่มโอกาสให้จำนวนหน่อที่ถูกสร้างขึ้นในช่วงระยะแตกกอนั้นสามารถเจริญเติบโตไปเป็นลำที่สมบูรณ์จนสามารถส่งโรงงานได้ ทำให้เกษตรกรสามารถส่งอ้อยเข้าโรงงานในปริมาณสูงขึ้นมีรายได้มากขึ้น อีกทั้งโรงงานน้ำตาลมีปริมาณอ้อยเข้าหีบมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์

เพื่อประเมินอิทธิพลของระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้แก่อ้อยปลูกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต กิจกรรมเอนไซม์ยูเรียเอสและคุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินที่ระยะเก็บเกี่ยวอ้อย

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ทำการทดลองในสภาพไร่ ณ บ้านวังหว้า อำเภอบ้านแฮด จังหวัดขอนแก่น โดยค่าเฉลี่ยของน้ำฝนรายปีมีปริมาณ 790 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ย 27.67 องศาเซลเซียส (Thai Meteorological Department, 2015) วางแผนงานทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 กรรมวิธี ทำการทดลอง 4 ซ้ำ แปลงทดลองขนาด 9.8 x 6 ตารางเมตรโดยใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (กก./ไร่) ในการใส่ครั้งแรกพร้อมปลูก และครั้งที่สองใช้ปุ๋ยสูตรและอัตราเดียวกันเมื่ออ้อยอายุ 5 เดือนซึ่งเป็นวิธีการใส่ปุ๋ยอ้อยในเขตดินทรายที่กรมวิชาการเกษตรแนะนำ (Department of Agriculture, 2009) ดำเนินการจัดการปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ลงในแปลงทดลองที่ได้รับการจัดการปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีต่างๆ ดัง Table 1

Table 1 Fertilizer application rates of each treatment

Treatments	1 st Application			2 nd Application		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	(kg/rai)			(kg/rai)		
Control	-	-	-	-	-	-
N1	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
N2	15	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5

การเก็บข้อมูล

1. ข้อมูลดินก่อนการทดลอง

การเก็บข้อมูลดิน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลอง ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน (soil texture) โดยวิธี Hydrometer (Kilmer and Mullins, 1954) ความชื้นในดิน (moisture content in soil) (Land Development Department, 2004) และ

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH) โดยวิธี pH meter (potention metric method) ในสัดส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1: 2.5 (Black, 1965) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (electrical conductivity; EC) โดยวิธี EC meter ในสัดส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1: 5 (Land Development Department, 2004) ความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออนของดิน (cation exchange capacity; CEC) โดยวิธี Ammonium acetate extract ของ Schollerger and Simmon (1945) และ Land Development Department (2004) อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter; OM) โดยวิธี Wet oxidation ของ Walkley and Black (1934) อนินทรีย์ไนโตรเจนในดิน (mineral N in soil; NO_3^- , NH_4^+) เติม 2 N KCl ในอัตราส่วน 1: 5 (ดินเปียก 20 กรัม: 2 N KCl 100 มิลลิลิตร) และนำไปวิเคราะห์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชแบบอินเจกชัน (Flow Injection Analyzer; FIA) (Land Development Department, 2004) ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (total N in soil) โดยการย่อยตามวิธี Kjeldahl nitrogen method (Jackson, 1967) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (available P in soil) โดยวิธี Murphy and Riley ตามวิธี Bray II ของ Bray and Kurtz (1945) วัดความเข้มข้นสีของสารละลายด้วยเครื่อง spectrophotometer ปริมาณโพแทสเซียมและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (extractable K, Ca in soil) โดยวิธี Ammonium acetate เป็นตัวสกัด วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมและแคลเซียมด้วยเครื่อง Flame photometer นอกจากนี้ได้วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสจากตัวอย่างดินที่ระยะเก็บเกี่ยวโดยวิธีของ Kandeler *et al.* (1999)

2. ข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อย

โดยบันทึกลักษณะต่างๆ ดังนี้ จำนวนต้นตอ ความสูงต้น และขนาดของลำต้น สุ่มนับจำนวน 5 กอต่อแปลง ที่อ้อยอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 เดือนหลังปลูก ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ สุ่มวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ 5 ใบต่อแปลง (วัดจากลำที่สุ่มนับจำนวนต้นตอ) โดยวัดจากใบที่อยู่ส่วนยอดสุดโดยใช้เครื่อง SPAD chlorophyll meter สุ่มวัด 3 จุดต่อใบ บริเวณโคน กลาง และปลายใบ

3. ข้อมูลอ้อยระยะเก็บเกี่ยว

ทำการเก็บข้อมูลเมื่ออ้อยอายุ 12 เดือน โดยเก็บข้อมูลจาก 5 แถวกลาง ยกเว้นต้นหัว-ท้ายแถว และยกเว้น 2 แถวริม บันทึกข้อมูลจำนวนลำเพื่อคำนวณเป็นจำนวนลำต่อพื้นที่ จากนั้นทำการตัดลำต้นอ้อย แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักสดเพื่อคำนวณผลผลิตต้นสดเป็นต้นต่อไร่ ค่าความหวาน (องศาบริกซ์) ดำเนินการตรวจวัด 3 จุด โดยวิธีเจาะน้ำหวานจากลำต้นอ้อยบริเวณ ส่วนยอด กลาง และโคนต้น ซึ่งวัดจาก 5 ต้นเดิมที่เก็บบันทึกข้อมูลจำนวนต้นตอ โดยใช้ hand refractometer แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์บริกซ์ ค่า C.C.S. (commercial cane sugar)

4. ข้อมูลปริมาณธาตุอาหารในอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยว

ประกอบด้วย ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) วิเคราะห์โดยวิธี Micro Kjeldahl (Land Development Department, 2004) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรดไนตริก (HNO_3) และกรดเปอร์คลอริก (HClO_4) แล้ววิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Land Development Department, 2004) และโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Flame photometer ค่าเฉลี่ยผลผลิตอ้อยหลังการเก็บเกี่ยวและปริมาณไนโตรเจนในต้นพืช นำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำไนโตรเจนและองค์ประกอบของประสิทธิภาพการใช้น้ำไนโตรเจน (Good *et al.*, 2004) จากสูตร

ค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำไนโตรเจน (nitrogen use efficiency; NUE) = $\text{NUpE} \times \text{NUtE}$

ค่าประสิทธิภาพการดูดใช้น้ำไนโตรเจน (nitrogen uptake efficiency ; NUpE) = $\frac{\text{ไนโตรเจนทั้งหมดในอ้อยที่เพิ่มขึ้น (กก./ไร่)}}{\text{อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (กก./ไร่)}}$

ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นผลผลิต (nitrogen utilization efficiency; NUtE) = $\frac{\text{ผลผลิตของอ้อย (กก./ไร่) ที่เพิ่มขึ้น}}{\text{ไนโตรเจนทั้งหมดในพืชที่เพิ่มขึ้น (กก./ไร่)}}$

5. ข้อมูลดินที่ระยะเก็บเกี่ยว

ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีบางประการ เช่นเดียวกับดินก่อนการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองโดยใช้ Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินก่อนการทดลอง

ดินก่อนการทดลองมีคุณสมบัติทางเคมี ที่ดินระดับ 0-15 เซนติเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 5.14 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 0.02 dS/m ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) เท่ากับ 3.56 c mol/kg อินทรีย์วัตถุ (OM) เท่ากับ 0.28% อนินทรีย์ไนโตรเจน เท่ากับ 9.05 mg/kg ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) เท่ากับ 0.01% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เท่ากับ 10.05 mg/kg โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) เท่ากับ 26.43 mg/kg แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Ca) เท่ากับ 79.55 mg/kg ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) เท่ากับ 1.43 g/cm³

2. องค์ประกอบการเจริญเติบโตของอ้อย

การเจริญเติบโตของอ้อยที่ได้รับอิทธิพลจากอัตราไนโตรเจนที่แตกต่าง พบว่าความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นอ้อยในของแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติในอ้อยทุกระยะ 4, 6, 8, 10 และ 12 เดือน (Fig. 1) เมื่อพิจารณาอ้อยที่ระยะ 10 และ 12 เดือน พบว่ากรรมวิธีที่ 2 และ 3 สูงกว่ากรรมวิธีที่ 1 แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตามที่อ้อยระยะ 4 เดือน กรรมวิธีที่ได้รับไนโตรเจนตามคำแนะนำและกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนต้นตอและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้พบว่าที่อ้อยระยะ 4 เดือน กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของอัตราแนะนำ (N2) ส่งผลให้จำนวนต้นตอสูงกว่าในกรรมวิธีที่ใส่ตามคำแนะนำ (N1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ที่อ้อยระยะ 6, 8, 10 และ 12 เดือน พบว่าจำนวนต้นตอ

และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อยมีแนวโน้มลดลงในทุกกรรมวิธีและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การเพิ่มขึ้นของจำนวนต้นตอของอ้อยแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนส่งผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อย โดยเฉพาะในช่วงแรกของการเจริญเติบโตเนื่องจากเป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Garside *et al.* (2000) พบว่าในช่วง 100 วันหลังปลูกอ้อยเป็นช่วงที่อ้อยตอบสนองต่อไนโตรเจนและเป็นช่วงที่มีจำนวนต้นตอสูงที่สุด จึงมีความเหมาะสมต่อการทดสอบการตอบสนองไนโตรเจนต่อการแตกกอของอ้อยที่สามารถเจริญเติบโตไปเป็นลำที่สมบูรณ์ในช่วงของการเก็บเกี่ยวอ้อย ดังนั้นจึงทำให้อ้อยที่ระยะ 4 เดือน ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำมีจำนวนต้นตอของอ้อยมากกว่ากรรมวิธีที่ใส่ตามคำแนะนำและกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน แต่เมื่ออ้อยไม่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มในการใส่ปุ๋ยครั้งที่สอง อาจส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารส่งไปยังหน่อที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่เพียงพอจนทำให้หน่อดังกล่าวไม่สามารถเจริญเติบโตไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยวได้ อย่างไรก็ตามงานทดลองของ Khonghintaisong *et al.* (2017) พบว่ารูปแบบดังกล่าวนี้เป็นลักษณะของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่มีการแตกหน่อสูงสุดที่ 165 วันและจำนวนหน่อจะลดลงเมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว เช่นเดียวกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อยในช่วงอ้อยระยะ 4 เดือนพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด เนื่องจากมีการสะสมไนโตรเจนที่ไปจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน หลังจากนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์จะค่อยลดลงตามอายุของอ้อยที่อ้อยระยะ 6, 8, 10 และ 12 เดือน ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Inman-Bamber *et al.* (2011) พบว่าไนโตรเจนและปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์ทางบวก ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของอ้อยจะมีความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงตามช่วงอายุของอ้อย อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำอ้อยในแต่ละกรรมวิธี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hajari *et al.* (2017) ซึ่งพบอัตราไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ส่งผลต่อการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอ้อย

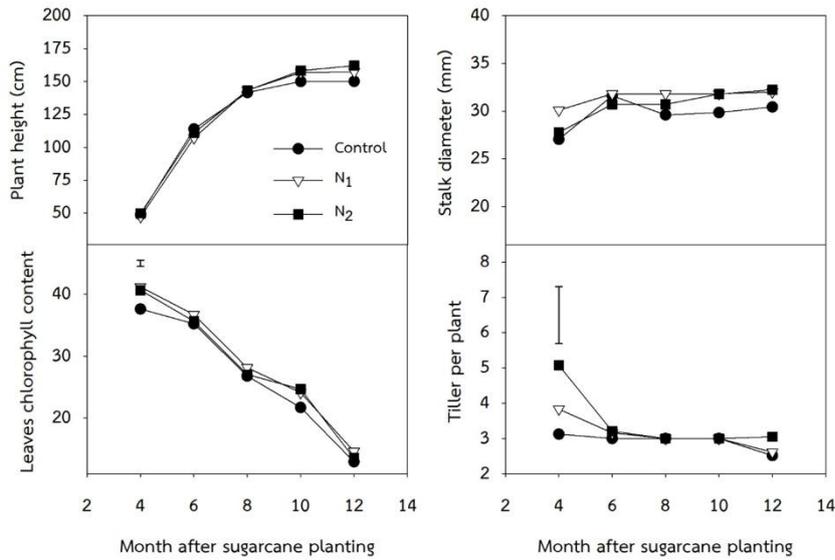


Fig. 1 Effects of different N fertilizer application rates on plant height (a), stalk diameter (b), SPAD chlorophyll meter reading (c) and tiller number (d) of sugarcane at 4, 6, 8, 10 and 12 months after planting (MAP)

Vertical bars represent SED

3. องค์ประกอบด้านผลผลิตอ้อยและประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน

ที่ระยะเก็บเกี่ยวพบว่าอ้อยปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตอ้อยอย่างชัดเจน จากผลการทดลองพบว่าจำนวนลำต่อไร่และผลผลิตของอ้อยสูงในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำ (11,280 ลำ/ไร่ และ 7.17 ตัน/ไร่) และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำ (14,824 ลำ/ไร่ และ 9.08 ตัน/ไร่) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (9,670 ลำ/ไร่ และ 3.97 ตัน/ไร่) (Table 2) และพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำอัตรา 22.5 กก.ไนโตรเจน/ไร่ ทำให้จำนวนลำต่อไร่และผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ตามคำแนะนำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักผลผลิตอธิบายได้จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนลำต่อพื้นที่ ส่งผลให้น้ำหนักสดผลผลิตสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bologna-Campbell *et al.* (2013) ได้ทำการทดลองในพื้นที่ดินทรายพบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 19.2 กก.ไนโตรเจน/ไร่ ส่งผลให้จำนวนลำต่อพื้นที่และน้ำหนักผลผลิตของอ้อยเพิ่มขึ้น 57 และ 56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้จำนวนลำต่อพื้นที่และน้ำหนักผลผลิต

ของอ้อยยังสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 12.8 และ 6.24 กก.ไนโตรเจน/ไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับงานทดลองในประเทศออสเตรเลียที่พบว่าผลผลิตของอ้อยเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ย 9, 17.1 และ 42.9 กก.ไนโตรเจน/ไร่ ตามลำดับ ในพื้นที่ที่ดินมีลักษณะดินทราย (Muchow *et al.*, 1996) จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่ที่มีลักษณะดินทรายจะช่วยเพิ่มจำนวนลำต่อพื้นที่และผลผลิตของอ้อยเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองครั้งนี้ยังพบว่าค่าซีซีเอสในกรรมวิธีต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

โดยทั่วไปการเพิ่มอัตราไนโตรเจนให้แก่อ้อยจะส่งผลในการลดลงของค่าซีซีเอส (Meyer *et al.*, 2007) ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนโดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนจากดินและประสิทธิภาพการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นผลผลิต ผลการทดลองพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกเป็นสองเท่าของคำแนะนำและกรรมวิธีใส่ตามคำแนะนำมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในอ้อยสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) (Table 3) แต่ทั้งสองกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนจากดินและค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นผลผลิตไม่มีความ

แตกต่างกันทางสถิติระหว่างกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อม
 ปุ๋ยสองเท่าของคำแนะนำ (0.90 และ 1630.89) กับ
 กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำ (0.110 และ
 979.82) อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนใน
 กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปุ๋ยสองเท่าของคำแนะนำ
 (132.28) สูงกว่ากับกรรมวิธีที่ใส่ตามอัตราตามคำแนะนำ
 (106.75) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทั่วไปอัตราของ
 ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่า
 ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน จากงานวิจัย Suman *et al.*
 (2008) พบว่าการเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอ้อยจาก

24 กก.ไนโตรเจน/ไร่ ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการใช้
 ไนโตรเจน ค่าประสิทธิภาพการดึงไนโตรเจนจากดิน และค่า
 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นผลผลิตลดลง เมื่อ
 เปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 12 กก.
 ไนโตรเจน/ไร่ ผลงานวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราการ
 ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่ลักษณะดินทรายไม่ได้ส่งผลในการ
 ลดค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ในโตรเจนจากดินและ
 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นผลผลิต นอกจากนี้ยัง
 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ในโตรเจนของอ้อยอีกด้วย

Table 2 Cane yield, total nitrogen, total phosphorus and total potassium content in sugarcane at final harvesting

Treatments	Stalk number (stalk/rai)	Cane yield (ton/rai)	C.C.S (%)	Total N (kg/rai)	Total P (kg/rai)	Total K (kg/rai)
Control	9,670 ^{c1}	3.97 ^c	12.43	6.11 ^b	0.87 ^b	7.38 ^c
N1	11,280 ^b	7.17 ^b	12.31	9.62 ^a	1.55 ^{ab}	15.08 ^b
N2	14,824 ^a	9.08 ^a	12.15	10.06 ^a	1.94 ^a	21.63 ^a
F-test	**	**	ns	**	*	**
CV (%)	7.36	36.65	3.09	25.31	50.44	41.11

Note: ^{ns} not-significant, ^{**} Significant at P < 0.05 and 0.01, respectively, ^{1/} Means in the same columns with different letters are significant (P<0.05) determined by Least Significant Difference (LSD)

Table 3 N uptake efficiency (NUpE), N utilization efficiency (NUE) and N use efficiency (NUE) in sugarcane at final harvesting

Treatments	NUpE	NUE	NUE
N1	0.11	979.82	106.75
N2	0.09	1630.89	132.28
t-test	ns	ns	*
C.V. (%)	24.84	43.78	11.42

Note: ^{ns} not-significant, * Significant at P < 0.05 determined by unpaired t-test.

4. คุณสมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวอ้อย

ดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร พบว่าค่าการนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุของดินและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

(0.028 ds/m, 0.34 เปอร์เซ็นต์ และ 29.15 mg/kg) ในกรรมวิธี 3 มีค่าสูงสุดและแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01) จากกรรมวิธีอื่น (Table 4) ในขณะที่ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (0.0123 เปอร์เซ็นต์) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในกรรมวิธีที่ 2 แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 3 (0.0120 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินไม่พบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละกรรมวิธี นอกจากนี้ยังพบว่ากรรมวิธีที่ 2 และ 3 ส่งผลให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่กรรมวิธีที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี การเพิ่มขึ้นอินทรีย์วัตถุของดินในกรรมวิธีที่ใส่ไนโตรเจน อธิบายได้จากการใส่ไนโตรเจนส่งผล

ต่อการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนใต้ดินจากระบบรากอ้อยที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งรากอ้อยจะปลดปล่อยสารอินทรีย์ (Root exudate) ที่ช่วยต่อการย่อยสลายและไปกระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินในบริเวณรากพืช จากกระบวนการดังกล่าวทำให้เกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์และเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินมากขึ้นและกรดอินทรีย์ที่ปลดปล่อยออกมาจากรากยังส่งผลต่อการลดลงของความเป็นกรด-ด่างของดิน (Carvalho *et al.*, 2017) จากการเพิ่มขึ้นของอินทรีย์วัตถุของดินในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลุกสองเท่าของคำแนะนำส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์หลังจากการใส่ปุ๋ยเคมีมีสูญเสียง่ายจากการชะล้าง (Leaching) โดยเฉพาะในดินที่มีลักษณะดินทราย ดังนั้นอินทรีย์วัตถุของดินที่เพิ่มขึ้นสามารถดูดซับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์หลังจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลุกสองเท่าของคำแนะนำและป้องกันการสูญเสียโดยการชะล้าง นอกจากนี้กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลุกสองเท่าของคำแนะนำและกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ยูเรียเอสสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Fig. 2) จากงานวิจัยของ Jian *et al.* (2016)

พบว่าการเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลกิจกรรมของเอนไซม์ยูเรียเอสสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย อย่างไรก็ตามการทดลองครั้งนี้กิจกรรมของเอนไซม์ยูเรียเอสในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลุกสองเท่าไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลุกสองเท่าของคำแนะนำไม่ได้ทำให้สูญเสียไนโตรเจนจากการไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ยูเรียเอสเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ตามคำแนะนำ

เมื่อพิจารณาจากกิจกรรมของเอนไซม์ยูเรียเอสต่อปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (Table 5) พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ยูเรียเอสในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลุกสองเท่าคำแนะนำต่ำกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งกิจกรรมของยูเรียเอสนั้นทำให้ยูเรียถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) อย่างช้าๆ

การปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ยอย่างช้าๆ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ไนโตรเจนของพืชเพื่อใช้ในการเพิ่มผลผลิตและลดการสูญเสียไนโตรเจนจากการเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) (Timilsena *et al.*, 2015) ดังนั้นในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสองเท่าของคำแนะนำในดินทรายส่งผลให้ผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของพืช

Table 4 Soil chemical properties at 0-15 cm depth after harvesting

Treatments	pH	EC (dS/m)	CEC (cmol/kg)	OM (%)	Total N (%)	Mineral N (mg/kg)	Avai.P (mg/kg)	Exch.K (mg/kg)	Exch.Ca (mg/kg)
0-15 cm soil depth									
Control	5.78 ^a	0.013 ^b	2.35	0.26 ^b	0.0090 ^b	6.78	11.68 ^c	45.80	93.25
N1	5.34 ^{ab}	0.017 ^b	2.36	0.25 ^b	0.0123 ^a	10.88	22.38 ^b	51.50	73.25
N2	5.04 ^b	0.028 ^a	2.06	0.34 ^a	0.0120 ^{ab}	6.67	29.15 ^a	55.88	56.75
F-test	*	**	ns	**	*	ns	**	ns	ns
C.V. (%)	8.40	42.65	25.04	18.05	19.37	40.48	39.48	19.35	34.07

Note: ^{ns} not-significant, ^{*} Significant at $P < 0.05$ and 0.01 , respectively, ^{1/} Means in the same columns with different letters are significant ($P < 0.05$) determined by Least Significant Difference (LSD)

สรุปผลการวิจัย

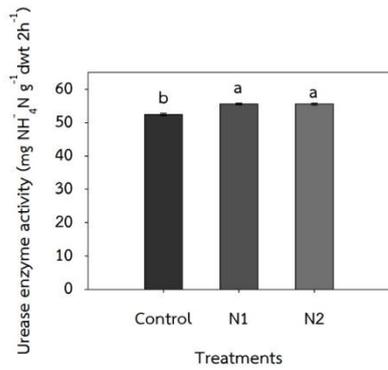


Fig. 2 Soil urease activity at sugarcane final harvesting. The error bars represent standard error (SE)

Table 5 Soil urease enzymes activity per nitrogen applied at sugarcane final harvesting

Treatments	mg NH ⁴ -N g ⁻¹ dwt h ⁻¹ /kg N
N1	1.8
N2	1.4
t-test	*
C.V. (%)	4.64

Note: ^{ns} not-significant, * Significant at P<0.05 determined by unpaired t-test.

การศึกษาอิทธิพลของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่อการพัฒนาหน่ออ้อยปลูกให้เป็นลำที่สมบูรณ์ เพื่อหาแนวทางการจัดการปุ๋ยในเขตดินทราย พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกในอัตราสองเท่าของคำแนะนำส่งผลให้จำนวนลำต่อกอเพิ่มขึ้นและสามารถเจริญเติบโตเป็นลำที่สมบูรณ์ส่งผลให้ให้จำนวนลำต่อพื้นที่และผลผลิตของอ้อยสูงขึ้น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำส่งผลต่ออินทรีย์วัตถุในดินและปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น และไม่ได้ส่งผลต่อการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของดินหลังจากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำ นอกจากนี้กิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกในอัตราสองเท่าของคำแนะนำไม่มีความแตกต่างจากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนสูงกว่าเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวชัชรี แอบเสลาที่ช่วยกรุณาเก็บข้อมูลงานทดลอง และขอขอบคุณทุนอุดหนุนทั่วไป มหาวิทยาลัยขอนแก่นปีงบประมาณ 2558 และกลุ่มวิศวะกรรมประยุกต์เพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัย

References

Black, C.A. 1965. Methods of Soil Analysis: Part I Physical and Mineralogical Properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

Bologna-Campbell, I., Franco, H. C.J., Vitti, A.C., Faroni, C.E., Costa, M.C.G. and Trivelin, P.C.O. 2013. Impact of Nitrogen and Sulphur Fertilisers on Yield and Quality of Sugarcane Plant Crop. Sugar Tech. 15(4): 424-428.

Bray, R.H. and Kurtz, L.T. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39-45.

Carvalho, J.L.N., Hudiburg, T.W., Franco, H.C.J. and Delucia, E.H. 2017. Contribution of above-and belowground bioenergy crop residues to soil carbon. Global Change Biology Bioenergy. 9: 1333-1343.

- Department of Agriculture. 2009. The document of sugarcane cultivation [online]. [Accessed March 27, 2018]. Available from: URL: <http://www.doa.go.th/fcrc/nsn/filedownload/l90sugarcane.pdf>.
- Garside, A.L., Bell, M.J., Berthelsen, J.E. and Halpin, N.V. 2000. Effects of breaks and nitrogen fertilizer on shoot development, maintenance and crop yield in an irrigated plant crop of Q117. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.* 22: 61–67.
- Good, A.G., Shrawat, A.K. and Muench, D.G. 2004. Can less yield more? Are reducing nutrient inputs into the environment compatible with maintaining crop production? *Trends. Plant Sci* 9: 597–605.
- Hajari, E., Snyman, S.J. and Watt, M.P. 2017. The effect of form and level of inorganic N on nitrogen use efficiency of sugarcane grown in pots. *Journal of Plant Nutrition.* 40(2): 248-257.
- Inman-Bamber, N. G., Jackson, P. A. and Hewitt, M. 2011. Sucrose accumulation in sugarcane stalks does not limit photosynthesis and biomass production. *Crop and Pasture Science* 62: 848-858.
- Jackson, M.L. 1967. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall of India Pvt. Ltd., New Delhi. 498 pp.
- Jian, S., Li, J., Chen, J., Wang, G., Mayes, M. A., Dzantor, K. E. and Luo, Y. (2016). Soil extracellular enzyme activities, soil carbon and nitrogen storage under nitrogen fertilization: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 101: 32-43.
- Kandeler, E., Stemmer, M. and Klimanek, E. 1999. Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 261-273.
- Khonghintaisong, J., Songsri, P. and Jangpromma, N. 2017. Growth and Physiological Patterns of Sugarcane Cultivars to Mimic Drought Conditions in Late Rainy Season System. *Naresuan University Journal: Science and Technology (NUJST)*. 25(2): 102-112. (in Thai)
- Kilmer, V.J. and Mullins, J.F. 1954. Improved stirring and pipetting apparatus for mechanical analysis of soil. *Soil Science*. 77(6): 437-442.
- Koochekzadeh, A., Fathi, G., Gharineh, M.H., Siadat, S.A., Jafari, S. and Alami-Saeid, K. 2009. Impacts of rate and split application of N fertilizer on sugarcane quality. *Int. J. Agric. Res.* 4(3): 116–123.
- Land Development Department. 2004. *Manual on soil, plant and water analysis*. Office of Science for Land Development. Bangkok. 235 pp. (in Thai)
- Lofton, J. and Tubana, B. 2015. Effect of Nitrogen Rates and Application Time on Sugarcane Yield and Quality. *Journal of Plant Nutrition.* 38(2): 161-176.
- Meyer, J.H., Schumann, A.W., Wood, R.A., Nixon, D.J. and Berg, M.V.D. 2007. Recent advances to improve nitrogen use efficiency of sugarcane in the South African sugar industry. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* 26: 238–245.
- Muchow, R.C., Robertson, M.J., Wood, A.W. and Keating, B.A. 1996. Effect of nitrogen on the time course of sucrose accumulation in sugarcane. *Field Crops Res.* 47: 143-153.
- Schollenberger, C.J. and Simon, R.H. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soils-ammonium acetate method. *Soil Sci.* 59: 13-24.
- Suman, A., Shrivastava, A.K., Gaur, A., Singh, P., Singh, J. and Yadav, R.L. 2008. Nitrogen use efficiency of sugarcane in relation to its BNF potential and population of endophytic diazotrophs at different N levels. *Plant Growth Regulation.* 54(1): 1-11.

- Thai Meteorological Department. 2015. The information of Tha Pha agrometeorological station (Khon Khaen) [online]. [Accessed December 5, 2017]. Available from: URL: <https://www.tmd.go.th/>.
- The Office of the Cane and Sugar Board. 2017. The report of sugarcane cultivation area in the 2016/17 season [online]. [Accessed December 5, 2017]. Available from: URL: <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-9999.pdf>.
- Timilsena, Y.P., Adhikari, R., Casey, P., Muster, T., Gill, H. and Adhikari, B. 2015. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. *J. Sci. Food. Agric.* 95(6): 1131-1142.
- Walkley, A. and Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method of determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-37.

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกร
ในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียว จังหวัดเชียงใหม่

พุดิสสรค์ เครือคำ*, พหล ศักดิ์กะทัศน์, ปภพ จีรัตน์ และ นภาร์ศม์ เวชสิทธิ์นิรภัย

คณะผลิตกรรมการเกษตร สาขาวิชาการพัฒนาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันระบบเกษตรอินทรีย์นับว่ามีความสำคัญต่อการผลิตทางการเกษตรการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ลักษณะส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคมของเกษตรกร 2) ความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกร 3) ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกร และ 4) ปัญหา อุปสรรคและข้อเสนอแนะในการส่งเสริมการผลิตและตลาดไม้ผลของเกษตรกรในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียว จังหวัดเชียงใหม่ดำเนินการวิจัยตั้งแต่เดือน มกราคม 2559 ถึง ธันวาคม 2559 กลุ่มตัวอย่าง คือ เกษตรกรจำนวน 130 คน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและการวิเคราะห์พหุคูณ

ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 48 ปี ส่วนใหญ่ไม่ได้เข้ารับการศึกษาระบบโรงเรียน มีสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 5 คน มีสมาชิกวัยเรียนในครัวเรือนเฉลี่ย 2 คน จำนวนแรงงานในครัวเรือนเฉลี่ย 3 คน มีรายได้ในครัวเรือนเฉลี่ย 3,277 บาท ต่อเดือน มีพื้นที่ถือครองในครัวเรือน เฉลี่ย 9.31 ไร่ ส่วนใหญ่ได้รับข้อมูลข่าวสารด้านการเกษตรจากสื่อต่างๆมากกว่า 20 ครั้งต่อเดือน มีการติดต่อเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรเฉลี่ย 1 ครั้งต่อเดือน มีการเข้าร่วมประเพณีของหมู่บ้านเฉลี่ย 3 ครั้งต่อเดือน ส่วนใหญ่ไม่เคยเข้าร่วมกิจกรรมการเกษตร มีประสบการณ์ในการฝึกอบรมด้านการเกษตรเฉลี่ย 1 ครั้งต่อปี มีประสบการณ์ในการปลูกไม้ผลเฉลี่ย 8 ปี และเกษตรกรมีความรู้ความเข้าใจต่อการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์อยู่ในระดับมากและเกษตรกรมีความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ในระดับปานกลาง ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกร ได้แก่ การได้รับข่าวสารจากสื่อต่างๆ และการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ผลการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคในการผลิตและการตลาดไม้ผลที่เกษตรกรระบุ ได้แก่ ขาดความรู้และเทคนิคใหม่ๆในการผลิตและการแปรรูปในระบบอินทรีย์ คุณภาพผลผลิตต่ำ การคัดเกรดผลผลิตเข้มงวดเกินไปและขาดพันธุ์ไม้ผลชนิดใหม่ๆ มีพืชแข่งขันในพื้นที่มาก ราคาผลผลิตไม่แน่นอน ผลผลิตไม่ได้มาตรฐานไม่มีแหล่งจำหน่าย และเกษตรกรเสนอแนะว่า 1) ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหรือรัฐบาลควรให้การสนับสนุนเกี่ยวกับการปลูกไม้ผลในระบบเกษตรอินทรีย์ 2) ควรมีการนำร่องในพื้นที่ของเกษตรกรที่สนใจ 3) ควรหาไม้ผลชนิดและพันธุ์ใหม่ๆมาส่งเสริม 4) ควรมีการประกันราคาซื้อขายผลผลิตล่วงหน้า และ 5) ควรมีการรับซื้อผลผลิตที่ตกเกรดจากเกษตรกร

คำสำคัญ: ความต้องการ ปัจจัย เกษตรอินทรีย์ การตลาด และ โครงการหลวง

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: rungsun14@hotmail.com

Factors Affecting Needs for Fruit Production Extension under the Organic System of Farmers in NongKaew Royal Project Development Center, Chiang Mai Province

Phutthisun Kruekum^{*}, Phahol Sakkatat, Papob Jeerat and Napharat Vetchasitniraphai

*Faculty of Agricultural Production, Department of Agricultural Development, Extension and Communications,
Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand*

Abstract

The organic system is an important in agricultural production. This study was conducted to investigate: 1) socio-economic attributes of farmers 2) need of fruit production extension under the organic system of the farmers; 3) factors affecting need for fruit production extension under the organic system and 4) encountered problems and suggestions about fruit production extension and fruit market of the farmers in Nong Kaew Royal Development Project Center, Chiang Mai Province. This study in January 2016 – December 2016. The sample group in this study consisted of 130 farmers. A set of questionnaires was used for data collection and analyzed by using descriptive statistics and multiple regression

The results of the study revealed that the most of the respondents were male and 48 years old on average. The household 5 members on average, they had 2 members of schooling age and 3 household workforces on average. Household income 3,277 baht per month on average. Household land holding 9.31 rais on average. The most of them perceived news in agricultural or information through various media more than 20 times per month. They contacted agricultural extension worker once a month and participated in village tradition activities 3 times a month on average. The most of the respondents has never participated in agricultural activities. They had training experience in agricultural once a year on average. The respondents had been growing fruit trees for 8 years on average. It was found they had a high level of knowledge and understanding about organic fruit tree growing. The respondents had a moderate level of needs for fruit tree production extension under the organic system. Factors effecting needs for fruit production extension under the organic system of the respondents included information perception through various media and agricultural extension worker contact with a statistical significances level at 0.01.

The encountered problems of production and fruit market were the respondents have lacked of new knowledge and techniques about production and processing under the organic system, low yield quality, yield price fluctuation, cannot sale yields because lack of standards. The following were suggestions of the respondents: 1) the royal project or government should support on fruit tree growing under the organic system, 2) it should have a project in an area where farmers have interested, 3) it should have the provision of new fruit tree varieties for growing, 4) it should have the assurance of yield price in advance; and 5) it should have a market for the yields lack of standards.

Keywords: Needs, Factors, Organic farming, Marketing and Royal project

* Corresponding author: E-mail: rungsun14@hotmail.com

บทนำ

การพัฒนาการเกษตรนับเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนาประเทศโดยเฉพาะ ในช่วงที่เศรษฐกิจตกต่ำ การเกษตรถือเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยบรรเทาปัญหาเศรษฐกิจ ลดการว่างงาน ทำให้เกษตรกรมีรายได้ และมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น และภาคเกษตรกรรมเป็นภาคการผลิตที่ผูกพันกับวิถีชีวิตของคนไทยมาช้านาน แต่ในระยะเวลากว่า 50 ปี ของการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมที่ผ่านมา การเปลี่ยนแปลงของประเทศไทยไปสู่การพัฒนาแบบก้าวหน้าได้ทำให้สังคมเกษตรกรรมเข้าสู่ความเป็นสังคมอุตสาหกรรมและการผลิตเพื่อการส่งออก รัฐบาลทุกยุคทุกสมัยได้ขึ้นนำเกษตรกรไทยให้ผลิตเพื่อการจำหน่าย การเกษตรของประเทศไทยได้เปลี่ยนแปลงไปสู่การผลิตเพื่อการจำหน่ายมากขึ้น และในขั้นตอนของการผลิตทางการเกษตรมีการนำสารเคมีมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตในปริมาณมากในแต่ละปีและมีการใช้อย่างแพร่หลายทั้งในพื้นที่ราบและพื้นที่สูงของประเทศ ในการทำการเกษตรพบปัญหาเกี่ยวกับสารพิษตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรและส่งผลโดยตรงต่อผู้ผลิต ผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อมซึ่งสารเคมีเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในหมู่เกษตรกร เนื่องจาก หาซื้อได้ง่าย สะดวกและเห็นผลทันที ในขณะที่เดียวกันเกษตรกรส่วนใหญ่ยังมีการใช้อย่างไม่ถูกต้อง ไม่มีความระมัดระวัง และไม่คำนึงถึงผลกระทบที่ตามมา ดังนั้น การทำเกษตรอินทรีย์ ซึ่งเป็นระบบการผลิตที่ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อลดปัญหาที่เกิดจากการใช้สารเคมีทางการเกษตร

ในการเสด็จพระราชดำเนินไปเยี่ยมราษฎรในพื้นที่ต่างๆ ในเขตภาคเหนือของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 ได้ทรงทอดพระเนตรเห็นชาวเขามีสวัสดิภาพที่ดีปฏิบัติกันมา เร่ร้อนอาศัยตามเทือกเขาต่างๆ ซึ่งนับว่าไม่เป็นผลดีต่อตัวเขาเอง การขาดความรู้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำบนพื้นที่สูงมีการทำไร่เลื่อนลอยและปลูกฝิ่นซึ่งเป็นอันตรายต่อประชาคมโลก นอกจากนี้ยังทรงทราบว่าชาวเขามีรายได้จากการจำหน่ายท้อพื้นเมืองที่มีผลขนาดเล็กก็ทรงมีพระราชดำริให้หาวิธีการติดต่อกับพืชพันธุ์ดีจากต่างประเทศเป็นพันธุ์ใหม่ที่มีผลขนาดใหญ่ ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีเพื่อให้เกษตรกรมีรายได้ที่สูงขึ้นไม่แพ้รายได้จากการปลูกฝิ่น (Royal Project, 1995) จากที่ได้ทรงทอดพระเนตรเห็น

สภาพความเป็นจริงถึงความทุกข์ยากของราษฎรบนพื้นที่สูง จึงทรงโปรดเกล้าให้ตั้งโครงการหลวงขึ้นเป็นโครงการส่วนพระองค์เมื่อปี พ.ศ. 2512 และนับเป็นจุดเริ่มต้นของการวิจัยและพัฒนางานไม้ผลบนพื้นที่สูงของประเทศไทย (Kruekum *et al.*, 2017)

มูลนิธิโครงการหลวงได้ดำเนินงานด้านการวิจัยและพัฒนาทางด้านไม้ผลอย่างต่อเนื่องโดยความร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆ ที่ได้ส่งนักวิจัยและนักวิชาการจากหน่วยงานของตนเองในการเข้าร่วมเป็นอาสาสมัครที่ปฏิบัติงานร่วมกับเจ้าหน้าที่ของโครงการหลวง เช่น มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โครงการความช่วยเหลือจากรัฐบาลได้วัน กรมวิชาการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) หน่วยงานภาครัฐและเอกชนอื่นๆ จนทำให้ในปัจจุบันมีชนิดไม้ผลที่มูลนิธิโครงการหลวงได้ทำการส่งเสริมให้กับเกษตรกรในพื้นที่รับผิดชอบปลูกเป็นอาชีพและมีผลผลิตออกจำหน่ายสู่ตลาดอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี นอกจากไม้ผลจะเป็นพืชที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรแล้วยังเป็นพืชปลูกที่สามารถทดแทนป่าไม้ที่ถูกทำลายได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันการพัฒนาการผลิตไม้ผลบนพื้นที่สูงได้ดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง มีการพัฒนาระบบการผลิตให้มีมาตรฐานที่หลากหลายเพื่อให้เป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคโดยเฉพาะการผลิตในระบบอินทรีย์ที่มีความปลอดภัยต่อผู้ผลิต ผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ในขณะที่เดียวกันเกษตรกรก็มีทางเลือกที่หลากหลายมากขึ้นในการเลือกปลูกพืชบนพื้นที่สูง นอกจากนี้ยังพบว่าในหลายพื้นที่มีการตัดต้นไม้ผลทิ้งเพื่อใช้พื้นที่ปลูกพืชผักหรือพืชอายุสั้นอื่นๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงอย่างเห็นได้ชัดเจน

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียว ตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลเมืองนะ อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ เป็นศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแห่งหนึ่งในความรับผิดชอบของมูลนิธิโครงการหลวง ซึ่งเกษตรกรในพื้นที่ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตร ได้แก่ การปลูกไม้ผล พืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับ และ พืชไร่ชนิดต่างๆ โดยเฉพาะการปลูกไม้ผลเขตร้อนและกึ่งร้อน ถือเป็นอาชีพหลักของเกษตรกรในพื้นที่เกษตรกรรมของศูนย์ นอกจากจะปลูกไม้ผลและพืชผักเพื่อการบริโภคในครัวเรือนแล้วยังจำหน่ายเป็นรายได้ อีกทางหนึ่ง การดำเนินงานส่งเสริมการเกษตรของศูนย์พัฒนาโครงการ

หลวงหนองเขียว เพื่อประโยชน์โดยตรงกับเกษตรกรในพื้นที่ส่งเสริมและสนับสนุนให้ครัวเรือนเกษตรกรมีสภาพความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น สามารถเพาะปลูกพืชที่เป็นประโยชน์และตรงตามมาตรฐานการผลิต เหมาะสมกับท้องถิ่นและเป็นรายได้ นอกจากนี้ยังเป็นการลดปัญหาการทำลายสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามจากการดำเนินงานส่งเสริมที่ผ่านมายังพบว่าการผลิตทางการเกษตรในพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรในระบบการผลิตมากและในพื้นที่ของศูนย์ยังไม่มี การส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ การขาดข้อมูลในเรื่องการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกรและเกษตรกรยังขาดการรวมกลุ่มเพื่อวิเคราะห์ปัญหาาร่วมกันในประเด็นต่างๆด้านการเกษตรและการพัฒนาท้องถิ่นของตนเอง ซึ่งสิ่งเหล่านี้นับเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาการเกษตร

การศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกรในพื้นที่ส่งเสริมของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียวจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ โดยการศึกษาจะมุ่งเน้นพิจารณาถึงปัจจัยทางเศรษฐกิจ สังคมและลักษณะพื้นฐานของเกษตรกรผู้ปลูกไม้ผล การศึกษาถึงความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกร นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการผลิตและการตลาดไม้ผลของเกษตรกร อันจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนส่งเสริมการผลิต และการตลาดไม้ผลและพืชอื่นๆ ให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ผลการศึกษาในเบื้องต้นจะได้ข้อมูลประกอบการวางแผนยุทธศาสตร์ในการปรับเปลี่ยนและปรับปรุงวิธีการผลิตพืชบนพื้นที่สูงของเกษตรกร และการวิจัยนี้ยังสามารถใช้เป็นต้นแบบสำหรับการวิจัยประยุกต์เพื่อการพัฒนาการผลิตพืชชนิดอื่นๆ ให้สอดคล้องกับสถานการณ์ด้านการแข่งขันทางการตลาดในปัจจุบัน เพื่อให้หน่วยงานพัฒนามีแนวทางให้ความช่วยเหลือเกษตรกร เพื่อความมั่นคงของเกษตรกรครัวเรือน ชุมชนและลดปัญหาในระดับชาติต่อไป

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้กลุ่มเป้าหมาย คือเกษตรกรในพื้นที่ส่งเสริมของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียว อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ในฤดูกาลผลิตปี พ.ศ. 2558/59 จำนวน 193 คน ซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรคำนวณของ Yamane (1967) โดยการกำหนดระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สูตรคำนวณ คือ

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2}$$

ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 130 คน ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการวิจัยตั้งแต่เดือน มกราคม ถึง ธันวาคม 2559

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิเกี่ยวกับจำนวนเกษตรกรและข้อมูลพื้นฐานต่างๆ จากงานพัฒนาและส่งเสริมการผลิตไม้ผล มูลนิธิโครงการหลวงและเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิเกี่ยวกับลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกร ข้อมูลความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์โดยใช้แบบสอบถามเพื่อสัมภาษณ์เกษตรกรเป็นรายบุคคลจำนวน 130 คน เก็บข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคต่างๆ ของเกษตรกรในการผลิตและการตลาดไม้ผล โดยเก็บข้อมูลโดยตรงจากเกษตรกรและจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียว

ข้อมูลที่รวบรวมได้เมื่อตรวจสอบความถูกต้องแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูปเพื่อการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (Statistical Package of Social: SPSS/PC) สถิติที่ใช้ประกอบด้วย 1) ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจและสังคม อธิบายโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ซึ่งประกอบด้วยสถิติ ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Arithmetic mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) 2) การวิเคราะห์ระดับความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกร โดยใช้ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Arithmetic mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(Standard Deviation) 3) การวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยใช้สถิติการวิเคราะห์พหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระหลายตัวว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางใด การวิเคราะห์ครั้งนี้ใช้ตัวแปรอิสระทั้งหมด 13 ตัวแปร ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา จำนวนสมาชิกในครัวเรือน รายได้รวมในครัวเรือน พื้นที่ถือครองในครัวเรือน การได้รับข่าวสารจากสื่อต่างๆ การติดต่อเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร การเข้าร่วมประเพณีของหมู่บ้าน การเข้าร่วมกิจกรรมการเกษตร ประสบการณ์ฝึกอบรมด้านการเกษตร ประสบการณ์ในการปลูกไม้ผล และความรู้ความเข้าใจของเกษตรกรต่อการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ เพื่อหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม คือ ความต้องการในการส่งเสริมปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ และ 4) การวิเคราะห์ปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะในการผลิตและการตลาดไม้ผลโดยการสัมภาษณ์เกษตรกรและเจ้าหน้าที่ส่งเสริมแล้วนำข้อมูลมาแยกแยะประมวลผลและนำเสนอโดยการบรรยาย

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย อายุเฉลี่ย 48 ปี โดยส่วนใหญ่ไม่ได้เข้ารับการศึกษา มีสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 5 คน มีสมาชิกวัยเรียนในครัวเรือนเฉลี่ย 2 คน มีแรงงานในครัวเรือนเฉลี่ย 3 คน ส่วนใหญ่มีรายได้ในครัวเรือน 1,001-2,000 บาทต่อเดือนหรือเฉลี่ย 3,277 บาทต่อเดือน มีพื้นที่ถือครองในครัวเรือน เฉลี่ย 9.31 ไร่ ส่วนใหญ่ได้รับข่าวสารจากสื่อต่างๆ มากกว่า 20 ครั้งต่อเดือน มีการติดต่อเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรเฉลี่ย 1 ครั้งต่อเดือน มีการเข้าร่วมประเพณีของหมู่บ้านเฉลี่ย 3 ครั้งต่อเดือน ส่วนใหญ่ไม่เคยเข้าร่วมกิจกรรมการเกษตร มีประสบการณ์ในการปลูกไม้ผลเฉลี่ย 8 ปี เกษตรกรส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการฝึกอบรมด้านการเกษตรทั่วไปเฉลี่ย 1 ครั้งต่อปีเกษตรกรมีความรู้ความเข้าใจต่อการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์อยู่ในระดับมาก เฉลี่ย 17.41 คะแนน และเกษตรกรมีความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ในระดับปานกลาง เฉลี่ย 2.03

ดังนั้น เพื่อให้เกษตรกรมีระดับความต้องการส่งเสริมมากขึ้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียวและกรมส่งเสริมการเกษตรที่ปฏิบัติงานในพื้นที่ควรมีการจัดฝึกอบรมเพื่อให้ความรู้แก่เกษตรกรเกี่ยวกับขั้นตอนและวิธีการผลิตไม้ผลและพืชอื่นๆ ในระบบอินทรีย์ และชี้แจงให้เห็นถึงประโยชน์และความสำคัญของการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ เนื่องจากผลการวิจัยพบว่า ความต้องการรับการส่งเสริมอยู่ในระดับปานกลางเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Phuangssiri (2009) ที่ได้ศึกษาความต้องการของเกษตรกรผู้ปลูกผัก ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรีเกี่ยวกับการทำเกษตรอินทรีย์ ซึ่งได้ให้ข้อเสนอแนะว่า เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรควรมีการให้ความรู้แก่เกษตรกรเกี่ยวกับการทำเกษตรอินทรีย์ มีการสนับสนุนเงินทุนและปัจจัยการผลิตให้แก่เกษตรกรและการศึกษาของ Atthalapee (2013) ซึ่งได้ศึกษาเรื่อง ความต้องการของเกษตรกรต่อการดำเนินงานของศูนย์บริการและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร ประจำตำบลนรสิงห์ อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง และได้เสนอแนะว่า ในการดำเนินงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพนั้น ศูนย์ฯควรร่วมมือกับอาสาสมัครเกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องร่วมกันถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีต่างๆให้แก่เกษตรกรอย่างต่อเนื่องมีความทันสมัย เหมาะสมและน่าสนใจ ซึ่งเกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในพื้นที่และการศึกษาของ Thalumpang (2012) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับ ความต้องการของเกษตรกรสวนทุเรียนในการส่งเสริมการผลิตและการตลาดจากภาครัฐ: กรณีศึกษาเกษตรกรอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี ได้ให้ข้อเสนอแนะว่าภาครัฐควรจัดเจ้าหน้าที่ออกหน่วยเคลื่อนที่เพื่อให้ความรู้แก่เกษตรกรเกี่ยวกับวิธีการเก็บเกี่ยวทุเรียนอย่างถูกต้องและเหมาะสม

ผลการวิจัยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละคู่พบว่าไม่มีตัวแปรอิสระคู่ใดที่มีความสัมพันธ์กันสูงกว่า 0.80 ที่จะก่อให้เกิดปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยตัวเอง (Multicollinearity) อันเป็นการละเมิดข้อสมมุติฐานที่กำกับเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยพหุ

Table 1 Socio-economic attributes of the respondents

Independent variables	Dependent variable Needs of farmers		
	b	t	Sig.
1. Sex	.129	1.467	.146
2. Age	.002	.566	.573
3. Education attainment	.096	1.002	.319
4. A number of household members	.024	.975	.332
5. Household incomes	2.406E-005	1.411	.161
6. Household land holding	-.003	-1.196	.235
7. Information perception though various media	.016	4.588**	.000
8. Agricultural worker contact	-.120	-2.889**	.005
9. Participation in village tradition	-.046	-1.425	.157
10. Participation in agricultural activities	.054	.711	.479
11. Training experience	.055	.807	.422
12. Fruit tree growing experience	.007	.929	.355
13. Farmer knowledge and understanding	.023	1.084	.281
Constant	.893		
R²		.358	35.8 %
F		4.114	
Sig. F		.000	

Remark: **statistically significances level at 0.01

จากการวิเคราะห์สรุปได้ว่า การได้รับข่าวสารจากสื่อต่างๆ และการติดต่อเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 คือ ความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกร และการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระทั้งหมด 13 ตัวแปร มีผลต่อความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกรร้อยละ 35.8 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 64.2 มาจากปัจจัยอื่นๆ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะเกษตรกรผู้ปลูกไม้ผลที่มีการได้รับรู้ข้อมูลข่าวสารจากสื่อต่างๆ มาก โดยเฉพาะในปัจจุบันสื่อประเภทต่างๆ สามารถเข้าถึงกลุ่มคนทุกระดับและทุกคนก็เข้าถึงสื่อประเภทต่างๆ ได้ง่ายกว่าในอดีต และกระแสการผลิตทางการเกษตรในระบบเกษตรอินทรีย์กำลังได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ได้มีการให้ความรู้ คำแนะนำและส่งเสริมให้เกษตรกรหันมาสนใจในปลูกพืชในระบบอินทรีย์ โดยเฉพาะสื่อด้านการพัฒนาและส่งเสริมการเกษตรทั้งภาครัฐและเอกชนที่มีการอธิบายถึงประโยชน์ที่เกษตรกรและผู้บริโภคจะได้รับจากการทำการเกษตรในระบบอินทรีย์

ทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคมและประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะทำให้เกษตรกรมีความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์มากกว่าเกษตรกรที่มีการรับรู้ข่าวสารจากสื่อต่างๆ น้อยกว่าหรือไม่เคยได้รับข่าวสารจากสื่อต่างๆ เลย จากการศึกษาของ Suwannarat (2013) ซึ่งได้ศึกษาความต้องการพัฒนาอาชีพของเกษตรกร อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง ผลการศึกษาพบว่า การเปิดรับข่าวสารจากโทรทัศน์และเอกสารสิ่งพิมพ์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับความต้องการอาชีพของเกษตรกรผู้ผลิตมังคุด เงาะ และทุเรียน อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง และจากการศึกษาของ Intasano (2008) ที่ได้ศึกษาความต้องการพัฒนาอาชีพเกษตรกรของเกษตรกรในพื้นที่ตำบลบางปลา อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ พบว่า การเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับโครงการพระดาบสเกษตรกร เป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับความต้องการพัฒนาอาชีพเกษตรกรในด้านรูปแบบการแปรรูปและด้านภูมิปัญญาท้องถิ่น ในขณะที่เดียวกันเมื่อพิจารณาปัจจัยเกี่ยวกับ การติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรของเกษตรกร พบว่า มี

ความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกันหรือมีความสัมพันธ์ในทางลบ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เกษตรกรที่มีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรน้อยครั้งจะให้ความสนใจในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์มากกว่าเกษตรกรที่มีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมากกว่า ทั้งนี้ อาจเนื่องจากเกษตรกรที่มีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมากครั้งหรือมีการติดต่อบ่อยซึ่งปัจจุบันเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในพื้นที่ของศูนย์ฯ ยังเน้นและให้ความสำคัญกับการปลูกพืชผักและพืชล้มลุกอื่นๆ ในระบบการเพาะปลูกที่ดีหรือระบบ GAP ซึ่งยังเน้นการใช้สารเคมีทางการเกษตรในระบบการผลิตอยู่ซึ่งยังมีข้อจำกัดในเรื่องการตลาดในระบบโคเวต้าที่ต้องมีผลผลิตส่งจำหน่ายในระบบอินทรีย์จึงต้องใช้ระยะเวลาที่เหมาะสม นอกจากนี้เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในพื้นที่โดยเฉพาะเจ้าหน้าที่ของบริษัทเอกชนที่จำหน่ายสารเคมีทางการเกษตรยังมีการให้ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการทำการเกษตรที่เน้นการใช้สารเคมีและระบบเกษตรอื่นๆ นอกเหนือจากระบบเกษตรอินทรีย์ที่เห็นผลเร็วและให้ผลตอบแทนที่มากกว่าการทำการเกษตรในระบบอินทรีย์ ดังนั้นเกษตรกรจึงไม่มีความต้องการที่จะได้รับการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ซึ่งตรงข้ามกับเกษตรกรที่มีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรน้อยกว่าซึ่งผลการศึกษาของ Sanbuddee (2015) ได้ศึกษาความต้องการของเกษตรกรต่อการเลี้ยงไก่ไข่เชิงการค้าในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า การติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร มีความสัมพันธ์กับความต้องการความช่วยเหลือของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ไข่ และจากการศึกษาของ Duangta (2015) ที่ได้ศึกษาความต้องการของเกษตรกรเพื่อจัดทำแผนพัฒนาการเกษตรขององค์การบริหารส่วนตำบลนาโป่งอำเภอลำปาง พบว่า การติดต่อกับเจ้าหน้าที่องค์การบริหารส่วนตำบลด้านการเกษตร มีผลต่อความต้องการของเกษตรกรในการจัดทำแผนพัฒนาการเกษตรขององค์การบริหารส่วนตำบลที่ศึกษา

จากผลการวิเคราะห์ถดถอยพบความต้องการในการส่งเสริมปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกร สามารถนำมาพยากรณ์คะแนนความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ซึ่งสามารถสรุปเป็นสมการถดถอยพหุระดับความ

ต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกรได้ ดังนี้

$$Y = a + b_7x_7 + b_8x_8$$

ความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ = 0.893 + 4.588 (การได้รับข้อมูลข่าวสารจากด้านการเกษตรจากสื่อต่างๆ) + -2.889 (การติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร)

สามารถอธิบายได้ว่า ถ้า จำนวนครั้งของการได้รับข่าวสารด้านการเกษตรจากสื่อต่างๆ ของเกษตรกรเปลี่ยนแปลงจากสมการ 1 คะแนน จะทำให้ความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกรเปลี่ยนแปลงไป 4.588 คะแนนโดยเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนจำนวนครั้งของการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรของเกษตรกรเปลี่ยนแปลงไป 1 คะแนน จะทำให้ความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกรเปลี่ยนแปลงไป -2.889 คะแนนโดยเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงข้ามกัน

ผลการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคในการผลิตและการตลาดไม้ผลที่ได้จากการสอบถามเกษตรกร และการประชุมกลุ่มที่เกษตรกรระบุ ได้แก่ 1) เกษตรกรผู้ปลูกไม้ผลขาดความรู้และเทคนิควิธีการใหม่ๆ ในการผลิตและการแปรรูปผลไม้ในระบบอินทรีย์ 2) คุณภาพผลผลิตไม้ผลที่ผลิตได้ยังมีคุณภาพต่ำไม่ผ่านเกรดที่กำหนด 3) การคัดเกรดผลผลิตไม้ผลโดยเจ้าหน้าที่คัดบรรจุของศูนย์เข้มงวดเกินไปทำให้มีผลผลิตไม่ผ่านเกรดจำนวนมาก 4) การส่งเสริมในปัจจุบันยังขาดการนำไม้ผลชนิดและพันธุ์ใหม่ๆ มาให้เกษตรกรเพิ่มเติม 5) มีพืชแข่งขันในพื้นที่จำนวนมากโดยเฉพาะพืชอายุสั้น เช่น พืชผัก พืชไร่และไม้ดอก เป็นต้น 6) ราคาผลผลิตไม้ผลในแต่ละปีไม่แน่นอนซึ่งมีผลต่อรายได้ของเกษตรกร 7) ผลผลิตไม้ผลที่ตกเกรดและไม่ได้ตามมาตรฐานเกรดที่กำหนดเกษตรกรไม่มีแหล่งจำหน่าย และเกษตรกรเสนอแนะว่า 1) ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหรือรัฐบาลควรให้การสนับสนุนเกี่ยวกับการปลูกไม้ผลในระบบเกษตรอินทรีย์ในระยะปรับเปลี่ยน 2) ควรมีการนำร่องการปลูกไม้ผลระบบอินทรีย์ในพื้นที่ของเกษตรกรในรายที่สนใจก่อนขยายสู่เกษตรกรรายอื่นๆ 3) ควรมีการศึกษาวิจัยและหาชนิดและพันธุ์ไม้ผลใหม่ๆ มาส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเพิ่มขึ้น 4) ควรมีการประกันราคาซื้อขายผลผลิตล่วงหน้าของเกษตรกรที่เป็น

สมาชิกโครงการหลวง และ 5) ควรมีการรับซื้อผลผลิตที่ตกเกรดจากเกษตรกรเพิ่มมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกร 2) ศึกษาความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกร 3) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกร และ 4) ศึกษาปัญหา อุปสรรคและข้อเสนอแนะในการส่งเสริมการผลิตและการตลาดไม้ผลของเกษตรกรในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขี้ยวผลการวิจัยสรุปได้ว่าเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย อายุเฉลี่ย 48 ปี ไม่ได้เข้ารับการศึกษ โดยเฉลี่ยเกษตรกรมีประสบการณ์ในการฝึกอบรมด้านการเกษตร 1 ครั้งต่อปี มีสมาชิกในครัวเรือนรวมเฉลี่ย 5 คน มีสมาชิกวัยเรียนในครัวเรือนเฉลี่ย 2 คน มีแรงงานในครัวเรือนเฉลี่ย 3 คน ส่วนใหญ่มีรายได้ในครัวเรือน 1,001-2,000 บาท ต่อเดือน มีพื้นที่ถือครองในครัวเรือน เฉลี่ย 9.31 ไร่ ส่วนใหญ่ได้รับข้อมูลข่าวสารด้านการเกษตรจากสื่อต่างๆ มากกว่า 20 ครั้งต่อเดือน มีการติดต่อเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรเฉลี่ย 1 ครั้งต่อเดือน มีการเข้าร่วมประเพณีของหมู่บ้านเฉลี่ย 3 ครั้งต่อปี ส่วนใหญ่ไม่เคยเข้าร่วมกิจกรรมการเกษตร และมีประสบการณ์ในการปลูกไม้ผลเฉลี่ย 8 ปี เกษตรกรมีความรู้ความเข้าใจต่อการส่งเสริมการปลูกไม้ผลอินทรีย์อยู่ในระดับมาก และเกษตรกรมีความต้องการในการส่งเสริมปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ในระดับปานกลาง ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์ของเกษตรกร ได้แก่ การได้รับข่าวสารด้านการเกษตรจากสื่อต่างๆ ได้แก่ สื่อวิทยุ โทรทัศน์ หนังสือพิมพ์ และเอกสารเผยแพร่ซึ่งมีผลทางบวก และการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรซึ่งมีผลในทางลบ

ผลการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะในการผลิตและการตลาดไม้ผล ปัญหาที่เกษตรกรระบุ ได้แก่ ขาดความรู้และเทคนิคใหม่ๆ ในการผลิตและการแปรรูปในระบบอินทรีย์ คุณภาพผลผลิตต่ำ การคัดเกรดผลผลิตเข้มงวดเกินไปและขาดพันธุ์ไม้ผลชนิดใหม่ๆ มีพืชแข่งขันในพื้นที่มาก ราคาผลผลิตไม่แน่นอน

ผลผลิตไม่ได้มาตรฐานไม่มีแหล่งจำหน่าย และเกษตรกรเสนอแนะว่า โครงการหลวงหรือรัฐบาลควรให้การสนับสนุนเกี่ยวกับการปลูกไม้ผลในระบบเกษตรอินทรีย์ ควรมีการนำร่องในพื้นที่ของเกษตรกรที่สนใจ ควรหาไม้ผลชนิดและพันธุ์ใหม่มาส่งเสริม ควรมีการประกันราคาซื้อผลผลิตล่วงหน้า และควรมีการรับซื้อผลผลิตที่ตกเกรดจากเกษตรกร

ข้อเสนอแนะ

1. ในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์นั้นควรให้ความสำคัญกับเกษตรกรที่มีการได้รับข่าวสารจากสื่อต่างๆ มากกว่าก่อนในระยะเริ่มต้นของการปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตจากระบบที่มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรไปสู่ระบบการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์หลังจากประสบผลสำเร็จในเกษตรกรกลุ่มแรกแล้วหลังจากนั้นเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรหรือเจ้าหน้าที่ส่งเสริมไม้ผลค่อยขยายงานส่งเสริมไปสู่เกษตรกรรายอื่นๆ
2. ในการส่งเสริมการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์นั้นควรให้ความสำคัญกับเกษตรกรในรายใหม่ๆ ที่ยังไม่มี การปลูกไม้ผลหรือพืชผักที่เคยใช้สารเคมีในปริมาณมากมาก่อนหรือเกษตรกรที่เริ่มปลูกใหม่ในระยะเริ่มต้น หรือควรเลือกส่งเสริมการผลิตพืชในระบบอินทรีย์ในพื้นที่ส่งเสริมใหม่และควรเลือกครัวเรือนเกษตรกรต้นแบบก่อนขยายไปสู่การส่งเสริมในพื้นที่อื่นๆ
3. หน่วยงานพัฒนาและส่งเสริมการผลิตไม้ผลมูลนิธิโครงการหลวงควรมีการจัดฝึกอบรมเพื่อให้ความรู้แก่เกษตรกรเกี่ยวกับ กระบวนการและขั้นตอนการผลิตไม้ผลในระบบอินทรีย์ ตลอดจนแนวทางการปฏิบัติการผลิตพืชชนิดอื่นๆในระบบอินทรีย์เพื่อให้ได้ตามมาตรฐานการรับรองผลผลิตในระบบอินทรีย์ รวมทั้งการสร้างเชื่อมั่นในระบบตลาดสินค้าเกษตรอินทรีย์เพื่อให้เป็นทางเลือกของเกษตรกรในพื้นที่ส่งเสริมของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขี้ยวและพื้นที่ใกล้เคียงอื่นๆ ต่อไป
4. หน่วยงานพัฒนาในพื้นที่ควรเน้นย้ำให้เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรของหน่วยงานมีการวางแผนและดำเนินการเข้าหาเกษตรกรให้มากขึ้นทั้งในรูปแบบของการติดตามงานส่งเสริมการเกษตรในพื้นที่แบบเป็นทางการและไม่เป็นทางการเพื่อถ่ายทอดความรู้ด้านการเกษตรให้แก่เกษตรกร รวมทั้งเป็นการให้ความช่วยเหลือเกษตรกรในการ

แก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจากการผลิตทางการเกษตร ตลอดจนการช่วยกระตุ้นให้เกษตรกรหันมาให้ความสำคัญกับการผลิตทางการเกษตรที่เน้นการผลิตในระบบอินทรีย์มากขึ้น

5. ในการเริ่มต้นปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตไม้ผลจากระบบที่มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรไปสู่ระบบการผลิตแบบอินทรีย์ในระยะแรกนั้นหน่วยงานพัฒนาควรเริ่มต้นจากเกษตรกรในรายที่มีความสนใจและต้องการเปลี่ยนวิธีการผลิตก่อนขยายสู่งานส่งเสริมให้แก่เกษตรกรรายอื่นๆและไม่ควรเร่งรัดในช่วงระยะเวลาสั้น นอกจากนี้ควรเน้นการวางแผนการดำเนินงานที่อาศัยผู้นำเกษตรกรกรจัดทำสวนตัวอย่างการปลูกไม้ผลในระบบอินทรีย์และมีการสนับสนุน

ปัจจัยการผลิตให้แก่เกษตรกรตัวอย่างที่มีการปฏิบัติดูแลรักษาสวนผลไม้ในระบบอินทรีย์อย่างถูกต้องและเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหัวหน้าและเจ้าหน้าที่ส่งเสริมไม้ผลและเกษตรกรศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียว ตำบลเมืองนะ อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณนักศึกษา สาขาวิชาการพัฒนาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จ ลุล่วงได้ด้วยดี

References

Atthalapee, R. 2013. Farmers' Needs in the Operations of Agricultural Services and Technology Transfer Centers in Norasing Sub-District, Pa Mok District, Ang Thong Province. Master of Science in Agricultural Extension. Sukhothai Thammathirat University. 158 pp. (in Thai)

Duangta, S. 2015. Farmers' need for agricultural development planning of Napong sub-district administration organization, Thoen district, Lampang province. Master of Science in Agricultural Extension. Maejo University. 197 pp. (in Thai)

Kruekum, P., Piwnyl, K., Thaisamuk, S. and Kankaew, W. 2017. Farmers' Decision Making Process on the Participation in Temperate Fruit Production Extension Project in Royal Project Area. Journal of Agri. Research and Extension 34(3): 53-62. (in Thai)

Intasano, C. 2008. Needs in agricultural occupation development of farmers in Bang Plasub district, Bang Phli district, Samut Prakan province. Master of Science in Agricultural Extension. Kasetsart University. 89 pp. (in Thai)

Phuangsiiri, S. 2009. Needs on Organic Agriculture by Vegetable Farmer in Danmakamtia Subdistrict, Kanchanaburi Province. Master of Science in Agricultural Extension. Sukhothai Thammathirat University. 84 . (in Thai)

Royal Project. 1995. Royal Project Data. Chiang Mai, Thailand. (in Thai)

Sanbuddee, S. 2015. Need for commercial laying hen husbandry of farmers in Chiangmai province. Master of Science in Rural Resources Development. Maejo University. 164 pp. (in Thai)

Suwannarat, T. 2013. Needs on occupational development of farmers in Mueang Rayong district, Rayong province. Master of Science in Agricultural Extension. Kasetsart University. 159. (in Thai)

Thalumpang, S. 2012. The Needs for Government Support of Durian Growers in Production and Marketing: A Case Study of Durian Growers in The Mai District, Chantaburi Province. Master of Public Administration. Burapha University. 98. (in Thai)

Yamane, T. 1967. Statistics: An introductory analysis. Harper and Row: New York. 919 pp.

ความรู้ของผู้บริโภคที่มีต่อผักพื้นบ้านในจังหวัดขอนแก่น

กนกวรรณ ชันธุ์เครือ* และ ปรีชาติ แสงคำเฉลียง

ภาควิชาเศรษฐศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความรู้ของผู้บริโภคที่มีต่อผักพื้นบ้านในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น และ ศึกษาการเปรียบเทียบความรู้เกี่ยวกับผักพื้นบ้านระหว่างกลุ่มผู้บริโภค โดย การศึกษาวิจัยครั้งนี้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคผักพื้นบ้านในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างดังนี้ กลุ่มผู้บริโภคที่ซื้อสินค้าจากตลาดสดบ้านโนนม่วงและตลาดสดบ้านม่วง จำนวน 200 คน และ กลุ่มผู้บริโภคจากงานเกษตรภาคอีสานจังหวัดขอนแก่นประจำปี 2560 จำนวน 200 คน ระหว่างเดือนธันวาคม 2559 –มกราคม 2560 โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูล แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้สถิติการทดสอบค่าทีหรือการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตัวแปร จากผลการศึกษาพบว่า ผู้บริโภคผักพื้นบ้านส่วนใหญ่มีความรู้อยู่ในระดับมาก รองลงมาคือ มีความรู้อยู่ในระดับปานกลาง และมีความรู้อยู่ในระดับน้อย ส่วนทางด้านการศึกษาการเปรียบเทียบความรู้เกี่ยวกับผักพื้นบ้านระหว่างกลุ่มผู้บริโภคพบว่า กลุ่มผู้บริโภคจากตลาดสดโนนม่วงและตลาดสดบ้านม่วงกับกลุ่มผู้บริโภคจากงานเกษตรภาคอีสานมีความรู้เกี่ยวกับผักพื้นบ้านแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: ความรู้ ผู้บริโภค และ ผักพื้นบ้าน

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: vae_narak@hotmail.com

Consumers Knowledge on Local Vegetables in Khon Kaen Province

Kanokwan Khunkrue^{*} and Parichard Sangkumchaliang

*Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University,
Khon Kaen, 40002, Thailand*

Abstract

The purpose of this study was to study consumers' knowledge towards local vegetables in Khon Kaen province. The data collected from 400 respondents through a questionnaire. The availability of local vegetable in fresh market and Khon Kaen agricultural fair were confirmed. The data obtained from the survey were analyzed using descriptive statistic and t-test. The results indicated that 90.70% of consumers have high knowledge of local vegetable, 9.00% and 0.30% of consumer have moderate level and low level, respectively. Moreover, The difference kind of market place. Compared between fresh market and Khon Kaen agricultural fair have effect to knowledge of local vegetable.

Keywords: Knowledge, Consumer and Local vegetables

* Corresponding author: E-mail: vae_narak@hotmail.com

ประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติค่อนข้างมาก เนื่องจากมีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูง ที่ราบลุ่ม และที่ราบสูง ประกอบกับตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ภูมิอากาศในประเทศไทยมีลักษณะเป็นแบบร้อนชื้น จึงเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชหลากหลายชนิด โดยเฉพาะพืชพรรณที่มีคุณค่าและหาได้ง่ายในท้องถิ่นไทย เช่น ผักพื้นบ้าน (Pisantiwatthana, 2013) ผักพื้นบ้าน คือพรรณไม้พื้นเมืองหรือพื้นบ้านที่ชาวบ้านนำมารับประทาน ตามวัฒนธรรมประเพณีการบริโภคของแต่ละท้องถิ่น ซึ่งจะได้มาจากสถานที่ในธรรมชาติ เช่น สวน คลอง บึง ไร่ นา หรือเป็นพืชพรรณที่นำมาปลูกไว้ใกล้บ้าน เพื่อสะดวกในการนำมาบริโภค ซึ่งอาจมีชื่อเฉพาะตามท้องถิ่น นำไปประกอบอาหารตามท้องถิ่น (Chunpayoun, 1998)

เนื่องจากสภาพความเป็นอยู่ที่เปลี่ยนแปลงไปในปัจจุบัน ที่มีความเจริญมากขึ้น จึงทำให้พื้นที่ป่าและแหล่งน้ำถูกทำลายเพื่อการพัฒนาเป็นที่อยู่อาศัย ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลทำให้พืชผักพื้นบ้านมีปริมาณน้อยลง และผักพื้นบ้านบางชนิดได้เลือนหายไปตามกาลเวลาเป็นสาเหตุที่ทำให้เด็กรุ่นใหม่ในปัจจุบันมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับผักพื้นบ้านลดน้อยลงแต่กลับสวนทางกับความต้องการในปัจจุบันซึ่งตลาดผักพื้นบ้านภายในประเทศอาจจะมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น เนื่องมาจากผู้บริโภคหันมาเอาใจใส่สุขภาพ

ผลจากสภาพเศรษฐกิจและสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วทำให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาด้านสุขภาพ เช่น ทำให้เกิดโรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง และโรคอ้วน ซึ่งเกิดจากภาวะโภชนาการเกินอันเนื่องมาจากการบริโภคอาหารที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม เป็นต้น ประชาชนทั่วไปจึงหันกลับมาหาธรรมชาติและวัฒนธรรมท้องถิ่น โดยในส่วนของ การบริโภคผักพื้นบ้านนั้นสามารถลดรายจ่ายและรักษาสุขภาพของผู้บริโภคได้ เนื่องจากผักพื้นบ้านส่วนใหญ่ปราศจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เพราะผักพื้นบ้านส่วนใหญ่เกิดเองตามธรรมชาติ ค่อนข้างแข็งแรงและทนทานต่อแมลง และโรคพืช ดังนั้นการบริโภคผักพื้นบ้านจึงลดโอกาสที่

ร่างกายจะสัมผัสและบริโภคสารเคมีต่างๆ ทำให้เกิดความปลอดภัยในการบริโภค ผักพื้นบ้านจึงเหมาะสำหรับผู้รักสุขภาพ (Chidchanok, 2005) ซึ่งจากการสำรวจการวางขายของผักพื้นบ้านในตลาดสดตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทยในปัจจุบัน พบว่า ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีผักพื้นบ้านจำนวน 130 ชนิด ภาคเหนือ 120 ชนิด และภาคใต้ 158 ชนิด โดยปริมาณและชนิดนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและท้องถิ่นของแต่ละภูมิภาค (Aekkapong, 2008) ในส่วนของเกษตรกรผู้ปลูกผักพื้นบ้าน มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น เนื่องจากผักบางชนิดมีผลตอบแทนที่ค่อนข้างสูง เช่น เกษตรกรตำบลปลายนา อำเภอศรีประจัน จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งแต่เดิมประกอบอาชีพทำนา ได้เปลี่ยนมาปลูกขจรในพื้นที่ 1 ไร่ สามารถสร้างรายได้สูงถึงวันละ 2,000 - 3,000 บาท หรือเกษตรกรที่บ้านบางชัน อำเภอพรหมบุรี จังหวัดสิงห์บุรี ได้หันมาปลูกผักก้นจ่องหรือตาลปัตรฤๅษี ในที่นา จำนวน 1 ไร่ สามารถเพิ่มรายได้ ทำให้มีรายรับโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 11,250 - 12,150 บาทต่อเดือน (Matichon, 2017) ดังนั้นในปัจจุบันเกษตรกรหลายรายจึงได้หันมาพัฒนาการเพาะปลูกผักพื้นบ้านในเชิงพาณิชย์มากขึ้น ประกอบกับหน่วยงานภาครัฐได้มีการส่งเสริมให้เพาะปลูกอย่างแพร่หลาย ในอนาคตผักพื้นบ้านจึงอาจพัฒนาไปเป็นพืชเศรษฐกิจได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะการศึกษาความรู้ของผู้บริโภคที่มีต่อผักพื้นบ้านในจังหวัดขอนแก่น โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสอบถามประชาชนที่บริโภคผักพื้นบ้านในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ทั้งนี้เนื่องมาจากจังหวัดขอนแก่นมีความหลากหลายทางวัฒนธรรม มีลักษณะทางเศรษฐกิจที่ดี ซึ่งเกิดจากความได้เปรียบเชิงภูมิศาสตร์ การเป็นศูนย์กลางการขนส่งของภาคอีสาน และตั้งอยู่ในเส้นทางระเบียงเศรษฐกิจแนวตะวันออก-ตะวันตก (East-West Economic Corridor; EWEC) และเส้นทางระเบียงเศรษฐกิจแนวเหนือ-ใต้ (North-South Economic Corridor; NSEC) ทั้งนี้เพื่อเป็นการส่งเสริมให้ประชาชนทั่วไปทราบถึงคุณประโยชน์ของผักพื้นบ้านในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย เพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตและบริโภคผักพื้นบ้านต่อไปซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. เพื่อศึกษาระดับความรู้ของผู้บริโภคผักพื้นบ้านในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
2. เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบความรู้เกี่ยวกับผักพื้นบ้านระหว่างกลุ่มผู้บริโภค

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษากลุ่มประชากรในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งไม่ทราบจำนวนของประชากรที่แน่นอน จึงใช้วิธีการคำนวณตัวอย่างจากสูตรที่ไม่ทราบจำนวนของประชากรที่แน่นอน (Sinjaru, 2014)

สูตร
$$n = \frac{P(1-P) Z^2}{e^2}$$

เมื่อ n = จำนวนตัวอย่าง
 P = สัดส่วนประชากร (0.50)
 e = ค่าความคลาดเคลื่อน (0.05)
 Z = ค่าระดับความเชื่อมั่น (กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95%=1.96)

แทนค่า
$$n = \frac{(0.50)(1-0.50)(1.96)^2}{(0.05)^2}$$

n = 384.16

2. การสุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างตามความสะดวก (Convenience sampling) ซึ่งเป็นการเลือกตัวอย่างเพื่อให้ได้จำนวนตามต้องการโดยใช้หลักการสุ่มตัวอย่างแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (non-probability sample) โดยกลุ่มตัวอย่างถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้บริโภคจากตลาดสด 200 ตัวอย่าง ซึ่งสถานที่การเก็บตัวอย่างได้แก่ ตลาดสดบ้านโนนม่วงและตลาดสดบ้านม่วง และกลุ่มผู้บริโภคจากงานเกษตรภาคอีสาน จำนวน 200 ตัวอย่าง

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ แบบสอบถาม (Questionnaire) ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น โดยทำการรวบรวม

ข้อมูลจากทฤษฎี แนวคิด และได้นำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาปรับใช้ให้เข้ากับงานวิจัยนี้

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) การศึกษาโดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการค้นคว้า ศึกษา รวบรวม เช่น บทความ วิทยานิพนธ์ งานวิจัย รายงาน เอกสารของหน่วยงานต่างๆทั้งของภาครัฐและเอกชน สืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต ที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับความรู้ของผู้บริโภคต่อผักพื้นบ้าน

2) ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) ซึ่งได้จากการแบบสอบถามที่ตอบโดยกลุ่มตัวอย่างในเรื่องความรู้ของผู้บริโภคต่อผักพื้นบ้านของผู้บริโภคในอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่นดังนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่างมาแล้วทำการประมวลผลและแปลความหมายด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

5. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) เวอร์ชัน 17.0 ในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล ดังนี้

1) การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา

ส่วนที่ 1 วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ต่อเดือน และปัญหาสุขภาพ โดยการหาค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าร้อยละ และค่าเฉลี่ย

ส่วนที่ 2 ความรู้ของผู้บริโภคเกี่ยวกับผักพื้นบ้าน โดยการหาค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าร้อยละ และค่าเฉลี่ย) เพื่อแบ่งระดับความรู้

2) การวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมาน สถิติเชิงอนุมานที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ด้วย การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม ด้วยสถิติ t-test (Independent Samples t-test)

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad df = n_1 + n_2 - 2$$

เมื่อ

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค

ผู้บริโภคในตลาดสดบ้านโนนม่วง จำนวน 100 คน ผู้บริโภคในตลาดสดบ้านม่วง จำนวน 100 คน กับผู้บริโภคจากงานเกษตรภาคอีสาน จำนวน 200 คน ผลการวิเคราะห์ ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภคมี ดังนี้ จากผลการศึกษาพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 65.75 ส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 21 - 30 ปี คิดเป็นร้อยละ 35.50 มีสถานภาพโสด คิดเป็นร้อยละ 55.25 มีระดับการศึกษาปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 42.50 ด้านอาชีพ พบว่าเป็นนักเรียน/นักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 38.25 มีอาชีพ/ธุรกิจส่วนตัว คิดเป็นร้อยละ 26.50 มีรายได้ต่ำกว่า 15,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 61.50 และพบว่า กลุ่มตัวอย่างไม่มีปัญหา ด้านสุขภาพ คิดเป็นร้อยละ 59.25 และมีปัญหาสุขภาพ (เช่น เบาหวาน ความดัน เป็นต้น) คิดเป็นร้อยละ 40.75

2. ความรู้เกี่ยวกับผักพื้นบ้านของผู้บริโภค

การทดสอบความรู้เบื้องต้นของผู้บริโภคเกี่ยวกับผักพื้นบ้าน มีลักษณะเป็นคำถามแบบเลือกตอบ “ใช่ และ ไม่ใช่” (Dichotomous question) จำนวน 10 ข้อ ซึ่งจะให้ ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกตอบเพียงคำตอบเดียวเท่านั้น ผล การศึกษาพบว่า จากจำนวนผู้บริโภคทั้งสิ้น 400 คน มี ผู้บริโภคที่ไม่รู้จักผักพื้นบ้าน จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 2.75 เมื่อพิจารณาความรู้เป็นรายข้อพบว่า มีรายละเอียด ดังนี้ ความรู้เบื้องต้นของผู้บริโภคเกี่ยวกับผักพื้นบ้าน ผล การศึกษาพบว่า ข้อคำถามที่มีผู้ตอบถูกมากที่สุด คือ “ข้อที่ 4 ผักพื้นบ้านเป็นผักที่ทำได้ง่ายในท้องถิ่น” จำนวน 382 คน คิดเป็นร้อยละ 98.20 รองลงมาคือ “ข้อที่ 7 ใบยอ ยอด กระถินเป็นผักพื้นบ้าน” จำนวน 375 คน คิดเป็นร้อยละ

96.40 และ “ข้อที่ 1 ผักพื้นบ้าน คือ ผักที่เกิดตามแหล่ง ธรรมชาติจากสวน ไร่ นา และข้อที่ 6 ผักพื้นบ้านสามารถ พัฒนาไปเป็นผักเศรษฐกิจได้” เท่ากัน จำนวน 370 คน คิด เป็นร้อยละ 95.12 ตามลำดับ ส่วนข้อคำถามที่มีผู้ตอบผิด มากที่สุด คือ “ข้อที่ 3 ผักพื้นบ้านบางชนิดสามารถเป็นพืช ตัดแต่งพันธุกรรมได้ (GMO)” จำนวน 222 คน คิดเป็นร้อยละ 57.07 รองลงมาคือ “ข้อที่ 5 ผักคะน้า กวางตุ้ง ไม่ถือว่าเป็น ผักพื้นบ้าน” จำนวน 177 คน คิดเป็นร้อยละ 45.50 และ “ข้อที่ 8 ดอกโสน ใบย่านาง ไม่เป็นผักพื้นบ้าน” จำนวน 133 คน คิดเป็นร้อยละ 34.19 ตามลำดับ (Table 1)

จากผลการศึกษาดังกล่าว อาจเป็นผลสืบ เนื่องมาจากกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้บริโภคที่บริโภคผักพื้นบ้าน เป็นประจำและมีการบริโภคผักพื้นบ้านชนิดเดิมๆ ซ้ำๆ อยู่ แล้ว จึงทำให้มีความรู้ความเข้าใจในชนิดและลักษณะของผัก พื้นบ้านที่บริโภคอยู่เป็นอย่างดี เหตุผลสำคัญอีกประการ หนึ่งคือ ผู้บริโภคผักพื้นบ้านดังกล่าวได้รับการปลูกฝังและ ถ่ายทอดวัฒนธรรมการบริโภคผักพื้นบ้านมาจากผู้เฒ่าผู้แก่ ในชุมชนหรือบุคคลในครอบครัว ซึ่งเป็นวิถีชีวิตของคนภาค อีสานที่สืบทอดกันมา ทำให้ผู้บริโภคมีความรู้ความเข้าใจ เกี่ยวกับผักพื้นบ้าน

3. ระดับความรู้เกี่ยวกับผักพื้นบ้านของผู้บริโภค

ผลการศึกษาพบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความรู้อยู่ใน ระดับมาก จำนวน 353 คน คิดเป็นร้อยละ 90.70 รองลงมา คือ มีความรู้ในระดับปานกลาง จำนวน 35 คน คิดเป็น ร้อยละ 9.00 และมีความรู้ในระดับน้อย จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 0.30 ตามลำดับ (Table 2) จากผลการศึกษา นี้ อาจมีเหตุผลเนื่องมาจากความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี การติดต่อสื่อสาร ทำให้ผู้บริโภคในปัจจุบันสามารถเข้าถึง ข้อมูลข่าวสารต่างๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ประกอบกับกระแสนิยมการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ ทำให้ผักพื้นบ้านซึ่งส่วนใหญ่ถือเป็นผักปลอดภัยหรือผัก อินทรีย์ได้รับความสนใจจากผู้บริโภคในการค้นคว้าหาข้อมูล เพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจเลือกบริโภค ทั้งนี้ ในปี 2559 ธุรกิจด้านเกษตรอินทรีย์ของไทยได้มีการขยายตัว อย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2558 มีการขยายตัวสูงถึงร้อยละ 21.00 และมีการขยายตัวในกลุ่มพืชผสมผสานถึงร้อยละ 18.70

Table 1 Basic knowledge of consumers about local vegetables

Question	Answer			
	True	Percentage	False	Percentage
1. Local vegetable is easy to find in local	382	98.20	7	1.80
2. Great morinda and Horse tamarind is local vegetable	375	96.40	14	3.60
3. Local vegetable born in natural resource	370	95.12	19	4.88
4. Local vegetable can develop commercial vegetable	370	95.12	19	4.88
5. Spinach and Paco Fern is local vegetable	369	94.86	20	5.14
6. Vietnamese coriander, Water clover and Finger grass is local vegetable	369	94.86	20	5.14
7. Spring onion and Chinese Kale is local vegetable	288	74.04	101	25.96
8. Sesbania flower and Bamboo grass isn't local vegetable	256	65.81	133	34.19
9. Chinese Kale and bog choy isn't local vegetable	212	54.50	177	45.50
10. Some local vegetable is GMO	167	42.93	222	57.07

Table 2 Levels of consumers knowledge and to study population

Level of Knowledge	Population	Percentage
1. Low	1	0.30
2. Middle	35	9.00
3. High	353	90.70
Total	389	100.00

*11 population did not know about local vegetables

4. การเปรียบเทียบความรู้เกี่ยวกับผักพื้นบ้านระหว่างกลุ่มผู้บริโภค

จาก Table 3 แสดงถึงการเปรียบเทียบความรู้เกี่ยวกับผักพื้นบ้านระหว่างกลุ่มผู้บริโภคจากตลาดสดบ้านโนนม่วงและตลาดสดบ้านม่วงกับกลุ่มผู้บริโภคจากงานเกษตรภาคอีสาน ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มผู้บริโภคจากตลาดสดโนนม่วงและตลาดสดบ้านม่วงกับกลุ่มผู้บริโภคจากงานเกษตรภาคอีสานมีความรู้เกี่ยวกับผักพื้นบ้านแตกต่างกัน (t = 2.463 และ p-value = 0.014) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Table 3 Comparison of knowledge about local vegetables between consumers

Sample	n	Mean (Score)	S.D.	t	p-value
Fresh Market	196	8.27	1.21	2.463	0.014*
Agriculture Fair	193	7.96	1.24		

*Significant difference 0.05 (t = 2.463 and p-value = 0.014)

ทั้งนี้อาจมีเหตุผลเนื่องมาจากผู้บริโภคจากตลาดสดมีการบริโภคเป็นประจำ และอาจได้รับการถ่ายทอดความรู้และ/หรือแลกเปลี่ยนเรียนรู้จากพ่อค้าแม่ค้าที่ขายผักพื้นบ้าน จึงทำให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับผักพื้นบ้านสูงกว่าผู้บริโภคที่มาเที่ยวชมงานวันเกษตรภาคอีสาน เหตุผลอีกประการหนึ่งคือ เมื่อพิจารณาด้านอายุของผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคจากกลุ่มตลาดสดมีอายุเฉลี่ยสูงกว่าผู้บริโภคที่มาเที่ยวชมงานวันเกษตรภาคอีสาน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสบการณ์และความรู้เกี่ยวกับผักพื้นบ้านที่ได้มีการสั่งสมมาเป็นเวลานาน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า ข้อคำถามที่มีผู้ตอบถูกมากที่สุด คือ “ข้อที่ 4 ผักพื้นบ้านสามารถพัฒนาไปเป็นผักเศรษฐกิจได้” (ร้อยละ 98.20) รองลงมาคือ “ข้อที่ 7 ใโย

ยอดกระถินเป็นผักพื้นบ้าน” และ “ข้อที่ 1 ผักพื้นบ้าน คือ ผักที่เกิดตามแหล่งธรรมชาติจากสวน ไร่ นา และข้อที่ 6 ผักพื้นบ้านสามารถพัฒนาไปเป็นผักเศรษฐกิจ (ร้อยละ 95.12) ตามลำดับ ส่วนข้อคำถามที่มีผู้ตอบผิดมากที่สุด คือ “ข้อที่ 3 ผักพื้นบ้านบางชนิดสามารถเป็นพืชตัดแต่งพันธุกรรมได้ (GMO)” (ร้อยละ 57.07) รองลงมาคือ “ข้อที่ 5 ผักคะน้า กวางตุ้ง ไม่ถือว่าเป็นผักพื้นบ้าน” (ร้อยละ 45.50) และ “ข้อที่ 8 ดอกโสน ใบย่านาง ไม่เป็นผักพื้นบ้าน” (ร้อยละ 34.19) ตามลำดับ (Table 1)

จากผลการวิจัยพบว่าระดับความรู้ของ ผู้บริโภคผักพื้นบ้านส่วนใหญ่มีความรู้อยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 90.70) รองลงมาคือ มีความรู้ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 9.00) และมีความรู้ในระดับน้อย (ร้อยละ 0.30) ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบความรู้ของกลุ่มผู้บริโภคผักพื้นบ้าน พบว่า กลุ่มผู้บริโภคจากตลาดสดบ้านโนนม่วงและตลาดสดบ้านม่วงกับกลุ่มผู้บริโภคที่มาเที่ยวชมงานเกษตรภาคอีสานมีความรู้เกี่ยวกับผักพื้นบ้านแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ข้อเสนอแนะ

1. ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่ายังมีผู้บริโภคอีกจำนวนหนึ่งที่ยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับผักพื้นบ้าน เช่น ผักพื้นบ้านคืออะไร

ผักชนิดใดคือผักพื้นบ้าน ดังนั้นหน่วยงานภาครัฐหรือผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ควรมีการส่งเสริมให้ความรู้เพิ่มเติมแก่ผู้บริโภคเหล่านี้ เช่น การอบรมเกี่ยวกับความรู้การบริโภคผักพื้นบ้านด้านต่างๆ เช่น ด้านสรรพคุณทางยา ด้านคุณค่าทางโภชนาการ เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้ผู้บริโภคมีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง และเป็นช่องทางในการส่งเสริมให้ประชาชนหันมาทำการปลูกและบริโภคผักพื้นบ้านมากขึ้น

2. เนื่องจากผู้บริโภคมีกระแสนิยมบริโภคผักพื้นบ้านเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงควรดำเนินการฟื้นฟูและอนุรักษ์ชนิดของผักพื้นบ้านประจำท้องถิ่นไว้ ซึ่งอาจดำเนินการในรูปแบบการส่งเสริมการปลูกโดยการผลิตและแจกจ่ายเมล็ดพันธุ์ หรือการสร้างตลาดผักพื้นบ้านให้แก่เกษตรกรที่สนใจเข้าร่วมโครงการ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร. ปรีชาติ แสงคำเฉลียง อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาอิสระ และ ดร. เยาวรัตน์ ศรีวรานันท์ ที่ได้กรุณาให้แนวคิดและแนะนำแนวทางการศึกษาพร้อมทั้งคำแนะนำทางด้านอื่นๆ ขอขอบพระคุณผู้บริโภคในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น สำหรับความร่วมมือในการให้ สัมภาษณ์แก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี

References

Chidchanok. 2005. Thai Local Vegetables Herbal anti-disease. Pailin Book. Bangkok.160 pp. (in Thai)

Chunpayoun, M. 1998. Vegetable. Thaitouch. Bangkok.164 pp. (in Thai)

Sinjaru, T. 2014. Statistical research and analysis with SPSS and AMOS. 15th edition.SR Printing Math Produce. Bangkok. 570 pp. (in Thai)

Aekkapong, B. 2008. Potential of local commercial vegetables production in Ubon Ratchathani Province. Bangkok. (in Thai)

Pisantawatthana, Y. 2013 .Local vegetable: The Wisdom and Heritage of the Thais Missed, Documentary of the Seminar and National Vegetable Garden in the Thai Way, Bureau of Agricultural Museum and Culture, Kasetsart University. Bangkok. (in Thai)

Matichon. 2017. Local vegetable [online]. [Accessed January 2, 2017]. Available from: URL: <http://matichon.co.th>.

การพัฒนาชุมชนต้นแบบตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงระดับมั่งมี ศรีสุข:
กรณีศึกษาบ้านหนองเผือก อำเภอลำดวน จังหวัดมหาสารคาม

ธัญชนก ปะวะละ *

สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ตำบลตลาด อำเภอมือเมือง
จังหวัดมหาสารคาม 44000

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed methods research) ดังนี้ 1) การวิจัยเชิงปริมาณโดยใช้แบบสอบถามเพื่อศึกษาการดำเนินชีวิตตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงของครัวเรือนบ้านหนองเผือก อำเภอลำดวน จังหวัดมหาสารคาม ใช้กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวน 244 คน และ 2) การวิจัยเชิงคุณภาพโดยใช้กระบวนการวิจัยการประเมินสถานะชุมชนแบบมีส่วนร่วม (Participatory rural appraisal-PRA) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดำเนินงานพัฒนาชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของชุมชนบ้านหนองเผือก กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยที่มีความเชี่ยวชาญ (Key informant: KI) จำนวน 30 คน และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเป็นหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงต้นแบบระดับ มั่งมี ศรีสุขโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเชิงอนุมาน (Inferential statistics) ได้แก่ การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient (r) และการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple regression analysis) การเลือกเป็นพื้นที่วิจัยเนื่องจากหมู่บ้านหนองเผือกมีความโดดเด่น โดยได้รับรางวัลหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงระดับ 3 “มั่งมี ศรีสุข” ผลการวิจัยพบว่าครัวเรือนนำปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาใช้ในการดำเนินชีวิต (3 ช่วง 2 เดือน) ทุกด้านอยู่ในระดับมาก โดยมีด้านที่มีการนำมาปฏิบัติมากที่สุด คือ ด้านความมีเหตุผล ($\bar{X} = 4.22$) ประชาชนมีส่วนร่วมในการสืบทอดประเพณีของชุมชน การดำเนินชีวิตและปฏิบัติตามหลักธรรมทางศาสนา การใช้สติปัญญาและเหตุผลไตร่ตรองหาสาเหตุและแก้ปัญหาต่าง ๆ ด้วยความสามารถไม่ถัววาม คิดแบบรอบครอบมีเมตตาและช่วยเหลือผู้อื่นเสมอด้านการมีภูมิคุ้มกัน ($\bar{X} = 4.13$) ประชาชนในชุมชนมีความเชื่อที่ว่า การ “ทำดีได้ดี ทำชั่วได้ชั่ว” และจะทำความดีต่อไปเพื่อผลดีต่อตนเองและครอบครัว ประชาชนมีเงินประกันชีวิตหรือเงินฝากบัญชีด้วยหนี้สินปัจจุบันเป็นบวก การใช้หลักประชาธิปไตยในการอยู่ร่วมกัน การมีเงินออมเพื่อเป็นทุนสำรองยามฉุกเฉิน และด้านคุณธรรม ($\bar{X} = 4.02$) สร้างความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินและพยายามหลีกเลี่ยงอบายมุขทั้งปวง ผลการดำเนินงานหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง ระดับมั่งมี ศรีสุข สามารถแยกเป็นรายด้าน ผลการดำเนินงานด้านการออม อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.06$) โดยประชาชนมีช่องทางในการออม เช่น เป็นสมาชิกกลุ่มออมทรัพย์ฯ กลุ่มสัจจะกองทุนหมู่บ้านหรือธนาคาร รongลงมา คือ ด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ($\bar{X} = 4.05$) การที่ประชาชนให้ความสำคัญในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่าและประหยัด ประชาชนเข้าร่วมในกิจกรรมอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะอย่างถูกวิธี และด้านความเอื้ออาทร ($\bar{X} = 4.04$) ประชาชนมีส่วนร่วมให้การช่วยเหลือกิจกรรมของเพื่อนบ้าน เช่น งานมงคลสมรส งานศพ ตลอดจนงานที่ราชการจัดขึ้นถือว่าเป็นการสร้างสามัคคีอย่างหนึ่ง ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ชุมชนประสบความสำเร็จเป็นหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงระดับ มั่งมี ศรีสุขมี 8 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านผู้นำหมู่บ้าน ด้านสังคมและวัฒนธรรม ด้านการมีส่วนร่วม ด้านเศรษฐกิจ ด้านทรัพยากรธรรมชาติ ด้านจิตใจ และด้านเทคโนโลยี โดยภาพรวมทั้ง 8 ปัจจัย มีความสัมพันธ์กับความสำเร็จในการเป็นหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงต้นแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และผลกระทบ พบว่า การนำหลัก 3 ช่วง 2 เดือน ด้านความรู้ไปปฏิบัติมีความสัมพันธ์และผลกระทบการดำเนินงานทางบวก ดังนั้นเพื่อให้ผลการดำเนินงานของชุมชนดีขึ้น จึงควรให้ความสำคัญกับการให้ความรู้แก่ประชาชนในชุมชน

คำสำคัญ: ชุมชนต้นแบบ และ เศรษฐกิจพอเพียง

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: aui.Thanyachanok@gmail.com

The Development of a Community Model According to The Philosophy of Sufficiency Economy, Level Prosperous: A case Study of Nong Phueak Village, Wapi Pathum District, Maha Sarakham Province

Thanyachanok Pawala^{*}

*Program in Business Economics, Faculty of Management Science, Rajabhat Maha Sarakham University,
Maha Sarakham, 44000, Thailand*

Abstract

This research of mixed methods research as the following 1) Quantitative research was conducted by using the questionnaire to study the sufficiency economy philosophy of the household of Ban Nong Phueak, Wapi Pathum, Maha Sarakham, The sampling of about 224 persons and 2) Qualitative research using participatory rural appraisal (PRA) research, The purpose are study community development in accordance with sufficiency economy philosophy, The targeted to 30 key informants (KI) with a study of the factors affecting the sufficiency economy village of rich and happy. Statistics for analyzing data include Pearson correlation coefficient (r) and multiple regression analysis. The selection is a research area because the Ban Nong Phueak is outstanding. The award of sufficiency economy village Level 3 "Rich and Happy". The results followed; the community context and lifestyle following the philosophy of sufficiency economy, (3 Pillars - 2 conditions) and all aspects are in high level. The most practical aspect is the rationality ($\bar{X} = 4.22$). People are involved in the traditions of the community, living and practicing the principles of religion, using intellect and reason to climb to find the cause and solve problems. Think around, have compassion, and always help others. Immunity ($\bar{X} = 4.13$), people in the community have the belief that "What goes around, comes around" and will continue to do good for themselves and their families. People have money, life insurance or money. Less than current liabilities are positive. Democracy in coexistence, saving money for emergency and morale ($\bar{X} = 4.02$) to safety in life and property. And try to avoid all the moves. The performance of sufficiency economy villages at happy can be separated into the savings performance in high level ($\bar{X} = 4.06$) People have savings channels, such as members of the savings group. Group trust fund village or bank. Secondly, the natural resources and environment ($\bar{X} = 4.05$). The people value the use of natural resources in a cost effective and economical way. People participate in the conservation of natural resources and the environment, participation in waste management properly. And the generosity ($\bar{X} = 4.04$), people participate in the activities of their neighbors, such as wedding ceremony, funeral service, and the government service is considered to create a harmony. The important factor that makes the community successful is the sufficiency economy village of rich and happy. There are 8 factors: the village leaders, society and culture, participation, economic, natural resources, psychological and technology, The overall, 8 factors correlated with success in becoming efficient village economy statistically significant at the 0.01 level. The analysis of relationships and impacts, it was found that the implementation of the 3-loop principle 2, knowledge-based conditions, had a positive relationship and positive impact. So, to improve the performance of the community. Should focus on educating people in the community.

Keywords: Community model and Sufficient economy

*Corresponding author: E-mail: aui.Thanyachanok@gmail.com

บทนำ

ในช่วงเวลาที่ประเทศไทยต้องเผชิญกับสถานการณ์ทางเศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วและส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงจากกระแสโลกาภิวัตน์และระบบเศรษฐกิจแบบทุนนิยม สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) ได้ให้ความสำคัญกับการมีส่วนร่วมของภาคีทุกภาคส่วน ทั้งในระดับครัวเรือน ชุมชน ระดับภาค และระดับประเทศในทุกระดับของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติเพื่อร่วมกันกำหนดวิสัยทัศน์และทิศทางการพัฒนาประเทศให้สังคมอยู่ร่วมกันอย่างมีความสุข ด้วยความเสมอภาคเป็นธรรมและมีภูมิคุ้มกันต่อการเปลี่ยนแปลงตั้งนั้นการพัฒนาประเทศในระยะแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 จึงเป็นการนำภูมิคุ้มกันที่มีอยู่ให้บังเกิดผลในทางปฏิบัติได้อย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาเพื่อประโยชน์สุขอย่างยั่งยืนของสังคมไทยตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง (Office of the National Economics and Social Development Board, 2011)

เศรษฐกิจพอเพียงเป็นในแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชการที่ 9 ที่พระราชทานเป็นปรัชญาในการดำรงชีวิตที่ยึดหลักความพอเหมาะ พอดีมีเหตุมีผลและไม่ประมาท ให้คนไทยนำไปปฏิบัติตั้งแต่ปี 2517 จากนั้นความหมายของเศรษฐกิจพอเพียงได้มีนักวิชาการและหน่วยงานนำมาอธิบายและขยายความหมายเพื่อให้เกิดความชัดเจนและเข้าใจง่ายขึ้น สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติวิเคราะห์เชิงความหมายของเศรษฐกิจพอเพียงไว้ว่า ปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงเป็นปรัชญาที่ชี้แนะการดำรงอยู่และการปฏิบัติตนในทางที่ควรจะเป็น โดยมีพื้นฐานมาจากวิถีชีวิตดั้งเดิมของคนในสังคมไทยที่มองโลกเชิงระบบที่มีลักษณะพลวัตร และมุ่งเน้นการรอดพ้นจากภัยและวิกฤติ เพื่อความมั่นคงและยั่งยืนของการพัฒนาโดยมีแนวคิดทางสายกลางเป็นหลักแนวคิดที่สำคัญ นอกจากนี้พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชได้ทรงให้นิยามความพอเพียงไว้ว่าจะต้องประกอบด้วย 3 คุณลักษณะ คือ ความพอประมาณ ความมีเหตุผล และการมีภูมิคุ้มกันในตัวที่ดี หากกิจกรรมใดขาดคุณลักษณะใดก็ไม่อาจเรียกได้ว่าเป็น

ความพอเพียง แต่ทว่า คุณลักษณะ 3 ประการนี้ (3 ท่วง) จะเกิดขึ้นได้ก็ต้องอาศัยเงื่อนไขหลัก 2 ประการ (2 เงื่อนไข) นั่นคือเงื่อนไขความรู้หลักวิชาการต่าง ๆ มาเชื่อมโยงและสัมพันธ์กับแนวทางการดำเนินชีวิตที่พอเพียง โดยเน้นความอดทน ความพากเพียร สติปัญญา และความรอบคอบ (Ministry of the Interior, 2007)

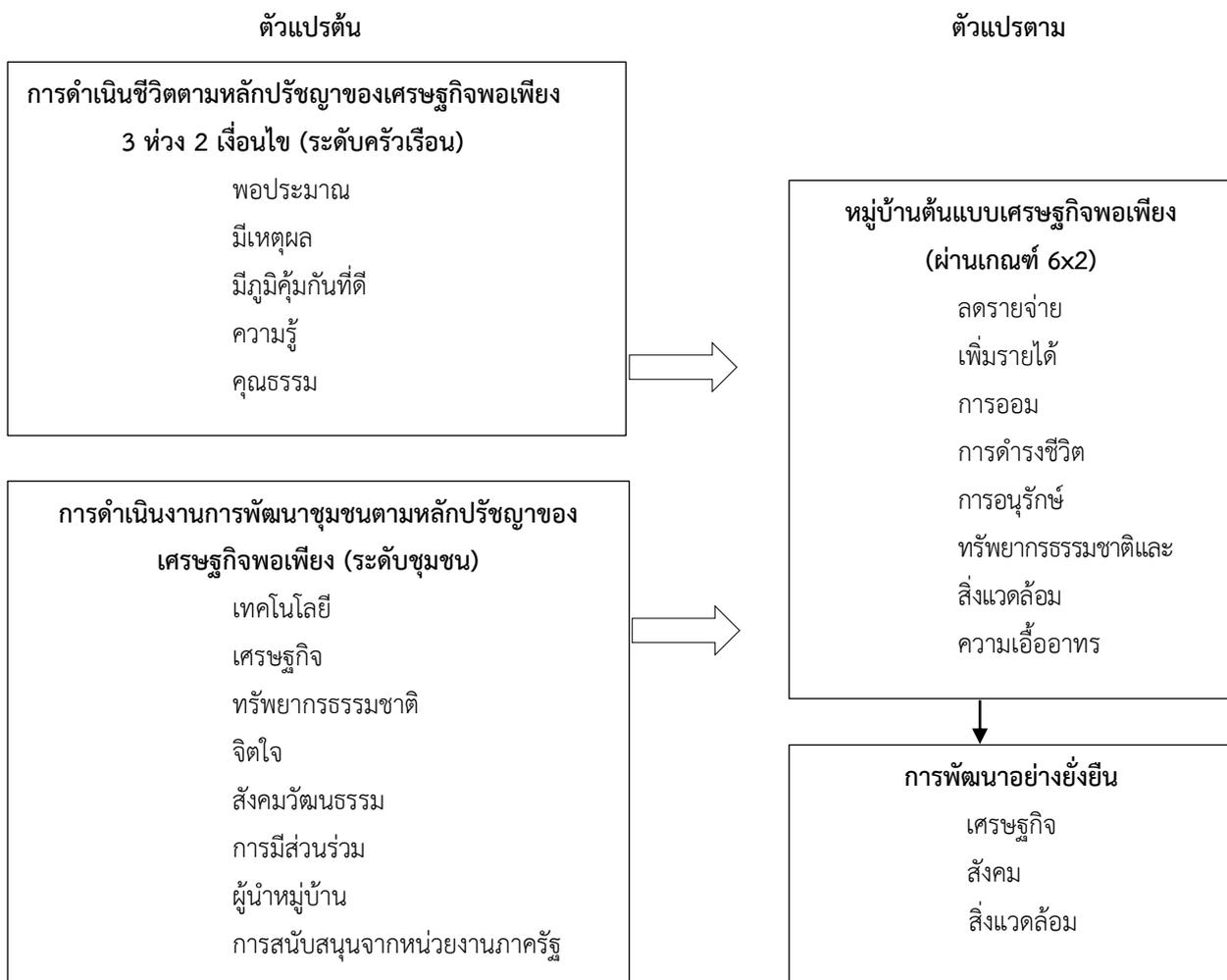
จากข้อมูลการประชุมเชิงปฏิบัติการ การกำหนดแนวทางขยายผลการน้อมนำปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงมาใช้ในการดำเนินชีวิตของสำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัดมหาสารคาม เมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2557 ณ ห้องคอนเวนชันฮอลล์ โรงแรมวสุ อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม พบประเด็นปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ คือ ประชาชนขาดความรู้ความเข้าใจปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ไม่เชื่อมั่นในหลักการของเศรษฐกิจพอเพียง ไม่นำสู่การปฏิบัติ ผู้นำชุมชนไม่เข้มแข็ง ไม่จริงจังในการขับเคลื่อน คนเห็นแก่ประโยชน์ส่วนตัว ขาดการรวมกลุ่มช่วยเหลือกัน ไม่มีจิตอาสา ไม่เสียสละ ขาดต้นแบบที่ชัดเจน ไม่มีการบูรณาการเชื่อมโยงเครือข่าย (Provincial Community Development Office of Maha Sarakham, 2014)

การนำปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาปรับใช้กับการดำเนินชีวิตของประชาชน โดยประชาชนมีความสนใจในการแก้ไขปัญหาทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ผู้นำชุมชนเล็งเห็นความสำคัญในการพัฒนาชุมชน และสามารถนำมาเป็นชุมชนต้นแบบด้านการนำปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาดำเนินชีวิตประจำวันจนประสบความสำเร็จ และผ่านการประเมินตัวชี้วัดของกระทรวงมหาดไทย ซึ่งมี 3 ระดับ คือ พออยู่พอกิน อยู่ดีกินดี และมั่งมีศรีสุข เพื่อให้ชุมชนอื่น ๆ ได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้หมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงต้นแบบบ้านหนองเผือก อำเภอวาปีปทุม จังหวัดมหาสารคาม เป็นอีกชุมชนที่มีการพัฒนาชุมชนอย่างต่อเนื่อง มีการน้อมนำแนวทางตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช เชื่อมโยงการทำงานกับหน่วยงานของภาครัฐและเอกชน ทำให้ที่บ้านหนองเผือก เป็นหมู่บ้านที่มีหน้าบ้านสวย หลังบ้านสวนสะอาด ปราศจากถังขยะ ชุมชนมีความเข้มแข็ง โดยมีกิจกรรมกลุ่มเกิดขึ้น ทั้งกลุ่มออมทรัพย์เพื่อการผลิต กลุ่มออมทรัพย์แม่บ้าน ร้านค้าชุมชน กลุ่มปลูกพืชผักปลอดสารพิษ เลี้ยงวัว กลุ่มเลี้ยงปลาในบ่อ กลุ่มเลี้ยง

หมูหลุม กลุ่มจักรสาน กลุ่มเกษตรอินทรีย์ และกลุ่มอื่น ๆ อีกมากมาย ทำให้ชาวบ้านมีอาชีพมีรายได้เพิ่มขึ้นตลอดจนสามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างมีความสุข เป็นชุมชนต้นแบบที่มีการดำเนินชีวิตตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงจนประสบผลสำเร็จในระดับ มั่งมี ศรีสุข (ผ่านการประเมินตัวบ่งชี้หมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง 6x2) สามารถพัฒนาเศรษฐกิจชุมชน ลดรายจ่ายและเพิ่มรายได้ จนสามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน โดยวัตถุประสงค์ในการศึกษาค้นคว้าวิจัยมุ่งเน้น คือ

1. เพื่อศึกษาการดำเนินชีวิตตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงของครัวเรือนบ้านหนองเผือก
 2. เพื่อศึกษาการดำเนินงานพัฒนาชุมชนตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงของชุมชนบ้านหนองเผือก
 3. เพื่อศึกษาปัจจัยของครัวเรือนและชุมชน ที่ส่งผลต่อการเป็นหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงต้นแบบระดับ มั่งมี ศรีสุข
- ในการศึกษาและถอดบทเรียนหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงบ้านหนองเผือก เพื่อนำผลการวิจัยไปพัฒนาชุมชนบ้านกำพี้ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคามและชุมชนที่สนใจไปประยุกต์ใช้ในชุมชนให้บรรลุผลสำเร็จต่อไป

กรอบแนวคิดการวิจัย



Source: Sufficiency Economy movement committee office of the national Economic and Social Development Board (2007)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย ดังนี้

1.1 ขอบเขตด้านเนื้อหาบริบทของชุมชน การดำเนินชีวิตตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของครัวเรือน การดำเนินงานการพัฒนาชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของชุมชน และปัจจัยที่ส่งผลต่อการเป็นหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงต้นแบบระดับ มั่งมี ศรีสุข

1.2 ขอบเขตด้านพื้นที่การวิจัยครั้งนี้เจาะจงเลือกพื้นที่ชุมชนบ้านหนองเผือก เพราะเป็นชุมชนที่โดดเด่นและได้รับรางวัลเกี่ยวกับเศรษฐกิจพอเพียงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 จนถึงปัจจุบันอย่างต่อเนื่อง เช่น ปี พ.ศ. 2550 ได้รับรางวัลชนะเลิศอันดับ 1 หมู่บ้านศูนย์การเรียนรู้ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง จังหวัดมหาสารคาม ปี พ.ศ. 2552 เป็นหมู่บ้านระดับ 3 “มั่งมี ศรีสุข” ชนะเลิศหมู่บ้าน “อยู่เย็น เป็นสุข” ปี พ.ศ. 2557 ได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับ 3 การประกวดหมู่บ้านชีวิตดี ระดับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นต้น

1.3 ขอบเขตด้านระยะเวลา เริ่มดำเนินการศึกษาตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2557 – กันยายน พ.ศ. 2558 รวมเป็นระยะ เวลา 12 เดือน

1.4 ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่างศึกษา ข้อมูลเชิงปริมาณจากประชากรในชุมชนบ้านหนองเผือก อำเภอลำปุม จังหวัดมหาสารคาม จำนวนประชากรทั้งหมด 327 คน โดยสุ่มตัวอย่างด้วยสูตร Yamane (Ritcharoon, 2005) ซึ่งได้กลุ่มตัวอย่าง 244 คน และกลุ่มเป้าหมายที่มีความเชี่ยวชาญ (Key informant: KI) ที่ใช้ศึกษาข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ ผู้นำท้องถิ่น ผู้นำชุมชน ประชาชนชาวบ้าน ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และหน่วยงานภาครัฐ จำนวน 30 คน

1.5 ขอบเขตด้านตัวแปรประกอบด้วย

1) ตัวแปรอิสระ (Independent variables) คือครัวเรือนนำปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาใช้ในการดำเนินชีวิต 3 ท่วง 2 เงื่อนไข คือ พอประมาณ มีเหตุมีผล มีภูมิคุ้มกันที่ดี ความรู้ และคุณธรรม

2) ตัวแปรตาม (Dependent variables) คือผลการดำเนินงานหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง ระดับมั่งมี ศรีสุข (ผ่านเกณฑ์ประเมินหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง 6x2) ด้านปีที่ 15ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561

การลดรายจ่ายเพิ่มรายได้การออมการดำรงชีวิตการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและความเอื้ออาทร

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.1 แบบสอบถาม (Questionnaire) จำนวน 1 ฉบับมีลักษณะแบบปลายปิดและปลายเปิดเพื่อสอบถามข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อศึกษาการดำเนินชีวิตตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของครัวเรือนบ้านหนองเผือก โดยเนื้อหาของแบบสอบถามจะแบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ รายได้ ระดับการศึกษา อาชีพ สถานภาพสมรส เป็นแบบตรวจสอบรายการ (Checklist)

ตอนที่ 2 ครัวเรือนนำปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาใช้ในการดำเนินชีวิต (3 ท่วง 2 เงื่อนไข) มี 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด จัดเป็นการวัดข้อมูลแบบอัตราภาคขั้น (Interval scale)

ตอนที่ 3 ผลการดำเนินงานหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง ระดับมั่งมี ศรีสุข (ผ่านเกณฑ์ประเมินหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง 6x2) ด้านการลดรายจ่ายเพิ่มรายได้ การออม การดำรงชีวิต การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และความเอื้ออาทร โดยแบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ตามแบบ Likert scale 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด (Taweerat, 1997) ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ความเชื่อมั่น และหาค่าอำนาจจำแนกเป็นรายข้อ โดยทำการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาผ่านการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ การตรวจสอบอำนาจการจำแนกโดยใช้เทคนิค Item-total correlation ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.421 – 0.818 สอดคล้องกับ Nunnally and Bernstein (1994) นำเสนอว่าการทดสอบค่าอำนาจจำแนกเป็นรายข้อเกิน 0.40 เป็นค่าที่ยอมรับได้ว่าแบบสอบถามมีคุณภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้เก็บข้อมูลได้และการหาความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (Reliability test) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha coefficient) ตามวิธีของครอนบาค (Cronbach) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาอยู่ระหว่าง 0.674-0.892 ซึ่งสอดคล้องกับ Hair *et al.* (2010) ได้เสนอว่า

เกณฑ์การพิจารณาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามค่า 0.60 ขึ้นไป ถือว่ามีคุณภาพ

2.2 แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Structured interview) และแบบบันทึกการสนทนากลุ่ม (Focus group discussion) ผู้วิจัยใช้วิธีการนี้ในการศึกษากลุ่มเป้าหมาย เพื่อเก็บข้อมูลกลุ่มและเป็นการตรวจสอบข้อมูลโดยการกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่มีความเชี่ยวชาญ (Key informant: KI) ที่ใช้ศึกษาข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ ผู้นำท้องถิ่น ผู้นำชุมชน ประชาชนชาวบ้าน ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และหน่วยงานภาครัฐ โดยการสัมภาษณ์กลุ่ม (Group interview) ใช้การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi - structure interview: SSI) ที่จะไปสัมภาษณ์ผู้นำชุมชน กลุ่มผู้รู้ (Key informant: KI) โดยใช้กรอบประเด็นคำถาม (Sub - topic) เกี่ยวกับปัจจัยที่ก่อให้เกิดความสำเร็จของหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง ซึ่งประกอบด้วยปัจจัย 6 ด้าน คือ เทคโนโลยี เศรษฐกิจ ทรัพยากรธรรมชาติ จิตใจ สังคมวัฒนธรรม ผู้นำหมู่บ้าน และการสนับสนุนจากหน่วยงานรัฐ โดยผู้วิจัยได้มีการปรับเปลี่ยนเพิ่มเติมในระหว่างการสัมภาษณ์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและละเอียดที่สุด

ตรวจสอบความเชื่อถือและความครบถ้วนของข้อมูล โดยการใช้การตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้าทำการตรวจสอบด้านข้อมูล (Data triangulation) การตรวจสอบด้านวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล (Methodological triangulation) การตรวจสอบสามเส้าด้านทฤษฎี (Theory triangulation)

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ลงมือเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยด้วยตนเองเป็นขั้นตอน ดังนี้

1. ประสานงานกับผู้ใหญ่บ้าน บ้านหนองเผือก อำเภอลำดวน จังหวัดมหาสารคาม ในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบสอบถาม และสัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมาย
2. ผู้วิจัยนำแบบสอบถามไปเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างในบ้านหนองเผือก อำเภอลำดวน จังหวัดมหาสารคาม โดยชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีตอบแบบสอบถาม และการรับคืนแบบสอบถาม
3. เก็บรวบรวมแบบสอบถามแล้วตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของแบบสอบถาม

4. นำข้อมูลจากแบบสอบถามมาประมวลผลวิเคราะห์ข้อมูล

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำแบบสอบถามที่ได้รับคืนทุกฉบับมาตรวจสอบความสมบูรณ์และดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ได้แก่ การหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยใช้สถิติเชิงอนุมาน (Inferential statistics) โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient (r)) และการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple regression analysis) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดแล้วจะนำเสนอผลงานวิจัยในรูปของตารางพร้อมทั้งการบรรยายใต้ตารางตามเนื้อหาในแต่ละข้อโดยแบ่งออกเป็นตอนๆตามแบบสอบถาม

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม วิเคราะห์โดยการแจกแจงความถี่ (Frequency) และการหาค่าร้อยละ (Percentage)
2. ข้อมูลเกี่ยวกับครัวเรือนที่นำปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาใช้ในการดำเนินชีวิต (3 ช่วง 2 เดือน) วิเคราะห์โดยการหาค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
3. ข้อมูลเกี่ยวกับผลการดำเนินงานหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง ระดับมี ศรีสุข (ผ่านเกณฑ์ประเมินหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง 6x2) ด้านการลดรายจ่ายเพิ่มรายได้ การออม การดำรงชีวิต การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และความเอื้ออาทรวิเคราะห์โดยการหาค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
4. ข้อมูลด้านการนำปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาใช้ในการดำเนินชีวิต (3 ช่วง 2 เดือน) ของครัวเรือนที่มีผลต่อการดำเนินงานหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง วิเคราะห์โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient (r)) และการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple regression analysis)
5. ปัจจัยของครัวเรือนและชุมชน ที่ส่งผลต่อการเป็นหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงต้นแบบระดับ มี ศรีสุข

ในการดำเนินงานพัฒนาหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง บ้านหนองเผือก อำเภอลำดวน จังหวัดสุรินทร์ ตามทฤษฎีของกลุ่มเป้าหมายใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content analysis) (Tirakanan, 2008) โดยรวบรวมปัจจัย ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะ นำมาจัดเป็นหมวดหมู่ นำเสนอผลการวิจัย

ผลการวิจัย

จากการศึกษาการพัฒนาชุมชนต้นแบบตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ระดับมั่งมี ศรีสุข : กรณีศึกษาบ้านหนองเผือก อำเภอลำดวน จังหวัดสุรินทร์ สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม สรุปได้ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิงร้อยละ 60.25 อยู่ในสถานภาพสมรสร้อยละ 50.84 อายุของผู้ตอบแบบสอบถามจะมีอายุตั้งแต่ 51 ปีขึ้นไป รองลงมา คือ อายุ 41-45 ปี สำหรับการศึกษ ประชาชนในหมู่บ้านหนองเผือก จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/ปวช. อาชีพส่วนใหญ่ คือ เกษตรกรรม รองลงมา คือ การรับจ้างทั่วไป และข้าราชการ ตามลำดับ รายได้เฉลี่ยของคนในชุมชนอยู่ระหว่าง 5,001-10,000 บาท

2. ครีวเรือนนำปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาใช้ในการดำเนินชีวิต (3 ห่วง 2 เงื่อนไข) บ้านหนองเผือก อำเภอลำดวน จังหวัดสุรินทร์ สามารถแยกเป็นรายด้านได้ดัง Table 1

Table 1 Applying sufficiency economy philosophy to everyday life based on 3 loops 2 conditions

List	\bar{X}	S.D.	Level of operation
1. Moderation	3.99	0.62	Good
2. Reasonableness	4.22	0.52	Good
3. Self-Immunity	4.13	0.45	Good
4. Knowledge	4.01	0.33	Good
5. Morality	4.02	0.94	Good

จาก Table 1 ผลการศึกษาพบว่า ครีวเรือนในหมู่บ้านหนองเผือก มีการนำปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง มาปฏิบัติทุกด้านอยู่ในระดับมาก โดยมีด้านที่มีการนำมาปฏิบัติมากที่สุด คือ ด้านความมีเหตุมีผล (\bar{X} = 4.22) ประชาชนมีส่วนร่วมในการสืบทอดประเพณีของชุมชน การดำเนินชีวิตและปฏิบัติตามหลักธรรมทางศาสนา การใช้สติปัญญาและเหตุผลไตร่ตรองหาสาเหตุและแก้ปัญหาต่างๆ ด้วยความสามารถไม่วู่วาม คิดแบบรอบคอบ มีเมตตาและช่วยเหลือผู้อื่นเสมอ ด้านการมีภูมิคุ้มกัน (\bar{X} = 4.13) ประชาชนในชุมชนมีความเชื่อเกี่ยวกับการ “ทำได้ดี ทำชั่วได้ชั่ว” และจะทำความดีต่อไปเพื่อผลดีต่อตนเองและครอบครัว ประชาชนมีเงินประกันชีวิตหรือเงินฌาปนกิจ หักด้วยหนี้สินปัจจุบันเป็นบวก การใช้หลักประชาธิปไตยในการอยู่ร่วมกัน การมีเงินออมเพื่อเป็นทุนสำรองยามฉุกเฉิน และด้านคุณธรรม (\bar{X} = 4.02) สร้างความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินและพยายามหลีกเลี่ยงอบายมุขทั้งปวง

3. ผลการดำเนินงานหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง ระดับมั่งมี ศรีสุข สามารถแยกเป็นรายด้านได้ดัง Table 2

Table 2 The operation about sufficiency economy Ban Nong phueak, Wapi Pathum, Maha Sarakham

Operation	\bar{X}	S.D.	Level of Operation
1. Reduction of expenses	3.76	0.60	Good
2. Increase income	3.82	0.87	Good
3. Savings	4.06	0.66	Good
4. Live a life	4.00	0.58	Good
5. Conservation of nature resources and environment	4.05	0.63	Good
6. The generosity	4.04	0.68	Good

จาก Table 2 ผลการศึกษาพบว่า ผลการดำเนินงานด้านการออม อยู่ในระดับมาก (\bar{X} = 4.06) โดยประชาชนมีช่องทางในการออม เช่น เป็นสมาชิกกลุ่มออมทรัพย์ฯ กลุ่มสัจจะกองทุนหมู่บ้านหรือธนาคาร รองลงมา คือ ด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (\bar{X} = 4.05) การที่ประชาชนให้ความสำคัญในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ

อย่างคุ้มค่าและประหยัด ประชาชนเข้าร่วมในกิจกรรม
อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การมีส่วนร่วม
ในการจัดการขยะอย่างถูกวิธี และด้านความเอื้ออาทร (\bar{x} =

4.04) ประชาชนมีส่วนร่วมให้การช่วยเหลือกิจกรรมของ
เพื่อนบ้าน เช่น งานมงคลสมรส งานศพ ตลอดจนงานที่
ราชการจัดขึ้น ถือเป็น การสร้างความสามัคคีอย่างหนึ่ง

Table 3 The correlation of 3 loops 2 conditions and acceptance of operation

	Moderation	Reasonableness	Self-Immunity	Knowledge	Morality	Acceptance of operation	VIF
Acceptance of operation	0.384**	0.362**	0.222**	0.945**	0.388**	1	
1. Moderation	1						1.506
2. Reasonableness	0.266**	1					1.468
3. Self-Immunity	0.658*	0.246**	1				1.204
4. Knowledge	0.540*	0.593*	0.400**	1	k		2.512
5. Morality	0.384**	0.362**	0.222**	0.359**	1		1.187
Mean	3.986	4.223	4.132	4.010	4.028	3.958	
S.D.	0.621	0.529	0.456	0.336	0.948	0.389	

**p<0.01, *p<0.05

จาก Table 3 พบว่านำปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาใช้ในการดำเนินชีวิต (3 ท่วง 2 เงื่อนไข) ของครัวเรือนบ้านหนองเผือกด้านความรู้ มีความสัมพันธ์สูงมาก 0.945 ด้านความพอประมาณ ด้านความมีเหตุผล มีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง และด้านมีภูมิคุ้มกันที่ดี อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบปัญหา Multicollinearity โดยใช้ค่า VIFs ปรากฏว่าค่า VIFs ของตัวแปรอิสระ คือ หลัก 3 ท่วง 2 เงื่อนไข ที่

ประกอบไปด้วย 5 ด้านนั้น มีค่าความสัมพันธ์ระหว่าง 1.187-2.512 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 แสดงว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันแต่ไม่มีนัยสำคัญในระดับที่ก่อให้เกิดปัญหา Multicollinearity (Black, 2006)

4. ปัจจัยการนำ 3 ท่วง 2 เงื่อนไข มาใช้ในการดำเนินชีวิตของครัวเรือนผลต่อการดำเนินงานหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง แสดงดัง Table 4

Table 4 Multiple Regression of affecting success in sufficiency economy village

Independent variable	Success in sufficiency economy village		t	p-value
	Coefficient	Standard error		
constant	-0.005	0.004	-1.250	0.212
1. Moderation	-0.166	0.001	-250.910**	0.000
2. Reasonableness	-0.167	0.001	-217.256**	0.000
3. Self-Immunity	-0.167	0.001	-206.621**	0.000
4. Knowledge	1.501	0.002	951.552**	0.000
5. Morality	0.000	0.000	0.521	0.603

F= 269966.337, p = 0.00, AdjR² = 1.000, Durbin-Watson = 1.958, **p< 0.01, *p < 0.05

จาก Table 4 พบว่า การนำ 3 ห่วง 2 เงื่อนไข มาใช้ในการดำเนินชีวิตของครัวเรือนส่งผลต่อการดำเนินงานหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงด้านความรู้มีความสัมพันธ์และผลกระทบเชิงบวกกับการดำเนินงานหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง ($\beta = 1.501, p < 0.00$) โดยด้านความพอประมาณ ความมีเหตุผล การมีภูมิคุ้มกัน ส่งผลกระทบเชิงลบกับการดำเนินงานหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง ($\beta = -0.166, p < 0.00, \beta = -0.167, p < 0.00$)

5. ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ชุมชนประสบความสำเร็จเป็นหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงระดับ มั่งมี ศรีสุข โดยการสัมภาษณ์กลุ่ม (Group interview) ใช้การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-structure interview: SSI) สัมภาษณ์ผู้นำชุมชน กลุ่มผู้รู้ (Key informant: KI) โดยใช้กรอบประเด็นคำถาม (Sub-topic) เกี่ยวกับปัจจัยสำคัญที่ทำให้ชุมชนประสบความสำเร็จเป็นหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงระดับ มั่งมี ศรีสุขซึ่งประกอบด้วยปัจจัย 6 ด้าน คือ เทคโนโลยี เศรษฐกิจ ทรัพยากรธรรมชาติ จิตใจ สังคม วัฒนธรรม ผู้นำหมู่บ้าน และการสนับสนุนจากหน่วยงานรัฐ ผลการวิจัย พบว่า

1. ด้านผู้นำหมู่บ้าน เป็นปัจจัยที่เอื้อต่อการพัฒนาหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง ผู้นำหมู่บ้านผลักดันให้สมาชิกในหมู่บ้านดำเนินชีวิตตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงและให้ความสำคัญกับการพัฒนาหมู่บ้านโดยยึดแนวทางหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง
2. ด้านสังคม วัฒนธรรม สมาชิกในหมู่บ้านมีความสามัคคี อนุรักษ์และสืบทอดประเพณีอันดีงามของหมู่บ้าน และมีความห่วงใย ความเอื้ออาทรสมาชิกในหมู่บ้านด้วยความจริงใจ
3. ด้านจิตใจ สมาชิกในหมู่บ้านยึดมั่นในแนวทางคุณธรรมจริยธรรมในการดำเนินชีวิต มีความภูมิใจในชีวิตของตนเอง และมักเสียสละเพื่อประโยชน์สุขของส่วนรวมและผู้อื่น
4. ด้านเศรษฐกิจ ครัวเรือนมีการออมและสามารถพึ่งตนเองได้ รองลงมา คือ ครัวเรือนมีอาชีพและรายได้ที่เพียงพอกับครอบครัว
5. ด้านทรัพยากรธรรมชาติ การส่งเสริม สนับสนุนให้นำทรัพยากรธรรมชาติหรือวัตถุดิบที่มีอยู่ในหมู่บ้านมาใช้

ให้เกิดประโยชน์ ส่งเสริมสนับสนุนให้มีการดูแลรักษาทรัพยากรธรรมชาติในหมู่บ้านให้มีความสมบูรณ์

6. ด้านการมีส่วนร่วม สมาชิกในหมู่บ้านมีส่วนร่วมในการดำเนินงานพัฒนาหมู่บ้าน มีส่วนร่วมในการติดตามประเมินผลงานพัฒนาหมู่บ้าน และมีส่วนร่วมในการวางแผนงานพัฒนาหมู่บ้าน

7. ด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาครัฐมีการสนับสนุนการพัฒนาหมู่บ้านตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง มีการประสานงานกับหมู่บ้านเพื่อหาทางพัฒนาหมู่บ้านตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง และถ่ายทอดความรู้ ด้านหลักเศรษฐกิจพอเพียงให้แก่สมาชิกในหมู่บ้าน

8. ด้านเทคโนโลยี มีการส่งเสริมสนับสนุนให้มีการพัฒนาอุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องใช้ เทคโนโลยีภูมิปัญญาพื้นบ้านมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพื่อลดรายจ่ายหรือลดเวลาทำงาน มีการนำอุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องใช้ที่เป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ให้เกิดประโยชน์

อภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาชุมชนต้นแบบตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 9 เป็นการทำงานเชื่อมโยงระหว่างหน่วยงานภาครัฐ เอกชน สถาบันการศึกษา และชุมชน ทำให้ชุมชนมีความเข้มแข็ง สามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืนซึ่งจากการศึกษาพบว่า ชาวบ้านเห็นว่าปัจจัยที่ทำให้ชุมชนประสบความสำเร็จในการเป็นชุมชนต้นแบบนั้น ได้แก่ ปัจจัยด้านผู้นำหมู่บ้านด้านสังคม วัฒนธรรม ด้านจิตใจ ด้านเศรษฐกิจ ด้านทรัพยากรธรรมชาติ ด้านการมีส่วนร่วม ด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐและด้านเทคโนโลยี ผลการวิจัยสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Thamsuan (2007) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการเป็นหมู่บ้านต้นแบบเศรษฐกิจพอเพียงต้นแบบบ้านป่าไผ่ ตำบลแม่โป่ง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ โดยผลการวิจัยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการเป็นหมู่บ้านต้นแบบเศรษฐกิจพอเพียง คือ ปัจจัยเกื้อหนุน ได้แก่ ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ ด้านเทคโนโลยี ด้านเศรษฐกิจ ด้านทรัพยากร ด้านจิตใจ และ

ด้านสังคม สอดคล้องกับ Kerdkhum (2009) ได้ทำการวิจัยเรื่อง ความสำเร็จของนโยบายปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของบ้านสันติสุข หมู่ที่ 5 ตำบลแม่ลาหลวง อำเภอแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ผลการวิจัยพบว่า สาเหตุสำคัญในการขับเคลื่อนนโยบายปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงที่บ้านสันติสุข คือ ผู้นำชุมชน/กำนัน/ผู้ใหญ่บ้าน เป็นบุคคลที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนนโยบาย สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Wantaya (2007) ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการพึ่งพาตนเองตามหลักเศรษฐกิจพอเพียงในจังหวัดเชียงใหม่พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการพึ่งตนเองตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง คือ ปัจจัยทางด้านเทคโนโลยี ปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจ ปัจจัยด้านทรัพยากรธรรมชาติ ด้านจิตใจ และปัจจัยทางด้านสังคม

ดังนั้นปัจจัยด้านผู้นำหมู่บ้าน ซึ่งจะเป็นบุคคลที่สามารถโน้มน้าว จูงใจ และปฏิบัติตนเป็นแบบอย่างให้ชาวบ้านปฏิบัติตาม มีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ชุมชนบ้านหนองเผือกมีผู้ใหญ่บ้านที่เป็นนักพัฒนา จึงเป็นส่วนสำคัญที่สามารถพัฒนาชุมชนให้เข้มแข็ง สร้างภูมิคุ้มกันให้กับชุมชน ที่เห็นผลได้อย่างเป็นรูปธรรมและเกิดความยั่งยืน ปัจจัยที่ทำให้ชุมชนต้นแบบประสบความสำเร็จระดับ มั่งคั่ง ยั่งยืน สามารถนำไปเป็นแนวทางการพัฒนาชุมชนต้นแบบไปขยายผลให้ชุมชนอื่นปฏิบัติตามเพื่อให้สามารถพัฒนาเป็นชุมชนเข้มแข็ง มั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืนต่อไป

สรุปผลการวิจัย

1. บริบทของชุมชนบ้านหนองเผือกและรูปแบบการดำเนินชีวิตตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง อาชีพหลัก คือ การทำนา ชุมชนประสบปัญหาเล่นการพนันปัญหา ยาเสพติด ผู้มีอิทธิพลเข้ามาครอบงำ และเกิดหนี้นอกระบบ ผู้นำชุมชนและสมาชิกในชุมชน ได้ริเริ่มแก้ไขปัญหาโดยการประยุกต์ใช้ปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงร่วมกันวางแผนพัฒนาชุมชน โดยได้นำเงินกองทุนหมู่บ้านมาใช้หนี้นอกระบบ จัดให้ชาวบ้านทำอาชีพเสริม มีการกำหนดธรรมนูญหมู่บ้านหนองเผือก เพื่อให้ชาวบ้านถือปฏิบัติร่วมกัน ลด ละ เลิก อบายมุขครัวเรือน มีการปรับปรุงภูมิทัศน์ให้สวยงาม ทุกครอบครัวไม่มีถังขยะ นำขยะ เศษใบไม้ต่าง ๆ ไปทำปุ๋ยหมัก

2. ผลการดำเนินงานของหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงต้นแบบบ้านหนองเผือก อำเภอวาปีปทุม จังหวัด

มหาสารคามทั้ง 6 ตำบล (6x2) คือ ด้านการลดรายจ่าย ครัวเรือนมีการรักษาสุขภาพให้แข็งแรงสมบูรณ์ ด้านการเพิ่มรายได้ครัวเรือน มีการรวมกลุ่มวิสาหกิจชุมชนด้านการออม เป็นสมาชิกกลุ่มออมทรัพย์ฯ ด้านการดำรงชีวิต มีการตามกฎระเบียบของชุมชน ด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่าและประหยัด ด้านความเอื้ออาทร มีการเข้าร่วมงานมงคลสมรส และงานศพ ตลอดจนงานที่ราชการจัดขึ้น ถือว่าเป็นการสร้างความสำเร็จอย่างหนึ่ง

ผลการดำเนินงานการนำปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันตามหลัก 3 ห่วง 2 เงื่อนไข ด้านความพอประมาณ ประชาชนมีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรง ห่างไกลจากอบายมุข ดำเนินชีวิตโดยยึดหลักสายกลาง รู้จักพอประมาณ และมีการจัดทำบัญชีครัวเรือน ด้านความมีเหตุผลประชาชนมีส่วนร่วมในการสืบทอดประเพณีของชุมชน ดำเนินชีวิตและปฏิบัติตามหลักธรรมทางศาสนา การใช้สติปัญญาและเหตุผลไตร่ตรองหาสาเหตุและแก้ปัญหาต่าง ๆ ด้วยความสามารถ ไม่วู่วาม คิดแบบรอบครอบมีเมตตาเอื้ออาทรและช่วยเหลือผู้อื่นเสมอ มีการดำเนินชีวิตและปฏิบัติตามหลักธรรมทางศาสนา ด้านการมีความภูมิคุ้มกันที่ดีในตัวประชาชนเชื่อว่าการ “ทำดีได้ดี ทำชั่วได้ชั่ว” และจะทำความดีต่อไป มีเงินประกันชีวิตหรือเงินฌาปนกิจหักด้วยหนี้สินปัจจุบันเป็นบวก

3. ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ชุมชนประสบความสำเร็จเป็นหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงระดับ มั่งมี ศรีสุข มี 8 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านผู้นำหมู่บ้าน ด้านสังคมและวัฒนธรรม ด้านการมีส่วนร่วม ด้านเศรษฐกิจ ด้านทรัพยากรธรรมชาติ ด้านจิตใจ และด้านเทคโนโลยี โดยภาพรวมทั้ง 8 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กับความสำเร็จในการเป็นหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. วีระกิตติ์ เสารัม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรายุทธ พลาศรี ซึ่งได้ตรวจสอบและให้คำแนะนำเกี่ยวกับระเบียบวิธีวิจัย และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิชัย พรธษา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขงานวิจัยให้

ความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ขอขอบคุณอาจารย์และ
เจ้าหน้าที่คณะวิทยาการจัดการทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ
ในการประสานงานทุกด้าน

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราช-
ภัฏมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย เพื่อศึกษาค้นคว้า
ให้เกิดองค์ความรู้ใหม่
ด้วยความดี และประโยชน์อันพึงมีจากการทำวิจัย
ผู้วิจัยขอมอบให้ทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้นด้วยความขอบคุณยิ่ง

References

- Black, H.J. 2006. The effects of image congruence on customer satisfaction and brand loyalty in the lodging industry. Ph.D. Thesis. The Pennsylvania State University.
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J. and Anderson, R.E. 2010. Multivariate data analysis. 7th edition. Prentice Hall: New Jersey.
- Kerdkhum, K. 2009. The achievement of the sufficiency economy policy of Ban Sun Ti Suk Moo 5, Mae La Luang Sub-district, Mae La Noi District, Mae Hong Son Province. M.P.A. Independent Study, Chiang Mai University. (in Thai)
- Ministry of the Interior. 2007. Sufficiency economy by royal initiative. Office of Policy and Planning, Office of the Permanent Secretary: Bangkok. (in Thai)
- Nunnally, J.C. and Bernstein, I.H. 1994. Psychometric theory. McGraw-Hill: New York.
- Office of the National Economics and Social Development Board. 2011. National economic and social development plan no.11, 2012-2016 [online]. [Accessed Mach 1, 2016]. Available from: URL: <http://www.nesdb.go.th/Default.aspx?tabid395>. (in Thai)
- Provincial Community Development Office of Maha Sarakham. 2014. The workshop on the development of guiding the sufficiency economy philosophy in the life of Provincial Community Development Office of Maha Sarakham. 22 October 2014. Vasu Hotel. Maha Sarakham. (in Thai)
- Ritcharoon, P. 2005. Measurement evaluation. 3rd edition. House of Kermyst: Bangkok. (in Thai)
- Sufficiency Economy movement committee office of the national Economic and Social Development Board. 2007. Sufficiency economy implications and applications. 3rd edition. Sufficiency Economy Subdivision office of the Nation Economic and Social Development Board: Bangkok. (in Thai)
- Taweerat, P. 1997. Research methods for the behavioral and social sciences. Charoenpol: Bangkok. (in Thai)
- Thamsaun, W. 2007. An affection factor of sufficiency economy model a case study of Papai Doi Saket District, Chiang Mai Province. Master's thesis. Naresuan University. (in Thai)
- Tirakanan, S. 2008. Construction of an instrument to measure variables insocial sciences research: guidelines to practice. Chulalongkorn University: Bangkok. (in Thai)
- Wantaya, K. 2007. Factors affecting self-sufficiency in sufficiency economy philosophy, Chiangmai Province, M.A. Thesis in Political Science, Chiang Mai University. (in Thai)
- Wasi, P. 1997. Sufficiency economy and civil society. Folk doctor magazine: Bangkok: (in Thai)

ผลของการเสริมสมุนไพรรักษาโรคต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อลูกผสมพันธุ์พื้นเมือง ทางการค้า

มหิศร ประภาสะโนบล*, สุพรรณษา มุ่งก่อกกลาง, ชูศักดิ์ ชุ่มจิตต์ และ สิทธิพงษ์ หลิมเล็ก

สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริมสมุนไพรรักษาโรคในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อลูกผสมพันธุ์พื้นเมืองทางการค้า ใช้แผนทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) ใช้ไก่เนื้อลูกผสมพื้นเมืองการค้า จำนวน 480 ตัวแบ่งเป็น 6 กลุ่มๆ ละ 4 ซ้ำๆ ละ 20 ตัว เลี้ยง 16 สัปดาห์ เสริมสมุนไพรรักษาโรครูปดัดแห่งประกอบด้วย ฟริก ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูดผสมในอาหารระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับอาหารสูตรพื้นฐาน และสูตรเสริมสารปฏิชีวนะคลอเตตราซัยคลิน เลี้ยงไก่โรงเรือนระบบเปิด ให้น้ำและอาหารเต็มที่ เก็บข้อมูลน้ำหนักไก่ อาหารที่กินเพื่อวัดสมรรถภาพการผลิต กลุ่มทดลอง ได้แก่ (1) สูตรพื้นฐาน (2) สูตรเสริมสารปฏิชีวนะร้อยละ 0.10 (3) สูตรเสริมตำรับตำยาร้อยละ 0.25 (4) สูตรเสริมตำรับตำยาร้อยละ 0.50 (5) สูตรเสริมตำรับตำยาร้อยละ 0.75 และ (6) สูตรเสริมตำรับตำยาร้อยละ 1 ตามลำดับ ข้อมูลวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ผลการวิจัยพบว่า อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ร้อยละการตาย และต้นทุนค่าอาหารทุกกลุ่มการทดลองไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนปริมาณอาหารที่กินกลุ่มที่ 3 มากกว่ากลุ่มอื่น พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังนั้นการเสริมสมุนไพรรักษาโรคในระดับต่างๆ ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อลูกผสมพื้นเมือง

คำสำคัญ: สมุนไพรรักษาโรค, และ ไก่เนื้อลูกผสมพื้นเมือง

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: mahisorn.pra@mail.pbru.ac.th

Effect of Herbal Mixture Tom Yum Accessories Supplemented on Production Performances of Commercial Thai Native Crossbred Chicken

Mahisorn Prapasanobol^{*}, Supansa Moongkoklang, Chusak Chumjit and Sithipong Limlek

*Program in Animal Science, Faculty of Agricultural Technology, Phetchaburi Rajabhat University,
Muang District, Phetchaburi, 76000*

Abstract

The purpose of this research was to study the effect of Herbal Mixture Tom Yum Accessories in the diets on productive performance. The experiment was assigned in the completely randomized design (CRD). 480 birds about a day old were randomized to 6 groups, each group with 4 replications and each replication with 20 birds. The dietary treatments were controlled diet (T1), control diet supplemented with 0.10% chlortetracycline (T2) and control diet supplemented with 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00% of herbal mixture tom yum accessories (T3, T4, T5 and T6) respectively. The experiment was conducted for 16 weeks. All the birds were rear in open house system, drinking water, and feed were unlimited. Data collection as average dairy gain, Feed conversion ratio, Feed intake, Feed efficiency, Mortality percentage and Feed cost were recorded. The Statistic was used ANOVA and compare mean with Duncan's New Multiple Range Test (DMRT).

The research was found that average dairy gain, feed conversion ratio, feed efficiency and mortality percentage were expressed with no statistically significant difference ($P>0.05$). The feed intake of T3 was a statistically significant difference from the other groups ($P<0.05$). Therefore, the supplementation of Herbal Mixture Tom Yum Accessories did not negative affect to production performance.

Keywords: Herbal Mixture Tom Yum Accessories and Thai native crossbred chickens

* Corresponding author: E-mail: mahisorn.pra@mail.pbru.ac.th

ปัจจุบันการเลี้ยงไก่เนื้อมีการใช้สารเสริมในอาหาร เพื่อเพิ่มสมรรถภาพการผลิต กระตุ้นการกินอาหาร การเจริญเติบโต การป้องกันโรค การสร้างเสริมสุขภาพสัตว์ให้สมบูรณ์แข็งแรง และเพื่อปรับปรุงคุณภาพผลผลิตให้เป็นไปตามความต้องการของตลาด ซึ่งสารเสริมที่นิยมนำมาใช้ส่วนใหญ่เป็นสารสังเคราะห์และมักจะมีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ปัญหาของการเลี้ยงไก่ที่สำคัญประการหนึ่งคือการดื้อสารปฏิชีวนะที่ใช้รักษาโรคติดเชื้อที่ผสมมากับอาหาร แนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว คือการใช้สมุนไพรที่มีคุณสมบัติในการเสริมสมรรถภาพการผลิต กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันร่างกาย นอกจากนี้การใช้สารเสริมข้างต้นในการเลี้ยงสัตว์อาจก่อให้เกิดปัญหาสารตกค้างในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขที่มีผลกระทบต่อผู้บริโภคและการส่งออก การใช้สารปฏิชีวนะอาจทำให้จุลินทรีย์ก่อเกิดโรคเกิดการดื้อยา และทำให้เกิดการตกค้างในสัตว์ซึ่งสามารถถ่ายทอดสู่ผู้บริโภคและมีผลเสียต่อสุขภาพ เช่น สารกลุ่มเตตราไซคลิน ทำให้ทางเดินอาหารผิดปกติ ภูมิคุ้มกันร่างกายบกพร่องและเป็นพิษต่อกระดูก กลุ่มสหภาพยุโรปได้ห้ามการนำเข้าเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่มีสารปฏิชีวนะตกค้าง (Windisch *et al.*, 2008) จากปัญหาดังกล่าวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาสิ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนสารปฏิชีวนะโดยไม่เกิดผลกระทบต่อการผลิตสัตว์และไม่มีผลเสียต่อผู้บริโภค ทั้งนี้มีสมุนไพรไทยหลายชนิด ได้แก่ พริก ข่า ตะไคร้และใบมะกรูดที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องต้มยำในตำรับอาหารไทย ถือได้ว่าเป็นทรัพยากรทางเลือกที่มีศักยภาพสูงเพราะมีสรรพคุณต่างๆที่ส่งผลต่อการผลิตปศุสัตว์ ได้แก่ พริกมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญคือ capsaicinoids มีสรรพคุณทางยาในการยับยั้งหรือฆ่าจุลินทรีย์ก่อโรครอย่างกว้างขวาง มีฤทธิ์ในการกระตุ้นการหลั่งน้ำย่อยและมีผลให้ลำไส้เล็กบีบตัวมากขึ้น ทำให้อาหารถูกย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น (Kaewdirek, 2005; Chaichanthipyuth *et al.*, 1981; Blumberger and Glatzel, 1965) กระตุ้นการกินและเร่งการเจริญเติบโต (Kaewdirek, 2005) การกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (Jie *et al.*, 2002) ตลอดจนการเป็นแหล่งสารสีในสัตว์ปีก

(Kaewdirek, 2005; Kaithin, 2006; Khunpichai and Klinasukol, 2005) ข่ามีสารออกฤทธิ์สำคัญคือ cineole, camphor และ eugenol สรรพคุณทางยาในการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อรา (Wuthiudomlert *et al.*, 2001) ข่าเชื้อแบคทีเรีย (Aeumthammachart, 2000) ลดการอักเสบ (Yu, 1988) ยังสามารถผสมในอาหารเสริมการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ (Noppon *et al.*, 2002) ตะไคร้มีสารออกฤทธิ์สำคัญคือ citralcitronellol และ cineole สรรพคุณทางยาในการยับยั้งเชื้อราและฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (Inouye, 2000) ฤทธิ์ต้านการกลายพันธุ์ (Vinitketkumnuen *et al.*, 1994) และใบมะกรูดมีสารออกฤทธิ์สำคัญ คือ citronellol มีสรรพคุณช่วยรักษาอาการจุกเสียดและขับลมในลำไส้ (Temsirirukkul *et al.*, 1999) และที่สำคัญที่สุดคือการเสริมสมุนไพรไม่ทำให้เกิดปัญหาสารตกค้างที่ทำให้เกิดเชื้อดื้อยาหรือเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ในคนมีการนำสมุนไพรมาใช้มากกว่าหนึ่งชนิดที่เรียกว่าตำรับ แต่จากงานวิจัยการใช้สมุนไพรในสัตว์ปีกส่วนใหญ่ที่รายงานไว้ มักมีการใช้สมุนไพรเชิงเดี่ยว ทั้งในรูปแบบการบด การสกัดหยาบ และการสกัดสารสำคัญออกฤทธิ์ ซึ่งมีรายงานของ Sompen *et al.* (2005) ได้รายงานการเสริมสมุนไพรไทยต่อสมรรถภาพการผลิตไก่พื้นเมืองโดยการใช้สมุนไพรเชิงเดี่ยวได้แก่ ฟ้าทะลาย โจร บอระเพ็ดและทองพันชั่งที่ระดับความเข้มข้นที่ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร เปรียบเทียบกับยาปฏิชีวนะคลอเตตราไซคลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร และการใช้สมุนไพรเชิงตำรับที่ระดับความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร เปรียบเทียบกับยาปฏิชีวนะคลอเตตราไซคลินซึ่งเป็นการให้โดยผสมในน้ำให้กิน

ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาถึงผลของสมุนไพรในรูปตำรับต้มยำ ที่ประกอบด้วย พริก ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูดที่อยู่ในรูปผงบดแห้ง และนำมาผสมในอาหารไก่เนื้อลูกผสมพื้นเมืองต่อสมรรถภาพการผลิตที่สำคัญงานศึกษานี้เป็นการส่งเสริมและสนับสนุนการใช้สมุนไพรไทย ในการทดแทนการใช้สารปฏิชีวนะ และสารสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมเลี้ยงไก่เนื้อของการผลิตอาหารที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค เพื่อนำไปส่งเสริมในกลุ่มเกษตรกรผู้สนใจต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แผนการทดลองและวิธีการวิจัย

การวิจัยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design : CRD) โดยใช้ไก่เนื้อ ลูกผสมพื้นเมืองทางการค้า คละเพศอายุ 1 วัน จำนวน 480 ตัว แบ่งเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ซ้ำ แต่ละซ้ำมีไก่ 20 ตัว เลี้ยง 16 สัปดาห์ ทำการเสริมสมุนไพรตำรับต้มยำในอาหารที่ระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับอาหารสูตรพื้นฐาน และสูตรที่เสริมสารปฏิชีวนะคลอเตตราซัยคลิน เลี้ยงไก่ในโรงเรือนระบบเปิด ขนาดพื้นที่ 2x2 ตารางเมตรต่อซ้ำ ให้น้ำและอาหารกินเต็มที่ เก็บข้อมูลน้ำหนักไก่ที่ทดลอง น้ำหนักอาหารที่กิน และร้อยละ การตาย มีการทำวัคซีนป้องกันโรคหลอดลมอักเสบติดต่อ ที่อายุ 1 วัน วัคซีนนิวคาสเซิลเชื้อเป็นครั้งที่ 1 ที่อายุ 1 สัปดาห์ ครั้งที่ 2 ที่อายุ 3 สัปดาห์ และวัคซีนฝีดาษไก่ ที่อายุ 5 สัปดาห์ ตามลำดับ

2. รายละเอียดอาหารแต่ละกลุ่มทดลองมีดังนี้

กลุ่มที่ 1 อาหารสูตรพื้นฐาน (ควบคุม)

กลุ่มที่ 2 สูตรพื้นฐานเสริมสารปฏิชีวนะคลอเตตราซัยคลินที่ระดับ ร้อยละ 0.10

กลุ่มที่ 3 สูตรพื้นฐานเสริมสมุนไพรผสมเครื่องต้มยำที่ระดับ ร้อยละ 0.25

กลุ่มที่ 4 สูตรพื้นฐานเสริมสมุนไพรผสมเครื่องต้มยำที่ระดับ ร้อยละ 0.50

กลุ่มที่ 5 สูตรพื้นฐานเสริมสมุนไพรผสมเครื่องต้มยำที่ระดับ ร้อยละ 0.75

กลุ่มที่ 6 สูตรพื้นฐานเสริมสมุนไพรผสมเครื่องต้มยำที่ระดับ ร้อยละ 1

3.การเตรียมสมุนไพร

สมุนไพรซื้อจากตลาดกลางเกษตรอำเภอบ้านลาด การเตรียมผสมเครื่องต้มยำ(สด) มีสัดส่วนอ้างอิงตามรายงานวิจัยของ Boonbumrung (2006) ดังนี้ พริก 50 กรัม ข่า 75 กรัม ตะไคร้ 125 กรัม และใบมะกรูด 50 กรัม หรือคิดเป็นสัดส่วน พริก : ข่า : ตะไคร้ : ใบมะกรูด เท่ากับ 1 : 1.5 : 2.5 : 1 ตามลำดับ (Fig.1) และนำไปอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C ตามวิธีของ

Meesap (2005) นำสมุนไพรอบแห้งที่ผ่านการบดนำมาผสมรวมกันก่อนนำไปใช้ผสมในอาหารแต่ละสูตรการทดลองเลี้ยงไก่ต่อไป (Fig.2)

4. การเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลในแต่ละหน่วยการทดลองทำการชั่งน้ำหนักไก่ทุกตัววันที่เริ่มเลี้ยงและทุกวันพุธเริ่มเวลา 07.00 นาฬิกา ทุกๆ สัปดาห์จากสัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์ที่ 16 ณ ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ปีก สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ส่วนน้ำหนักอาหารที่ใช้ทั้งหมดจำนวนไก่ที่รอดชีวิตและตายจดบันทึกทุกวัน ข้อมูลที่ได้คำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต (Average dairy gain, ADG) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio, FCR) ปริมาณอาหารที่กิน (Feed intake ; FI) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Feed efficiency ; FE) ร้อยละการตาย (Mortality percentage) และต้นทุนค่าอาหาร (Feed cost) ในแต่ละสัปดาห์โดยมีวิธีคำนวณดังนี้

$$\text{อัตราการเจริญเติบโต} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย}-\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ} = \frac{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่ม}}{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กิน} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้อาหาร} = \frac{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่ม} \times 100}{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}$$

$$\text{ร้อยละการตาย} = \frac{\text{จำนวนไก่ที่ตาย} \times 100}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมด(มีชีวิต+ตาย)}}$$

$$\text{ต้นทุนค่าอาหาร} = \text{ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ} \times \text{ราคาอาหาร}$$

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป



Fig. 2 Herbal mixture tom yum accessories



Fig. 1 *Capsicum frutescense* Linn. (A), *Alpinia galanga* Linn. (B), *Cymbopogon nardus* Linn. (C) and *Citrus hystrix* (D)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการวิจัย

1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโภชนาต่างๆ ได้แก่ วัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และ NFE ของสมุนไพรตำรับต้มยำ และอาหารทดลองที่ใช้ในช่วงอายุ 1-8 สัปดาห์ และอาหารทดลองที่ใช้ในช่วงอายุ 9-16 สัปดาห์ ด้วยวิธี Proximate analysis (AOAC, 1999) (Table 1 - 3)

Table 1 Proximate analysis of herbal mixture tom yum accessories

	Dry Matter		On dry basis			
	(%)	Protein (%)	Fat (%)	Ash (%)	Fiber (%)	NFE (%)
Tom yum accessories	87.60	8.09	4.47	7.43	24.52	55.49

Table 2 Proximate analysis of experimental diet formula at duration 1-8 weeks

Treatment	Dry Matter (%)	On dry basis (%)				
		Protein	Fat	Ash	Fiber	NFE
T1 (Control)	88.51	23.91	5.65	5.84	4.24	60.36
T2 (0.10% CTC)	88.65	24.17	5.50	5.85	4.55	59.93
T3 (0.25% Tom yum)	88.64	24.61	5.58	5.86	4.69	59.26
T4 (0.50% Tom yum)	88.64	24.56	5.54	5.94	4.49	59.47
T5 (0.75% Tom yum)	88.69	24.33	5.54	5.90	4.33	59.90
T6 (1.00% Tom yum)	88.72	24.03	5.81	5.90	4.20	58.06

CTC = Chlotetracycline

Table 3 Proximate analysis of experimental diet formula at duration 9-16 weeks

Treatment	Dry Matter (%)	On dry basis (%)				
		Protein	Fat	Ash	Fiber	NFE
T1 (Control)	88.87	21.01	7.95	5.82	5.05	60.17
T2 (0.10% CTC)	88.20	21.37	7.93	5.82	4.99	59.89
T3 (0.25% Tom yum)	88.10	21.06	8.01	5.96	4.99	59.98
T4 (0.50% Tom yum)	88.22	20.63	8.00	5.93	5.28	60.16
T5 (0.75% Tom yum)	88.24	20.71	8.03	6.04	5.22	60.01
T6 (1.00% Tom yum)	88.02	21.00	8.09	6.21	5.21	59.49

CTC = Chlotetracycline

1.2 สมรรถภาพการผลิต

1) อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตัว/วัน) ผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของไก่พื้นเมืองลูกผสมทางการค้า ที่ได้รับการเสริมสมุนไพรตำรับตั้มยาระดับต่างๆ (ร้อยละ 0.25 0.50 0.75 และ 1.00) เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มเสริมสารปฏิชีวนะคลอเตตราซัยคลิน (ร้อยละ 0.10) พบว่า ทุกกลุ่มทดลองไม่พบความแตกต่างทางสถิติทั้ง 4 ช่วงระยะเวลาเลี้ยง 1-4, 5-8, 9-12, 13-16 สัปดาห์และตลอดการเลี้ยง 1-16 สัปดาห์ (Table 4)

2) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ผลการศึกษาประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของไก่พื้นเมืองลูกผสมทางการค้าตลอดการเลี้ยงของกลุ่มทดลองที่ 3-6 มีค่าช่วง 2.77-2.95 มากกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่า 2.49 และกลุ่มที่ 2 มีค่า 2.75 หากพิจารณาการเลี้ยงในช่วง 1-4 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 4-6 มีค่าเฉลี่ยช่วง 1.76-1.83 มากกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่า 1.71 และกลุ่มที่ 2 ที่ค่า 1.68 ในช่วง 5-8 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 4-6 มีค่าเฉลี่ยในช่วง 2.46-2.98 ใกล้เคียงกลุ่มควบคุมที่มีค่า 2.62 และกลุ่มที่ 2 ที่ค่า 2.56 ในช่วง 9-12 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 4-6 มีค่าเฉลี่ยช่วง 2.67-3.02 ใกล้เคียงกลุ่มควบคุมที่มีค่า 2.46 และกลุ่มที่ 2 ที่ค่า 2.71 และในช่วง 13-16 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 4-6 มีค่าเฉลี่ยช่วง 4.16-5.08 มากกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่า 3.38 แต่ใกล้เคียงกลุ่มที่ 2 ที่ค่า 4.48 ทั้งนี้ทั้ง 4 ช่วงระยะเวลาเลี้ยงที่ 1-4, 5-8, 9-12, 13-16 สัปดาห์และ

ตลอดการเลี้ยง 1-16 สัปดาห์ทุกกลุ่มการทดลองไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (Table 5)

3) ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว/วัน) ผลการศึกษาปริมาณอาหารที่กินของไก่พื้นเมืองลูกผสมทางการค้า ช่วงระยะเวลาเลี้ยงที่ 13-16 สัปดาห์ กลุ่มทดลองที่ 3 ที่ได้รับการเสริมสมุนไพรตำรับเครื่องตั้มยาระดับร้อยละ 0.25 มีปริมาณอาหารที่กินมากกว่ากลุ่มเสริมสารปฏิชีวนะคลอเตตราซัยคลิน (ร้อยละ 0.10) กลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับการเสริมสมุนไพรตำรับเครื่องตั้มยาระดับร้อยละ 0.75, 0.50 และ 1.00 ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนระยะเวลาเลี้ยงที่ 1-4, 5-8, 9-12 สัปดาห์และตลอดการเลี้ยง 1-16 สัปดาห์ทุกกลุ่มการทดลองมีปริมาณอาหารที่กินไม่แตกต่างทางสถิติ (Table 6)

4) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ผลการศึกษาประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่พื้นเมืองลูกผสมทางการค้าทุกกลุ่มการทดลองไม่พบความแตกต่างทางสถิติทั้ง 4 ช่วงระยะเวลาเลี้ยงที่ 1-4, 5-8, 9-12, 13-16 สัปดาห์ และตลอดการเลี้ยง 1-16 สัปดาห์ (Table 7)

5) ร้อยละการตาย ผลศึกษาทุกกลุ่มการทดลองตลอดการเลี้ยงไม่แตกต่างทางสถิติ (Table 8)

6) ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/กิโลกรัมอาหาร) ผลการศึกษาทุกกลุ่มการทดลอง ไม่พบความแตกต่างทางสถิติทั้ง 4 ช่วงระยะเวลาเลี้ยงที่ 1-4, 5-8, 9-12, 13-16 สัปดาห์ และตลอดการเลี้ยง 1-16 สัปดาห์ (Table 9)

Table 4 Average dairy gain (ADG) of Thai native crossbred chicken supplemented with herbal mixture tom yum accessories (gram/bird/day)

Period (week)	Treatment						P
	Tom yum (%)						
	T1 Control	T2 CTC	T3 0.25%	T4 0.50%	T5 0.75%	T6 1.00%	
Initial wt.(g)	39.18	39.31	39.18	39.56	40.56	38.93	0.928
Final wt.(g)	2274.86	2152.64	2065.99	2135.72	2063.75	2110.00	0.344
1-4	12.75±5.79	13.00±6.31	12.17±5.31	12.03±5.58	11.88±5.28	11.75±5.21	0.999
5-8	20.93±2.47	22.19±6.13	20.43±2.64	19.86±6.30	21.25±3.04	19.58±4.12	0.963
9-12	23.30±22.11	23.11±13.43	22.72±15.98	22.21±16.97	19.00±16.40	24.71±7.38	0.998
13-16	22.65±14.85	17.15±14.13	17.03±7.48	20.73±2.67	20.10±8.72	20.62±11.92	0.972
1-16	19.91±12.99	18.86±10.45	18.09±9.28	18.71±9.47	18.06±9.52	19.16±8.46	0.996

Values are expressed as mean ± standard deviation

Table 5 Feed conversion ratio (FCR) of Thai native crossbred chicken supplemented with tom yum accessories

Period (week)	Treatment						P value
	Tom yum (%)						
	T1 Control	T2 CTC	T3 0.25%	T4 0.50%	T5 0.75%	T6 1.00%	
1-4	1.71±0.09	1.68±0.05	1.76±0.08	1.83±0.05	1.76±0.08	1.78±0.12	0.268
5-8	2.62±0.44	2.56±0.67	2.65±0.43	2.98±1.04	2.46±0.42	2.73±1.06	0.941
9-12	2.46±0.62	2.71±0.15	2.80±0.65	2.67±0.63	3.02±0.62	2.97±0.92	0.901
13-16	3.38±1.03	4.48±1.68	5.08±1.36	4.29±0.52	4.26±1.52	4.16±1.61	0.777
1-16	2.49±0.80	2.75±1.26	2.95±1.38	2.87±1.08	2.77±1.15	2.82±1.24	0.938

Values are expressed as mean ± standard deviation

Table 6 Feed intake (FI) of Thai native crossbred chicken supplemented with tom yum accessories (gram/bird/day)

Period (week)	Treatment						P value
	Tom yum (%)						
	T1 Control	T2 CTC	T3 0.25%	T4 0.50%	T5 0.75%	T6 1.00%	
1-4	21.93±10.40	21.66±9.87	21.60±9.97	22.15±10.36	21.03±9.79	21.09±9.57	1.000
5-8	54.80±7.10	54.86±10.05	54.18±10.62	54.84±8.48	52.09±9.07	50.72±8.07	0.976
9-12	81.29±3.73	82.38±4.96	84.00±3.92	80.61±4.54	80.97±3.94	78.69±5.04	0.661
13-16	92.30±0.00 ^c	94.40±0.65 ^b	96.00±0.00 ^a	92.12±0.16 ^c	92.30±0.00 ^c	91.08±0.50 ^d	0.000
1-16	77.42±14.80	78.50±15.95	79.54±16.82	77.04±14.88	76.58±16.08	74.80±16.02	0.973

Values are expressed as mean±standard deviation, ^{abcd} Mean within a row with different letter differ significantly (P<0.05)

Table 7 Feed efficiency (FE) of Thai native crossbred chicken supplemented with tom yum accessories

Period (week)	Treatment						P value
	Tom yum (%)						
	T1 Control	T2 CTC	T3 0.25%	T4 0.50%	T5 0.75%	T6 1.00%	
1-4	74.45±13.29	74.05±13.98	75.93±13.93	78.32±12.34	74.20±12.06	76.00±13.50	0.997
5-8	51.27±7.71	50.67±4.98	52.60±4.82	54.84±6.72	49.97±5.77	50.41±6.36	0.875
9-12	38.83±4.55	39.04±4.00	41.36±4.03	40.51±3.94	41.46±3.67	41.13±4.39	0.892
13-16	31.37±3.46	33.14±1.91	35.23±2.23	33.61±3.16	34.06±3.17	32.62±3.36	0.569
1-16	54.77±22.30	55.07±21.69	57.11±21.55	57.69±22.94	55.98±20.59	56.18±21.35	0.999

Values are expressed as mean ± standard deviation

Table 8 Mortality percentage of Thai native crossbred chicken supplemented with tom yum accessories

Period (week)	Treatment						P value
	Tom yum (%)						
	T1 Control	T2 CTC	T3 0.25%	T4 0.50%	T5 0.75%	T6 1.00%	
1-4	0.00	3.75	2.50	0.00	0.00	0.00	0.107
5-8	2.50	1.30	3.85	2.50	2.50	1.25	0.916
9-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
13-16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
1-16	2.50	5.00	6.25	2.50	2.50	1.25	0.623

Values are expressed as mean ± standard deviation

Table 9 Feed cost of Thai native crossbred chicken supplemented with tom yum accessories (Baht/kilogram feed)

Period (week)	Treatment						P value
	Tom yum (%)						
	T1 Control	T2 CTC	T3 0.25%	T4 0.50%	T5 0.75%	T6 1.00%	
1-4	19.25±3.56	19.32±3.92	18.90±3.53	18.23±3.09	19.25±3.22	18.76±3.52	0.998
5-8	27.72±3.90	27.82±2.62	26.77±2.29	25.83±3.14	28.31±3.25	27.96±3.47	0.880
9-12	31.23±3.64	30.93±3.13	29.22±2.87	29.82±2.94	29.10±2.54	29.40±3.12	0.872
13-16	38.58±3.97	36.27±2.15	34.14±2.19	35.91±3.34	35.43±3.12	37.05±3.59	0.492
1-16	29.19±7.93	28.58±6.90	27.25±6.20	27.44±7.19	28.02±6.55	28.13±6.89	0.974

Values are expressed as mean ± standard deviation

2. วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลวิจัยพบว่าสมรรถภาพการผลิตทั้ง 6 กลุ่มทดลองไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ทั้งอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้ออาหาร การเลี้ยงมีการเจริญเติบโตวันละ 11.32 กรัม

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่พบความแตกต่างทางสถิติทั้ง 4 ช่วงระยะเวลาการเลี้ยง (Table 5) ตลอดการเลี้ยงกลุ่มเสริมสมุนไพรตำรับต้มยามีค่าในช่วง 2.77 – 2.95 ค่าใกล้เคียงกลุ่มควบคุมและกลุ่มเสริมสารปฏิชีวนะคลอเตตราซัยคลินที่มีค่า 2.49 และ 2.75 ตามลำดับ ซึ่งผลทดลองดังกล่าวมีความสอดคล้องหากเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Namkhun *et al.* (2001) ได้รายงานประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของไก่พื้นเมืองที่อายุ 4, 8 และ 12 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ 2.45 2.56 และ 2.80 ตามลำดับและสอดคล้องกับ Sompen *et al.* (2005) ศึกษาการเสริมสมุนไพรเชิงตำรับฟ้าทะลายโจร บอระเพ็ด และทองพันชั่ง ที่ความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร และยาปฏิชีวนะคลอเตตราซัยคลินความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตรพบว่าประสิทธิภาพการใช้อาหารและอัตราการรอดชีวิต ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Table 7) ตลอดการเลี้ยงของกลุ่มทดลองที่ 3-6 มีค่าช่วงร้อยละ 55.98–57.07 ซึ่งมีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มเสริมสารปฏิชีวนะที่มีค่าร้อยละ 54.77 และ 55.07 ตามลำดับ ซึ่งอาจมีผลจากสมุนไพรตำรับต้มยาที่พริกสามารถช่วยเพิ่มน้ำย่อยไลเปส และโปรเตเอสในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมของไก่เนื้อ ช่วยให้สัตว์กินอาหารเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไก่ใช้ประโยชน์จากอาหารมากขึ้น นอกจากนี้ชา ตะไคร้ และใบมะกรูดเสริมสรรพคุณยับยั้งหรือทำลายเชื้อแบคทีเรีย และขับลมในลำไส้จึงส่งผลดีต่อระบบทางเดินอาหารไก่จึงมีผลการเจริญเติบโตดีขึ้น (Kaewdirek, 2005; Chaichanthipyuth *et al.*, 1981) สำหรับร้อยละการตาย (Table 8) ของไก่พื้นเมืองลูกผสมทางการค้าทุกกลุ่มการทดลอง ตลอดการเลี้ยงไม่พบความแตกต่างทางสถิติ โดยกลุ่มทดลองที่ 3-6 มีค่าช่วงร้อยละ 0.07-0.39 ซึ่งใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุมที่ร้อยละ 0.15 และกลุ่มเสริมสารปฏิชีวนะที่ร้อยละ 0.31 ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงครั้งนี้ ได้ไก่ทดลองที่มีสุขภาพแข็งแรง และ

ประสิทธิภาพการใช้อาหารร้อยละการตาย ต้นทุนค่าอาหาร โดยอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยมีค่า 18.06–19.91 กรัมต่อตัวต่อวัน (Table 4) พบว่ามีค่าสูงกว่ารายงานของ Choprakarn *et al.* (2000) ที่รายงานว่าไก่พื้นเมืองตลอดการเสริมด้วยปัจจัยบวกของระบบสุขภาพและจัดการฟาร์มที่ดี ทำให้ร้อยละ การตายของทุกกลุ่มมีค่าที่น้อยมาก และต้นทุนค่าอาหารทุก (Table 9) กลุ่มการทดลอง ตลอดการเลี้ยงไม่พบความแตกต่างทางสถิติ โดยกลุ่มทดลองที่ 3-6 มีต้นทุนค่าอาหารช่วง 27.25-28.13 บาท/กิโลกรัมอาหาร ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มควบคุมที่ 29.19 บาท/กิโลกรัมอาหาร และกลุ่มเสริมสารปฏิชีวนะที่ 28.58 บาท/กิโลกรัมอาหาร ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าการเสริมสมุนไพรตำรับต้มยาทุกระดับมีผลลดต้นทุนค่าอาหารได้แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

สรุปผลการวิจัย

การเสริมสมุนไพรตำรับต้มยาระดับร้อยละ 0.25 ในอาหาร มีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กินได้ในช่วงระยะเวลาเลี้ยงที่ 13-16 สัปดาห์ มากกว่ากลุ่มทดลองอื่นพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และในภาพรวมของงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า การเสริมสมุนไพรตำรับต้มยาทุกระดับ ไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตจึงควรมีขยายผลวัดพารามิเตอร์อื่นเพื่อส่งเสริมใช้ในการเลี้ยงไก่ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่สนับสนุนทุน สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรมหาวิทยาลัยราชภัฏ-เพชรบุรี สำหรับสถานที่ทำวิจัย ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์เพชรบุรี ที่ให้การอนุเคราะห์การวิเคราะห์โภชนาอาหารทดลองและคำแนะนำวิจัยจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา ศิริวิญญูกุล จึงใคร่ขอบคุณหน่วยงานและบุคคลดังกล่าวข้างต้นที่ช่วยเหลือจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

References

- Aeumthammachart, S. 2000. Study on the effects of some medicinal plants in the family zingiberaceae on the growth of some bacteria. Abstract: Thai traditional medicine research and future research directions, Thai Traditional Medicine Institute. Page 239.
- AOAC. 1999. Official methods of analysis. Washington, D.C. Association of official analytical chemists.
- Blumberger, W. and Glatzel, H. 1965. Physiology of species and condiment S. V. salivary: Effects of Paprika. Chem. Abs. 63: 15420f.
- Boonbumrung, S. 2006. Study on aroma functional properties of Thai Tom Yum essential oils. Full Report, Office of the Higher Education Commission and Research Fund.
- Chaichanthipyuth, C., Harntrakul, M., Poonsuk, K., Reungsamran, S., Pengpreecha, S. and Petchsom, A. 1981. Herb. No. 2: Preliminary data collection for the research project of herbal research project, Chulalongkorn University.
- Choprakarn, K., Watanakul, W. and Suriyachanchathong, W. 2000. Native and native chickens. Past and present. Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University.
- Inouye, S., Tsuruoka, T., Watanabe, M., Takeo, K., Akao, M., Nishiyama, Y. and Yamaguchi, H. 2000. Inhibitory effect of essential oils on apical growth of *Aspergillus fumigates* by vapour contact. Mycoses. 43(1-2): 17-23.
- Jie, Z., Makoto, N., Yuetsu, T. and Shigeru, M. 2002. Capsaicin inhibits growth of adult T-cell leukemia cells. Leukemia Research. 27 (3): 275-283.
- Kaewdirak, A. 2005. Supplementation of Crude Extract from Capsicum spp. in Broilers Diet. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Department of Animal Science. Kasetsart University.
- Kaithin, R. 2006. Study on the optimum level of red chili in duck diets affecting egg yolk color. Faculty of Science and Technology. Surat Thani Rajabhat University.
- Khunpichai, M. and Klinsukol, R. 2005. Use of *Capsicum frutescense* pigment source in quail. Bachelor degree special problem. Program in animal science, Faculty of agricultural technology, Phetchaburi Rajabhat university.
- Meesap, K. 2005. Optimization Condition for Production of Dried Tom Yum Spices Produced by Microwave Vacuum Dryer and Hot Air Dryer. Master thesis in Applied Microbiology, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Namkhun, S., Moratop. S., Indarachot, U. and Bhambutr, S. 2001. Native chicken farming. In the project to conserve and utilize sustainable Thai native chicken. Animal Husbandry Division, Department of Livestock Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Guide to Native Chicken Farming (page 8-11). Bangkok. The Agricultural Co-operatives Federation of Thailand.
- Noppon, B., Khaeng-ae, S., Chantarasanit, W. and Noimay, P. 2002. Supplementation of galangal powder infeds on growth of broilers. Thai Herbs Conference Opportunities and New Options in the Animal Production Industry. October 24-25, 2002. Maruay Garden Hotel Bangkok. Pages 244-253.
- Sompen, P., Jarenpa, S., Buranarom, K. and Kumjudpai, S. 2005. The Study on Thai Herbs Additional on

Performance of Native Chickens Production. Agricultural Sci. J. 40 : 1 (Suppl.) : 67-70

Temirirukkul, R., Chittrakul. K., Sittichaugul, L. and Panich, W. 1999. Herbs: Medicine should know. Bangkok. Amarin Printing & Publishing The Thailand Research Fund. Establishment foundation stocks of four breeds of Thai indigenous chicken [online]. [Accessed October 4, 2016]. Available from URL: http://www.trf.or.th/RE/x.asp?Art_ID=207.

Vinitketkumnuen, U., Puatanachokkhia, R., Kongtawelert, P., Lertprasertsuke, N. and Matsushima, T. 1994. Antimutagenicity of lemon grass (*Cymbopogon citrates* Stapf) to various know mutagens in Salmonella mutation assay. Mutation Research. 341(1): 71-75.

Windisch, W., Schedle, K., Plitzner, C. and Kroismay, A. 2008. Use of phytogetic product as feed additives forswine and poultry. Journal of Animal Science. 86 (E. Suppl.): E140-E148.

Wuthiudomlert, M., Luanratana, O. and Suriyawong, P. 2001. Agar diffusion test in antifungal activity screeningof herbal extracts. Abstracts of the 39thKasetsart University Annual Conference, 5-7February 2001.

Yu, J., Fang, H., Chen, Y. and Yao, Z. 1988. Identification of the chemical components of two *Alpinia* species. Zhongyao Tongbao; 13(6): 354-6.

ผลของระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและลักษณะซากของเป็ดบาร์บารี

ทรงศักดิ์ จำปาหวะดี*, ญัฐนันท์ แสนทวีสุข, ศิริษร ประเสริฐวิทย์ และ ศุภิสรา ทาสีงาม

หน่วยวิจัยทรัพยากรอาหารสัตว์และโภชนศาสตร์สัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต และ ลักษณะซากของเป็ดบาร์บารี โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ใช้เป็ดบาร์บารี อายุ 4 สัปดาห์ จำนวน 72 ตัว แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 6 ตัว แต่ละกลุ่มได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักที่มีโปรตีนที่ระดับ 12, 16 และ 20% ผลการทดลองพบว่าเป็ดบาร์บารีที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักที่มีโปรตีนที่ระดับ 16 และ 20% มีปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันไม่มีความแตกต่างกัน แต่สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีน 12% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระดับโปรตีนในอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักและลักษณะซากอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักที่มีระดับโปรตีน 16% มีความเหมาะสมในการใช้ผลิตเป็ดบาร์บารีมากกว่า เนื่องจากมีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับอาหารที่มีโปรตีน 20%

คำสำคัญ: ระดับโปรตีน อาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมัก สมรรถนะการเจริญเติบโต และ ลักษณะซาก

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: songsak.c@msu.ac.th

Effect of Protein Levels in Fermented Complete Feed on Growth Performance and Carcass Characteristic in Barbary Duck

Songsak Chumpawadee^{*}, Nuttanan Saenthaweek, Sirison Prasertwit and Supisara Thaseengam

Animal Feed Resource and Animal Nutrition Research Unit, Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Maha Sarakham University, Maha Sarakham, 44150, Thailand

Abstract

The objectives of this study were to determine the effect of protein levels in fermented complete feed on growth performance and carcass characteristic in Barbary duck. Seventy two Barbary duck, 4 weeks of age were divided into 3 groups 4 replications in each group and 6 ducks in replication. Completely Random Design was used in statistical analysis in this experiment. The dietary treatments were 1) fermented complete feed 12% of crude protein (CP), 2) fermented complete feed 16% of CP and 3) fermented complete feed 20% CP. The results were showed that dry matter feed intake and average daily gain were significantly different among treatment ($P<0.05$). Duck fed with 16% CP and 20% CP diet were not different in dry matter intake and average daily gain, but higher than duck fed with 12%CP diet. Feed conversion ratio and carcass characteristics were not significantly different among treatments. Fermented complete feed 16% CP was more suitable for Barbary duck production in order, and it was lower cost when compared to 20% CP.

Keywords: Protein levels, Fermented complete feed, Growth performance and Carcass characteristic

* Corresponding author: E-mail: songsak.c@msu.ac.th

บทนำ

เปิดนับเป็นสัตว์เศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายทั่วไปเกือบทุกจังหวัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการบริโภคเนื้อและไข่สำหรับการเลี้ยงเปิดในปัจจุบันได้พัฒนามาสู่การเลี้ยงในเชิงการค้ามากขึ้น โดยเฉพาะการเลี้ยงเปิดพันธุ์เนื้อที่ได้รับความนิยมในการเลี้ยงมากกว่าในอดีตหลังจากได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ต่าง ๆ จนเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น โดยเฉพาะสายพันธุ์ปักกิ่ง เปิดเทศ พันธุ์เซอร์วัลเลย์ พันธุ์บาร์บารี และ พันธุ์ลูกผสม เป็นต้น แต่ในระยะการขุนใช้ระยะเวลาเลี้ยงนานและใช้อาหารเป็นจำนวนมากเพื่อให้ได้น้ำหนักตามที่ต้องการตามท้องตลาด เกษตรกรผู้เลี้ยงจึงมักประสบปัญหาขาดทุนและกำไรน้อยเนื่องจากอาหารสัตว์มีราคาแพง ในขณะที่เดียวกันผลผลิตที่ได้จากการเลี้ยงสัตว์กลับมีราคาไม่สมดุลกับต้นทุนค่าอาหารสัตว์ที่สูงขึ้น เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ไม่ว่าจะเป็นการขนาดเล็กหรือฟาร์มขนาดใหญ่จำเป็นต้องหาวิธีการลดค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์ การลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์โดยหลักการก็คือการลดราคาของสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ให้ต่ำลงในขณะที่คุณค่าทางโภชนาของสูตรอาหารยังคงเดิมโดยปกติอาหารเปิดจะเป็นอาหารแบบอัดเม็ดหรืออาหารแบบผงแต่อย่างไรก็ตามอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักเป็นทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่สามารถใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูงมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผสมอาหารได้เช่นการใช้เศษเหลือใช้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่กากมันสำปะหลัง เปลือกแป้งมันสำปะหลังหรือแม้แต่หัวมันสำปะหลังบด (Suksupath *et al.*, 1990) หรือวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงอย่างอื่น นอกจากอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักจะมีข้อดีดังที่กล่าวมาแล้วยังมีข้อดีอย่างอื่นด้วยเช่น ไม่เป็นฝุ่น มีความน่ากินสูง มีรสเปรี้ยวจากกรดอินทรีย์ที่ผลิตขึ้นจากจุลินทรีย์ช่วยส่งเสริมการย่อยได้ นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักซึ่งจะช่วยส่งเสริมการย่อยได้ของสัตว์อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม อาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักจะมีข้อจำกัดคือความฟาม และมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่สูงซึ่งเป็นตัวจำกัดปริมาณการกินได้ของสัตว์ ดังนั้นการคำนวณสูตรอาหารจะต้องคำนึงถึงปริมาณโภชนาที่สัตว์ได้รับต้องเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ โปรตีนเป็นโภชนาตัวหนึ่ง

ที่มีความสำคัญในอาหารปกติทั่วไปเปิดเนื้อในระยะ 1-2 เดือนต้องการโปรตีนที่ระดับ 16% (NRC, 1994) แต่ยังคงขาดข้อมูลระดับโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักสำหรับเปิดบาร์บารีอายุ 1-2 เดือนดังนั้นการทดลองนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงผลของระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและลักษณะซากของเปิดบาร์บารี

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมโรงเรือนทดลองและสัตว์ทดลอง

ทำการจัดแบ่งคอกออกเป็น 12 คอกขนาดคอก คอกละ 2 ตารางเมตร แล้วพ่นน้ำยาฆ่าเชื้อและโรยปูนขาว จากนั้นนำแกลบรองพื้นทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ นำเปิดบาร์บารีคลอดเพศอายุ 1 วัน จำนวน 100 ตัว มากกกในวงล้อมกกเดียวกัน ให้อาหารการค้ำที่มีโปรตีน 22% พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 2,900 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม จนอายุได้ 3 สัปดาห์ ทำการปรับสภาพก่อนเข้าการทดลอง 1 สัปดาห์ โดยการใช้อาหารอาหารหมักทดลองที่มีโปรตีน 16% พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ค่อยๆทดแทนอาหารการค้ำ คัดเฉพาะเปิดที่มีขนาดสม่ำเสมอจำนวน 72 ตัว แบ่งเป็น 12 คอก คอกละ 6 ตัว โดยมีสัดส่วนเพศผู้เพศเมียเท่ากันในแต่ละคอก ทำการทดลองต่อเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

2. การเตรียมอาหารทดลอง

ผสมอาหารสูตรที่คำนวณ โดยอาหารที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 3 สูตร ซึ่งมี%โปรตีนที่แตกต่างกัน คือ 12%, 16% และ 20% มีพลังงาน 3,000 (kcal/kg) ทำการหมักเป็นระยะเวลา 21 วัน (Table 1)

3. แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) แบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มๆ การทดลองละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 6 ตัว รวมเป็น 12 หน่วยทดลอง โดยแต่ละกลุ่มการทดลองประกอบด้วย กลุ่มการทดลองที่ 1 กลุ่มที่ได้รับอาหารหมักที่มีระดับโปรตีน 12% กลุ่มการทดลองที่ 2 กลุ่มที่ได้รับอาหารหมักที่มีระดับโปรตีน

16% กลุ่มการทดลองที่ 3 กลุ่มที่ได้รับอาหารหมักที่มีระดับโปรตีน 20%

4. การเก็บข้อมูลและการบันทึกข้อมูล

ทำการบันทึกน้ำหนักตัวเริ่มต้นในแต่ละเช้าและทำการชั่งน้ำหนักทุก ๆ สัปดาห์จนครบ 4 สัปดาห์ การให้อาหารจะให้ 2 ช่วง คือ ช่วงเช้า เวลา 7.00 น. และช่วงเย็น เวลา 17.00 น. ให้น้ำสะอาดและอาหารให้กินอย่างเต็มที่ตลอดระยะเวลาการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 4 สัปดาห์ บันทึกปริมาณการกินได้ในแต่ละเช้าทุกวัน ในช่วงที่เปิดอายุได้ 1 เดือนก่อนเข้าทดลองทำการฉีดวัคซีนอหิวาต์ เมื่อเปิดอายุได้ 2 เดือน สุ่มเปิดจำนวน 2 ตัวต่อหน่วยการทดลอง โดยเป็นเพศผู้ 1 ตัว และ เพศเมีย 1 ตัว อดอาหารอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักมีชีวิต ฆ่าชำแหละ ชั่งน้ำหนักหลังถอนขน เอาเลือดออก และชั่งน้ำหนักหลังเอาเครื่องในออกเพื่อวัด%ซากหลังจากนั้นแยกชิ้นส่วนเพื่อทำการทำการประเมินลักษณะซากโดยแบ่งออกเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรม SAS (SAS, 1996)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบทางโภชนาของสูตรอาหารทดลองจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักเมื่ออายุการหมักครบ 21 วัน พบว่ามีโปรตีน ใกล้เคียงกับที่คำนวณไว้ และสูตรอาหารทั้งสามสูตร มีเยื่อใย ไขมันและเถ้าใกล้เคียงกัน แต่มีวัตถุแห้งที่ต่างกันคือ ในสูตรอาหารที่มีโปรตีน 20% มีวัตถุแห้งสูงที่สุดดัง Table 1

2. ผลของระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักต่อปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต และการแลกเปลี่ยนของเปิดบาร์บารี

ความต้องการสารอาหารของสัตว์มีความสัมพันธ์กับปริมาณอาหารที่กินในแต่ละวัน ปริมาณการกินได้สามารถเป็นตัวชี้วัดถึงโภชนาที่สัตว์จะได้รับจากการทดลองใน Table 2 จะเห็นได้ว่าปริมาณการกินได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อในสูตรอาหารมีโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับ Roy *et al.* (1994) ได้ทำการทดลองในเปิดเนื้อพันธุ์ปักกิ่งอายุ 4-8 พบว่า เปิดในกลุ่มที่ได้รับโปรตีนต่ำมีปริมาณการกินได้ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีนสูง สาเหตุที่ทำให้เปิดบาร์บารีในกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักที่มีระดับโปรตีน 12% มีปริมาณการกินได้ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักที่มีระดับโปรตีน 16 และ 20% เนื่องจากสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 12% จะมีส่วนประกอบของกากมันสำปะหลังในปริมาณมาก เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีเยื่อใยสูงทำให้อาหารมีความฟาม จึงส่งผลต่อปริมาณการกินได้

อัตราการเจริญเติบโตของสัตว์มีผลมาจากหลายปัจจัย เช่น ปริมาณอาหารที่กินประสิทธิภาพของการย่อย เป็นต้น จากการทดลองพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของเปิดบาร์บารีในกลุ่มที่ได้รับโปรตีนในระดับ 12% มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 16 และ 20% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Wang *et al.* (2013) ที่ทดลองในเปิดเซอร์วีลเลย์ พบว่าเมื่อเปิดได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงจะเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีนในระดับต่ำ

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักหรือ FCR เป็นดัชนีบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเลี้ยงและการจัดการจากการทดลองได้ศึกษาผลของระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักของเปิดบาร์บารีโดยให้อาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักที่มีระดับโปรตีนที่แตกต่างกัน พบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

3. ผลของระดับโปรตีนในสูตรอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักต่อลักษณะซากของเปิดบาร์บารี

จากการทดลองผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย%ซากปีกเนื้อก่อนง่เปิดติดสะโพกและ%ไส้, ตับ, กั้น และเนื้อที่กินได้ ของทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

($P>0.05$) (Table 4) ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับโปรตีนในอาหารไม่ส่งผลต่อคุณภาพซากของเป็ดบาร์บารี ลักษณะซากจะขึ้นกับอาหารประเภทพลังงานมากกว่าอาหารประเภท

โปรตีนในอาหารทั้งสามสูตรมีระดับพลังงานที่เท่ากันจึงไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะของซาก

Table 1 Fermented complete feed ration

Feed stuff	12% Crude protein		16% Crude protein		20% Crude protein	
	%DM	%Asfed	%DM	%Asfed	%DM	%Asfed
Cassava peel	26.0	31.85	20.0	28.44	15.0	25.11
Cassava pulp	25.0	51.42	20.0	47.76	15.0	42.18
Corn meal	9.0	3.12	9.0	3.62	9.0	4.27
Rice bran	9.0	3.05	9.0	3.54	9.0	4.17
Palm oil	3.0	0.93	4.0	1.43	5.0	2.11
Cane molasses	6.0	2.10	6.0	2.44	6.0	2.88
Soybean meal, 44%CP	19.0	6.58	29.0	11.66	38.0	17.99
Salt	0.25	0.08	0.25	0.09	0.25	0.11
Red soil	0.65	0.22	0.65	0.26	0.65	0.3
MCP, 22%P	1.0	0.31	1.0	0.36	1.0	0.42
Urea	0.1	0.03	0.1	0.04	0.1	0.05
Sugar	1.0	0.31	1.0	0.36	1.0	0.42
	100		100		100	
Water, kg		15		15		15
Premixed for fermented feed, kg		0.2		0.2		0.2
Chemical composition						
Crude protein, (%)		12.97		16.93		20.93
ME, kcal/kg		3,147		3,071		3,006
Dry matter, (%)		31.06		36.09		39.39
Ether extract, (%)		8.10		8.31		8.78
Crude fiber, (%)		5.83		6.43		6.41
Ash, (%)		7.03		7.92		7.64

Note: MCP = Mono calcium phosphate, 22%P

Table 2 Effect of protein levels in fermented complete feed on productive performance in Barbary duck

Weeks	Protein levels			SEM	P-Value
	12 %	16 %	20 %		
Dry matter feed intake, g/h/d					
1	122.55 ^c	143.51 ^b	154.41 ^a	4.01	0.0001
2	163.02 ^b	186.65 ^a	181.56 ^a	3.22	0.0001
3	166.50 ^b	183.52 ^a	180.75 ^a	2.96	0.0214
4	155.16 ^b	173.41 ^a	179.29 ^a	3.60	0.0024
1-4	140.86 ^b	171.77 ^a	174.00 ^a	5.48	0.005
Average daily gain, g/h/d					
1	39.64	77.15	74.64	9.93	0.24
2	46.43	57.14	53.57	3.21	0.42
3	62.86	62.14	60.00	3.73	0.95
4	31.00	43.21	38.57	3.83	0.44
1-4	45.00 ^b	53.66 ^a	54.29 ^a	1.71	0.02
Feed conversion ratio					
1	2.95	2.99	2.17	0.17	0.09
2	3.79	3.37	3.57	0.24	0.81
3	2.63	3.30	3.22	0.23	0.48
4	4.76	5.17	4.96	0.47	0.94
1-4	3.13	3.20	3.20	0.18	0.52

Note: SEM=standard error of the means

^{a,b,c} means within the same row were significant different $p < 0.05$

Table 3 Effect of protein levels in fermented complete feed on carcass characteristic in Barbary duck (%)

Carcass composition	Protein levels			SEM	p-value
	12 %	16 %	20%		
Carcass yield (% of LW)	78.88	79.30	79.84	0.82	0.91
Thigh, %	16.69	17.02	18.88	0.64	0.36
Wing, %	12.85	13.00	13.30	0.36	0.89
Breast, %	15.21	14.45	14.30	0.40	0.66
Liver, %	2.35	2.39	2.45	0.09	0.91
Gizzard,%	4.18	4.18	4.08	0.19	0.97
Intestinal, %	3.73	3.44	3.50	0.15	0.75
Eatable meat, %	44.48	44.47	46.48	0.80	0.94

สรุปผลการวิจัย

ผลของระดับโปรตีนในอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักส่งผลต่อมีปริมาณการกินได้และอัตราการเจริญเติบโต โดยเปิดที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 16 และ 20% มีปริมาณการกินได้และอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าเปิดที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักที่มีโปรตีน 12% แต่ไม่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักและลักษณะซากของเป็ดบาร์บารี ดังนั้นควรใช้สูตรอาหารที่มีโปรตีน 16% ในอาหารผสมสำเร็จรูปแบบหมักในเป็ดบาร์บารี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาสัตวศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการและสถานที่ในการทำการวิจัย

References

- NRC. 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th ed. National Academy of Science Washington, DC.
- Roy, D.R., Ali, M.A. and Chowdhury, S.D. 1994. Effects of varying levels of dietary protein on the performance and production cost of white Pekin ducklings. International Journal of Poult. Sci. 7(2): 249-254
- SAS, Institute. 1996. SAS User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Suksupath, S., Tanpipat, S. and Sitthigripong, R. 1990. Using of protein richest fermented cassava in duck meat ration. King mongkut's Agricultural Journal. 8(3): 9-17. (in Thai)
- Wang, C., Huang, Y., Chen, W., HuiXu, L., QuXie, L., Chen, Q. and He, G. 2013. Effects of Different Protein Levels on Growth Performance, Carcass Characteristics and Blood Parameters of Cherry Valley Ducks. J. of Anim. and Vet. Adv. 12: 1605-1609.

การพัฒนาการผลิตไก่เบตงในเชิงพาณิชย์ของเกษตรกร ในอำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา

ครวญ บัวศิริ^{1*}, มงคล เทพรัตน์¹ และ ธัญจิรา เทพรัตน์²

¹โปรแกรมวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

²ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมรรถภาพการผลิตไก่เบตงในสภาพการของเกษตรกร และ ความเป็นไปได้ในการใช้ไก่เบตงสำหรับตลาดข้าวมันไก่ ประกอบด้วย 2 การศึกษา 1) สมรรถภาพการผลิตไก่เบตงในสภาพการเลี้ยงของเกษตรกร และ 2) ความเป็นไปได้ในการใช้ไก่เบตงสำหรับตลาดข้าวมันไก่ จากการศึกษาการเลี้ยงไก่เบตงในสภาพของเกษตรกร (เกษตรกรเข้าร่วมโครงการ 7 ราย) แต่ละรายเลี้ยงไก่เบตงอายุ 1 สัปดาห์ จำนวน 30 ตัว ไก่ได้รับอาหารสำเร็จรูปทางการค้าระดับโปรตีน 21% โดยให้กินแบบเต็มที่มีอาหารและน้ำให้กินตลอดเวลา พบว่า สมรรถภาพการผลิต (น้ำหนักสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร) ในการผลิตไก่เบตงที่เลี้ยงในสภาพของเกษตรกรมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าการเลี้ยงในสภาพการจัดการของฟาร์มอย่างดี ในทุกช่วงอายุของการเลี้ยง (7-60, 60-120 และ 7-120 วัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ไก่ที่เลี้ยงในสภาพของเกษตรกรยังมีสมรรถภาพการผลิตไม่เต็มศักยภาพ การส่งเสริมเกษตรกรเลี้ยงไก่เบตงควรให้ความรู้ด้านการจัดการ การให้อาหารในระยะต่าง ๆ เพื่อลดการสูญเสียในส่วนดังกล่าว ซึ่งจะช่วยให้ผลตอบแทนในการเลี้ยงสูงขึ้น และมีความยั่งยืน สำหรับความการศึกษาเป็นไปในการใช้ไก่เบตง สำหรับตลาดข้าวมันไก่ใน อำเภอเมือง และ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้แบบสอบถามผู้บริโภคข้าวมันไก่และ ผู้ประกอบการข้าวมันไก่ จำนวน 200 และ 20 ชุด ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า การตัดสินใจเลือกซื้อข้าวมันไก่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับรสชาติ/ความอร่อยของข้าวมันไก่ (92.96%) มากเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมา คือ ความสะอาด (59.15%) ความน่ารับประทาน (57.04%) และ ความมีชื่อเสียง (40.85%) ตามลำดับ และไม่รู้จักไก่เบตง (46.74%) ในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง และยอมรับได้หากข้าวมันไก่ใช้ไก่เบตงในการประกอบอาหารในช่วง 10-20% โดยในส่วนผู้ประกอบการข้าวมันไก่ พบว่า ส่วนใหญ่ผู้ประกอบการจะใช้ไก่พื้นเมือง (50%) นำมาทำข้าวมันไก่ รองลงมาเป็นไก่เนื้อ (33.33%) และมีบางส่วนที่ใช้ไก่ทั้งสองชนิดมาทำข้าวมันไก่ (16.67%) โดยน้ำหนักของไก่ที่ต้องการ เฉลี่ย 2.79 ± 0.26 กิโลกรัม ปริมาณความต้องการต่อร้าน เฉลี่ย 9.10 ± 3.15 ตัว/วัน และ มีบางส่วนยังไม่รู้จักไก่เบตง (25%) และคิดว่าถ้าหากนำไก่เบตงมาทำข้าวมันไก่ คิดว่าลูกค้ามีความต้องการซื้ออย่างแน่นอน โดยมีความเห็นว่า ราคาไก่เบตงที่ฆ่าแหละที่เหมาะสมอยู่ที่ 133.33 ± 5.37 บาท/กิโลกรัม

คำสำคัญ: สมรรถภาพการผลิต การจัดการไก่พื้นเมือง ไก่เบตง และ ข้าวมันไก่

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: kuanbu@hotmail.com

The Development of Betong Chicken Production for Commerce in Klong Hoi Kong District, Songkhla Province

Kruan Buakeeree^{1*}, Mongkol Thepparat¹ and Thunchira Thepparat²

¹*Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University,
Songkhla, 90000, Thailand*

²*Department of Animal Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University,
HatYai campus, Songkhla, 90110, Thailand*

Abstract

This study has two sections. The first section was to test the feasibility of Betong chicken under farmer (Klong Hoi Khong District, Songkhla Province) and intensive management. Under farmers management (7 farmers), 30 Betong chicken at one week of age were raised. The chickens were fed 21% of protein throughout experiment. Feed and water were given *ad libitum*. The results were shown that production performance (final weight, average daily gain, feed intake, and feed conversion ratio) under farmer management were significantly ($P < 0.05$) lower than intensive management, all periods (7-60, 60 - 120, and 7 - 120 days). These results were indicated that Betong chicken's performances under farmer management were lower than their potential performances. In order to extend Betong chicken, knowledge of management, feed and water should be promoted to succeed the project. The areas in this study were Hat Yai district and Muang Songkhla district. The methods of the study were 200 personal questionnaires and 20 cases for interviewing consumer and Hainanese chicken rice (HCR) sellers, respectively. The results were shown that the reasons for decision to buy HCR were flavor/taste of HCR (92.96%) followed by the cleanliness (59.15%), eatable (57.04%), and famous (40.85%), respectively. Consumers did not know Betong chicken (46.74%) high proportion and acceptable if price HCR increasing 10 -20% in case using Betong chicken for cooking. HCR vendors used indigenous chickens (50%), broiler (33.33%), and both types (16.67%) for cooking. Weight of chicken demand average 2.79 ± 0.26 kg/chicken, and each shop demanded 9.10 ± 3.15 chicken/day. Some HCR vendors did not know Betong chicken (25%). If use Betong chicken to cook HCR, they thought customers were looking to buy it. The reasonable price Betong chicken was 133.33 ± 5.37 baht/kg.

Keywords: Production performances, Native chicken, Management, Betong chicken and Hainanese chicken rice

* Corresponding author: E-mail: kruanbu@hotmail.com

เกษตรกรในภาคใต้ส่วนใหญ่มีอาชีพการทำสวนยางพารา ซึ่งเป็นการทำการเกษตรแบบเชิงเดี่ยวปัจจุบันมีการขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้น ราคาขายพารามีความผันผวนและตกต่ำอย่างต่อเนื่อง ส่งผลต่อรายได้ของเกษตรกรอย่างมาก ก่อให้เกิดปัญหาความยากจนของเกษตรกรตามมา ปัจจุบันหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องมีการส่งเสริมการทำการเกษตรแบบผสมผสาน เพื่อลดความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของรายได้ประหยัดค่าใช้จ่าย มีรายได้สุทธิเพิ่มมากขึ้นลดการพึ่งพิงจากภายนอก และลดการว่างงานตามฤดูกาล มีงานทำทั้งปี

การเลี้ยงไก่พื้นเมืองเพื่อเป็นอาชีพเสริมเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร และลดความเสี่ยงจากการผลิตแบบเชิงเดี่ยว เนื่องจากไก่พื้นเมืองเป็นสัตว์ที่อยู่คู่กับสังคมและระบบการเกษตรของไทยมาโดยตลอด เป็นแหล่งเงินทุนของเกษตรกรรายที่มีเงินจำกัดสามารถนำไปขายให้กับพ่อค้าได้ทันที ไก่พื้นเมืองในเขตภาคใต้ตอนล่างที่รู้จักกันดี และมีราคาค่อนข้างสูง คือ ไก่เบตง (Betong Chicken) โดยมีลักษณะปากมีสีเหลือง หงอนจักร ขนมีสีเหลืองตลอดลำตัวทั้งในเพศผู้และเพศเมีย ผิวน้ำตาลตลอดลำตัวมีสีเหลือง ขนปีกสั้น ไม่มีขนปีกแข็ง แข็งมีสีเหลืองตลอด

ในด้านสมรรถภาพการผลิตไก่เบตง พบว่าไก่เบตงเพศผู้และเพศเมียมีน้ำหนักตัวโตเต็มที่ 2.11-2.35 และ 1.68-1.78 กิโลกรัม ตามลำดับ (Chanjula *et al.*, 2004) ขณะที่ Gongruttananunand Chotesangasa (1996) รายงานว่า ไก่เบตงเพศผู้มีน้ำหนักโตเต็มที่สูงสุดไม่เกิน 3 กิโลกรัม และไก่เบตงเพศเมียมีน้ำหนักโตเต็มที่ประมาณ 1.5-1.9 กิโลกรัม ใกล้เคียงกับ Buakeeree and Nualhnuplong (2016a) ที่ศึกษาการเจริญเติบโตของไก่เบตงเพศเมียระยะรุ่น-สาว ช่วงอายุ 12 - 20 สัปดาห์ที่ได้รับอาหารโปรตีน 18% และมีพลังงาน 3000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอาหารพบว่า มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 1.49 กิโลกรัม นอกจากนี้ Buakeeree and Nualhnuplong (2016b) ได้รายงานว่าการเลี้ยงไก่เบตงเพศเมียช่วงอายุ 12-20 สัปดาห์โดยให้แสง 12 ชั่วโมงต่อวัน ไก่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 1.55 กิโลกรัม Chatreewong and Warea (2006) ได้

ศึกษาอายุและน้ำหนักที่เหมาะสมเมื่อส่งตลาด โดยการเลี้ยงไก่เบตงตั้งแต่แรกเกิดจนถึงอายุ 24 สัปดาห์ สรุปได้ว่าอายุของไก่เบตงเพศผู้ที่เหมาะสมเมื่อส่งตลาดควรเท่ากับ 20 สัปดาห์ โดยมีน้ำหนักประมาณ 2.0 กิโลกรัม ส่วนอายุของไก่เบตงเพศเมียที่เหมาะสมเมื่อส่งตลาดควรเท่ากับ 20 สัปดาห์ โดยมีน้ำหนักประมาณ 1.4 กิโลกรัม โดยเมื่อพิจารณาต้นทุนค่าอาหารและกำไร การเลี้ยงไก่เบตงผู้จะได้กำไรสูงสุดที่ 20 สัปดาห์ และมีน้ำหนักตัวประมาณ 2.0 กิโลกรัม มีกำไรต่อตัวหลังหักค่าอาหารเท่ากับ 117.64 บาท ส่วนเพศเมียได้กำไรสูงสุดที่ 14 สัปดาห์ และมีน้ำหนักตัวประมาณ 1.1 กิโลกรัม มีกำไรต่อตัวหลังหักค่าอาหารเท่ากับ 64.10 บาท

Roddumnern (1999) รายงานว่ารูปแบบการเลี้ยงไก่พื้นเมืองของเกษตรกรมีความหลากหลายขึ้นกับความสะดวกและความพร้อมของเกษตรกรจำนวนไก่ที่เลี้ยง วัตถุประสงค์การเลี้ยงความเหมาะสมของพื้นที่สามารถจำแนกการเลี้ยงเป็น 3 รูปแบบ คือ การเลี้ยงแบบปล่อยหรือการเลี้ยงแบบหลังบ้าน การเลี้ยงแบบขังคอก และการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย อย่างไรก็ตาม Charoenmoon *et al.* (2015) พบว่า ถึงแม้เกษตรกรส่วนใหญ่มีประสบการณ์การเลี้ยงไก่พื้นเมืองมาเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 11.17 ปี ก็ตามแต่เมื่อเกษตรกรประสบอุทกภัยได้รับแจกไก่พื้นเมืองจากรัฐเกษตรกรก็ยังขาดความพร้อมด้านสถานที่และความรู้ในการเลี้ยงไก่พื้นเมือง Abdelqader *et al.* (2007) รายงานว่าไก่พื้นเมืองมีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการดำรงชีพต่อครัวเรือนในชนบท อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดมากมายต่อประสิทธิภาพการผลิตจึงควรปรับปรุงการจัดการและเพิ่มประสิทธิภาพระบบการปรับปรุงพันธุ์

ดังนั้นการศึกษารังนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถภาพการผลิตไก่เบตงในสภาพการของเกษตรกรและความเป็นไปได้ในการใช้ไก่เบตงสำหรับตลาดข้าวมันไก่ เพื่อให้ได้ข้อมูลทางวิชาการประกอบการตัดสินใจของเกษตรกรเพื่อนำไปปรับใช้ในการเลี้ยงไก่เบตงอย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย 2 การศึกษา
1) สมรรถภาพการผลิตไก่เบตงที่เลี้ยงในสภาพการเลี้ยงของเกษตรกร และ 2) ความเป็นไปได้ในการใช้ไก่เบตงสำหรับตลาดข้าวมันไก่ โดยได้มีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. สมรรถภาพการผลิตไก่เบตงในสภาพการเลี้ยงของเกษตรกร

การศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถภาพการผลิตไก่เบตงที่เลี้ยงในสภาพการเลี้ยงของเกษตรกร และ ในสภาพการจัดการของฟาร์มอย่างดี ทำการคัดเลือกเกษตรกรจำนวน 7 ราย ในพื้นที่เป้าหมาย คือ ตำบลโคกม่วง และ ตำบลทุ่งลาน อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา มีอาชีพหลักคือ การทำสวนยางพาราโดยประเมินศักยภาพของพื้นที่ การเลี้ยง ความสามารถในการเลี้ยง หลังจากนั้นให้ความรู้กับเกษตรกร ในด้านการจัดการ การให้อาหาร การสุขาภิบาล โรงเรือน เป็นต้น

การเลี้ยงไก่เบตงในสภาพการเลี้ยงของเกษตรกร (มีโรงเรือนสำหรับให้ไก่นอน ขนาด 4 x 4 เมตร และ พื้นที่ลาน ประมาณ 15 ตารางเมตร) ไก่เบตงอายุ 1 สัปดาห์ ถูกสุ่ม (คละเพศ) เพื่อเลี้ยงในสภาพเกษตรกร รายละเอียด 30 ตัว ไก่ได้รับอาหารสำเร็จรูปทางการค้าระดับโปรตีน 21% โดยให้กินแบบเต็มที่มีอาหารและน้ำให้กินตลอดเวลาไก่ได้รับวัคซีน หลอดลมอักเสบ และนิวคาสเซิล ที่อายุ 1 สัปดาห์ และทำวัคซีนกัมโบโร ที่อายุ 2 สัปดาห์ และทำวัคซีนหลอดลมอักเสบ และนิวคาสเซิลที่อายุ 3 สัปดาห์อีกครั้งหนึ่ง

การเลี้ยงไก่เบตงในสภาพการจัดการของฟาร์มอย่างดี โดยทำการทดลองที่คอกทดลองในฟาร์มคณะเทคโนโลยีการเกษตร โดยทำการกั้นคอกย่อยสำหรับเลี้ยงขนาด 3 x 3 เมตร จำนวน 5 คอก แต่ละคอกมีไก่ (คละเพศ) อายุ 7 วันจำนวน 20 ตัว ไก่จะได้รับอาหาร น้ำ และวัคซีน เช่นเดียวกับของเกษตรกร

การจัดการข้อมูล บันทึกข้อมูลน้ำหนักไก่ โดยทำการสุ่มชั่งน้ำหนัก 25% ทุก 2 สัปดาห์ และเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงชั่งน้ำหนักทั้งหมดปริมาณอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงโดยข้อมูลที่ทำการบันทึกจะถูกนำมาคำนวณอัตราการใช้วัตถุดิบ (ADG) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FCR) และต้นทุน

ค่าอาหารต่อการผลิตไก่ 1 กิโลกรัม (FCR X ราคาอาหาร) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการใช้วัตถุดิบ ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไก่ 1 กิโลกรัม โดยใช้วิธี group t test

2. ความเป็นไปได้ในการใช้ไก่เบตงสำหรับตลาดข้าวมันไก่

การศึกษานี้ใช้แบบสัมภาษณ์ เพื่อรวบรวมข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้อง 2 กลุ่ม คือ ผู้บริโภคข้าวมันไก่ และผู้ประกอบการข้าวมันไก่ โดยมีกระบวนการศึกษาดังต่อไปนี้ การเลือกพื้นที่ศึกษาตามวัตถุประสงค์คือ ตลาดข้าวมันไก่ในอำเภอหาดใหญ่ และอำเภอเมืองสงขลา ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะเป็นสังคมเมือง ใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) และประเด็นคำถามกึ่งโครงสร้าง (semi structure interview) ผู้ที่เกี่ยวข้อง คือ 1) ผู้บริโภคข้าวมันไก่ และ 2) ผู้ประกอบการข้าวมันไก่ จำนวน 200 และ 20 ชุด ตามลำดับ ข้อมูลจากแบบสอบถาม ผู้บริโภคข้าวมันไก่ และผู้ประกอบการข้าวมันไก่ ถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติพรรณนา หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย หรือ%

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. สมรรถภาพการผลิตไก่เบตงในสภาพการเลี้ยงของเกษตรกร

สมรรถภาพการผลิตไก่เบตงในสภาพการเลี้ยงของเกษตรกร เปรียบเทียบกับการเลี้ยงไก่เบตงที่มีการจัดการของฟาร์มอย่างดี (ฟาร์มคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา) โดยเริ่มทำการศึกษาที่ไก่เบตงอายุ 7 วัน ผลการทดลองดังแสดงใน Table 1

จากผลการศึกษานี้พบว่าน้ำหนักตัวที่อายุ 120 วัน (ประมาณ 17 สัปดาห์) มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับรายงานของ Buakeeree and Nualhnuplong (2016a) Chatreewong and Waree (2006) และ รายงานของ Chanjula *et al.* (2004) อย่างไรก็ตาม ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ ชี้ให้เห็นว่าระดับของการจัดการมีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เบตงในทุก ๆ ด้านไม่ว่าจะเป็น การเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่ใช้ในการเลี้ยง และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไก่เบตง 1 กิโลกรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันประมาณ (72%) จากการสังเกตระหว่าง การ

เก็บข้อมูลพบว่า มีการตกหล่นของอาหารที่อยู่บนพื้นค่อนข้างสูงในแต่ละครั้งของการเก็บข้อมูล และเมื่อสอบถามในการให้อาหารของเกษตรกรพบว่าในแต่ละครั้งจะให้อาหารมากเกินไป ทำให้ไก่มีการเขี้ยว ทำให้อาหารร่วงหล่นค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกรมักจะดูแลหลังจากช่วงกรีดยางพาราเสร็จ ซึ่งอยู่ในช่วงสาย (9:00-10:00 น.) ทำให้ปริมาณการให้อาหารที่เลี้ยงค่อนข้างสูงสอดคล้องกับ Tangtaweewipat *et al.* (2005) ที่รายงานว่า การเลี้ยงไก่พื้นเมืองแบบขังคอก และให้อาหารสำเร็จรูปไก่ไข่ที่มีขายเป็นการค้าทั่วไป แม้ว่า จะช่วยให้แม่ไก่มีการสูญเสียน้ำหนักตัวในระหว่างการฟักดอง และช่วยให้ได้ลูกไก่ต่อปีสูงกว่า แต่เนื่องจากต้องเสียค่าอาหารมากกว่าการปล่อยให้ไก่หากินเองแล้วเสริมด้วยปลายข้าวผสมรำอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้มีแนวโน้มว่าได้กำไรต่ำกว่าการเลี้ยงแบบหลังบ้าน

จากข้อมูลในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าเกษตรกรมีความสามารถในการเลี้ยงไก่ อย่างไรก็ตาม การส่งเสริมเกษตรกรเลี้ยงไก่ควรให้ความรู้การจัดการไก่ในระยะต่าง ๆ การให้อาหารเพื่อลดการสูญเสียในส่วนดังกล่าว จะช่วยให้ผลตอบแทนในการเลี้ยงสูงขึ้น และการเลี้ยงไก่เบตงมีความยั่งยืน

2. ความเป็นไปได้ในการใช้ไก่เบตงสำหรับตลาดข้าวมันไก่

2.1 ความความคิดเห็นของผู้บริโภคข้าวมันไก่ จากการเก็บข้อมูลแบบสอบถามของผู้บริโภคข้าวมันไก่ในเขตอำเภอหาดใหญ่ และ อำเภอเมืองจังหวัดสงขลา พบว่า จากผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 200 ราย มีผู้ตอบแบบสอบถามที่เป็นเพศชาย คิดเป็น 57.75% และเพศหญิง 42.25% โดยส่วนใหญ่ นับถือศาสนาพุทธ (74.81%) และอิสลาม (25.19%) และการศึกษา อยู่ในระดับประถมศึกษา (7.09%) มัธยมศึกษา (26.24%) ปวส./อนุปริญญา (24.82%) ปริญญาตรี หรือสูงกว่า (41.85%) และ มีรายได้เฉลี่ย 10,182.54 บาท/เดือน

พฤติกรรมกรรมการบริโภคข้าวมันไก่ของผู้บริโภคข้าวมันไก่ในเขตอำเภอหาดใหญ่ และ อำเภอเมืองสงขลา พบว่า เหตุผลการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวมันไก่ของผู้บริโภคให้ความสำคัญ กับรสชาติ/ความอร่อยของข้าวมันไก่ สำหรับปัจจัยทางด้านราคา การแนะนำ และ การโฆษณา มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวมันไก่ค่อนข้างน้อย จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า รสชาติของข้าวมันไก่มีความสำคัญค่อนข้างมากต่อการตัดสินใจซื้อ ดังนั้นผู้ประกอบการต้อง

พัฒนาข้าวมันไก่ของตนเองโดยมุ่งเน้นในเรื่องรสชาติเป็นสำคัญ สำหรับความถี่ในการบริโภคข้าวมันไก่ พบว่าส่วนใหญ่ผู้บริโภคจะรับประทานข้าวมันไก่เฉลี่ยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 48.31±23.55 บาท/คน/ครั้ง (Table 2)

การรับรู้เรื่องไก่เบตงของผู้บริโภคพบว่าผู้ที่รู้จักไก่เบตง และไม่รู้จักไก่เบตง มี% ที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อถามว่าถ้ามีข้าวมันไก่เบตงจะซื้อหรือไม่ พบว่า ส่วนใหญ่ซื้อและผู้ตัดสินใจซื้อมีความเห็นว่า ราคาข้าวมันไก่เบตงที่ยอมรับได้สูงกว่าข้าวมันไก่ที่ใช้ไก่ชนิดอื่นในการประกอบอาหาร 10 - 20% (Table 3) จากข้อมูลดังกล่าว ชี้ให้เห็น การสร้างการรับรู้ไก่เบตงให้ผู้บริโภคเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นเพื่อให้ผู้บริโภคเกิดการยอมรับ และเพิ่มการบริโภคมากขึ้น เพราะส่วนที่ไม่ซื้อ และยังไม่ตัดสินใจซื้อข้าวมันไก่ที่ทำจากไก่เบตงมีสัดส่วนค่อนข้างสูงควรใช้คุณสมบัติของไก่มาอธิบาย เพื่อสร้างภาพลักษณ์ของตัวผลิตภัณฑ์ เช่น รสชาติที่อร่อยของไก่เบตงเมื่อเปรียบเทียบกับไก่พื้นเมืองทั่วไป หรือไก่เนื้อ นอกจากนี้เมื่อพิจารณา ราคาของข้าวมันไก่เบตงของผู้บริโภคยอมรับได้ในกรณีที่ไก่เบตงมีราคาสูงกว่าปกติ ดังนั้นการที่จะส่งเสริมให้มีการเลี้ยงไก่เบตงมีความยั่งยืน ควรมีการสร้างการรับรู้ไก่เบตงให้กับผู้บริโภค เป็นกิจกรรมหนึ่งที่มีการดำเนินการควบคู่กันไป

2.2 ความความคิดเห็นของผู้ประกอบการข้าวมันไก่ จากการเก็บข้อมูล สถานะทางสังคมและเศรษฐกิจของผู้ประกอบการข้าวมันไก่ ที่ตอบแบบสอบถามในครั้งนี้ เป็นเพศหญิง และเพศชายในสัดส่วนที่เท่ากัน โดยส่วนใหญ่ นับถือศาสนาพุทธ (91.67%) มีเพียงส่วนน้อยที่นับถือศาสนาอิสลาม (8.33%) โดยมีการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาเป็นส่วนใหญ่ (66.67%) ปวส./อนุปริญญา (25%) ปริญญาตรี /สูงกว่า (8.33%) ประกอบอาชีพขายข้าวมันไก่เฉลี่ย 22.50 ±16.31 ปี ใช้แรงงานในร้านเฉลี่ย 4.00 ±0.83 คน และมีรายได้เฉลี่ย 38,750 ±10028.37 บาท/เดือน โดยไก่ที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการข้าวมันไก่ พบว่า ไก่ที่นำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ข้าวมันไคนั้น พบว่าส่วนใหญ่ผู้ประกอบการจะใช้ไก่พื้นเมือง (50%) โดยปริมาณความต้องการต่อร้าน เฉลี่ย 9.10 ±3.15 ตัว/วัน โดยน้ำหนักเฉลี่ยไก่ที่นำมาใช้ 2.79±0.26 กิโลกรัม (Table 4) จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ไก่เบตงน่าที่จะเป็นที่ต้องการของผู้ประกอบการธุรกิจข้าวมันไก่ เนื่องจากไก่เบตงมีภาพลักษณ์

เป็นไก่พื้นเมือง ความต้องการของตลาดยังมีอยู่สูง อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่า ผู้ประกอบการข้าวมันไก่มีความต้องการไก่ที่มีน้ำหนักตัวค่อนข้างสูง (น้ำหนัก ประมาณ 2.5 กิโลกรัมขึ้นไป) ดังนั้น การส่งเสริมการเลี้ยงไก่เบตง จึงควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านการเพิ่มสมรรถภาพการผลิตให้สูงขึ้น ดังนั้นการศึกษาวิจัยในด้านต่าง ๆ เช่น การปรับปรุงพันธุ์ การจัดการทางด้านอาหารจึงยังมีความจำเป็นอยู่

การรับรู้ไก่เบตงของผู้ประกอบการข้าวมันไก่ ส่วนใหญ่รู้จักไก่เบตง (75%) และ มีบางส่วนยังไม่รู้จัก

ไก่เบตง (25%) และคิดว่าถ้าหากนำไก่เบตงมาทำข้าวมันไก่คิดว่าลูกค้ามีความต้องการซื้ออย่างแน่นอน โดยมีความเห็นว่า ราคาไก่เบตงที่ชำแหละ ที่เหมาะสม 133.33 ± 5.37 บาท/กิโลกรัม (Table 5) จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ไก่เบตงเป็นที่ต้องการผู้ประกอบการธุรกิจขายข้าวมันไก่ และสามารถขายได้ราคาสูง อย่างไรก็ตามการสร้างความรับรู้ของไก่เบตงยังมีความจำเป็นที่จะต้องมีการดำเนินการ เพราะจากข้อมูลจะสังเกตได้ว่า ผู้ประกอบบางส่วนยังไม่รู้จักไก่เบตง

Table 1 Production performance (mean ± SD) Betong Chicken under Farmers and Intensive management

Items	Final weight (g)	ADG	FI	FCR	Mortality (%)	Cost (Bath/kg)
Age 7-60 day						
Farmers	788.6 ^a ±63.6	10.1 ^a ±1.2	2,115.7 ^b ±240.1	3.3 ^b ±0.4	2.4±3.2	58.6 ^b ±8.6
Intensive	861.7 ^b ±36.0	11.7 ^b ±0.8	1,628.3 ^a ±56.0	2.3 ^a ± 0.1	1.7± 4.1	41.1 ^a ± 2.3
Age 60-120 day						
Farmers	1,741.4 ^a ±124.8	15.4 ^a ±2.7	4,735.7 ^b ±793.5	5.0 ^a ±0.9	3.4±4.7	88.3 ^a ±15.4
Intensive	1,860.0 ^b ±79.0	17.2 ^b ±0.8	3,980.0 ^a ±144.2	4.0 ^b ± 0.3	0.9 ± 2.1	70.8 ^b ±5.9
Age 7-120 day						
Farmers	1,741.4 ^a ±124.8	12.4 ^a ±1.1	6,957.1 ^b ±574.9	4.6 ^b ±0.6	5.2± 4.2	80.4 ^b ±11.3
Intensive	1,860.0 ^b ±79.0	13.8 ^b ±1.0	5,608.3 ^a ±162.5	3.3 ^a ±0.2	2.5 ± 6.1	58.3 ^a ±2.9

ADG = average daily (g/head/day), FCR = feed conversion ratio, FI = feed intake (g/head)

^{a,b} difference letter in same column were significant difference (P < 0.05)

Table 2 Consumers behavior of Hainanese chicken rice

Items	
Reasonably for making decision in Hainanese chicken rice	
Flavor/taste (%)	92.96
Eatable (%)	57.04
Cleanliness (%)	59.15
Brand (%)	40.85
Reasonable price (%)	13.38
Suggestion by friend (%)	17.61
Advertisement (%)	4.23
Frequency	
Every day (%)	6.38
2 – 3 days/time (%)	17.73
One a week (%)	52.48
More than week/time (%)	23.40
Expense/time (Bath; mean ±SD)	48.31±23.55

Table 3 Consumers' perception of Hainanese chicken rice from Betong chicken

Items	
Perception (%)	
Known	53.26
Unknown	46.74
Demand for Betong chicken (%)	
Yes	56.36
No	25.45
uncertain	18.18
Price of perception (%)	
Upper 10% of normal price	56.62
Upper 20% of normal price	31.52
Upper 30% of normal price	11.96

Table 4 Characteristic of chicken were used for Hainanese chicken rice

Items	Mean	SD
Type of chicken (%)		
Indigenous	50.00	
Broiler	33.33	
Indigenous and Broiler	16.67	
Average of body weight	2.79	0.26
Number of chicken selling (heads/day)	9.10	3.15

Table 5 Consumers' perception of Betong chicken

Items	Mean	SD
Perception (%)		
Known	75.00	
Unknown	25.00	
Demand for Betong chicken (%)		
Yes (%)	100.00	
Reasonable price of Betong chicken (Baht/kg)	133.33	5.37

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบการเลี้ยงไก่เบตงในหมู่บ้านครั้งนี้พบว่าสมรรถภาพการจัดการการเลี้ยงไก่เบตงโดยเกษตรกรพิจารณาจากน้ำหนักสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโตปริมาณอาหารที่กิน และ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ของไก่เบตงที่เลี้ยงในสภาพเกษตรกร ในช่วงอายุ 7-60, 60-120 และ 7-120 วัน ต่ำกว่าการเลี้ยงในสภาพการจัดการของฟาร์มในทุกช่วงอายุ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่

การศึกษาความต้องการตลาดของไก่เบตงในด้านการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวมันไก่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ กับรสชาติ/ความอร่อยของข้าวมันไก่มากเป็นอันดับหนึ่งรองลงมา คือ ความสะอาด ความน่ารับประทาน และความมีชื่อเสียง ตามลำดับ และมีค่าใช้จ่ายในการบริโภคข้าวมันไก่ในแต่ละครั้ง 48.31 ± 23.55 บาท ผู้บริโภคยังไม่รู้จักไก่เบตงในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง และยอมรับได้หากราคาข้าวมันไก่เบตงมีราคาที่สูงกว่าข้าวมันไก่ที่ทำจากข้าวมันไก่ชนิดอื่น ๆ สำหรับผู้ประกอบการข้าวมันไก่ ใช้ไก่พื้นเมืองประกอบอาหารส่วนใหญ่ใช้ไก่พื้นเมืองเป็นหลัก มีบางส่วนที่ใช้ไก่เนื้อ โดยน้ำหนักของไก่ที่ต้องการ เฉลี่ย 2.79 ± 0.26 กิโลกรัม ปริมาณความต้องการต่อร้าน เฉลี่ย 9.10 ± 3.15 ตัว/วันและผู้ประกอบการบางส่วนยังไม่รู้จักไก่เบตง (25%) ดังนั้นในการพัฒนาการผลิตไก่เบตงในเชิงพาณิชย์ของเกษตรกร ในอำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลาเพื่อสร้างความยั่งยืนของการเลี้ยงไก่เบตงให้กับเกษตรกร ควรมีการจัดหลักสูตรฝึกอบรมระยะสั้น ในด้านอาหารและการให้อาหารให้กับเกษตรกร และการจัดการฟาร์ม ก่อนที่จะดำเนินการส่งเสริมการเลี้ยงรวมทั้งการสร้างการรับรู้ไก่เบตงให้กับคนทั่วไปจึงควรเป็นกิจกรรมหนึ่งที่เหมาะสมการควบคู่ไปด้วยเพื่อขยายตลาดให้มากขึ้นและการพัฒนาพันธุ์ไก่เบตงให้มีการเจริญเติบโตเร็วขึ้น จึงเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่ง เพื่อใช้เวลาในการเลี้ยงให้ได้น้ำหนักส่งตลาดสั้นลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาที่สนับสนุนทุนวิจัย และสถานีวิจัยการสัตวบาล คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาที่สนับสนุนสถานที่ทำการทดลองและขอขอบคุณเกษตรกรและผู้เกี่ยวข้องในโครงการทุกท่าน

References

- Abdelqader, A., Wollny, C.B.A. and Gauly, M. 2007. Characterization of local chicken production systems and their potential under different levels of management practice in Jordan. [online]. [Accessed August 5, 2017]. Available from: URL: <https://www.researchgate.net/publication/6147130>.
- Buakeeree, K and Nualhnuplong, P. 2016a. Effect of dietary protein and energy levels on growth performances and reproductive system development in female Betong chicken (*Gallus domesticus*) during growing-pullet period. Khon Kaen Agriculture J. 469-478.
- Buakeeree, K and Nualhnuplong, P. 2016b. Effects of photoperiod on production performances and reproductive development of female Betong chicken (*Gallus domesticus*). The 3rd IBCELC Conference Proceeding. Okinawa Japan. 45-51.
- Chanjula, P., Wanichapichart, W., Tongchumroon, T. and Laochareonsuk, S. 2004. A study of phenotypic characteristics, growth, carcass yield and egg performance of Betong chickens. Kasetsart J. (Nat. Sci.). 20: 278-288. (in Thai)
- Charoenmoon, K., Duangjinda, M., Laopaiboon, B., Saenchaisuriya, P., Phasukand, Y. and Kanhariang, S. 2015. Raising Thai native chicken and satisfaction with farmers in flooding area in KhonKaen province. Khon Kaen Agriculture J. 44: 995-1000. (in Thai)
- Chatreewong, D. and Waree, W. 2006. Optimum market age and weight of Betong chicken. Songklanakarin J. Sci. Technol. 28: 311-319. (in Thai)
- Gongruttananun, N. and Chotesangasa, R. 1996. A study of growth and carcass yield of Betong chickens compared with those of native and crossbred Betong x Native chickens. Kasetsart J. (Nat. Sci.). 30: 312-321. (in Thai)
- Roddumnern, S. 1999. Native Chicken Raising. Aksornsiamkarnpim. Bangkok. 88p. (in Thai).
- Tangtaweewipat, S., Sangdaoreung, S., Cheva-Isarakul, B., Siririsawas, B. and Punyachatrak, K. 2005. Production improvement of native chickens 1. Comparison of two feeding systems in two areas. Proceedings of 43rd Kasetsart University Annual Conference: Animals, Agro-Industry. http://agkb.lib.ku.ac.th/ku/search_detail/result. (in Thai)

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการรายจ่ายเพื่อลดต้นทุนการผลิตน้ำมันดิบ ในฟาร์มโคนมขนาดเล็ก อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม

สมมาต อีสุรัตน์*, โสภณ ละครพล, กมลรัตน์ พวงดอกไม้ และ ปวรพรรณ มีธรรม

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการรายจ่ายเพื่อลดต้นทุนการผลิตน้ำมันดิบในฟาร์มโคนมขนาดเล็ก อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม โดยใช้กลุ่มตัวอย่างสำหรับการศึกษา คือ ฟาร์มเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมในเขตอำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม รวมจำนวน 30 ฟาร์ม โดยมีเครื่องมือเป็นแบบสอบถาม แบบเติมคำหรือตัวเลขตามความเป็นจริง และแบบบันทึกผลการวิเคราะห์ โดยคณะผู้วิจัยได้ออกไปสำรวจและสอบถามข้อมูลจากทั้งสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมและจากฟาร์มเกษตรกร สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean)

จากผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมร้อยละ 90 ไม่มีการจดบันทึกรายละเอียดของค่าใช้จ่ายภายในฟาร์มและนำข้อมูลมาใช้ในการจัดการฟาร์ม ข้อมูลค่าใช้จ่ายร้อยละ 75 ของข้อมูลทั้งหมด เป็นข้อมูลจากทางสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนม ค่าใช้จ่ายรวมทั้งปี 25,503,815.23 บาท สามารถผลิตน้ำมันดิบได้ทั้งหมด 2,434,550.00 กิโลกรัม เมื่อนำมาคิดต้นทุนการผลิตน้ำมันดิบจะอยู่ที่ 10.48 บาทต่อกิโลกรัม และเมื่อนำค่าใช้จ่ายแต่ละหมวดมาหาค่าร้อยละ พบว่า ค่าอาหารข้นและอาหารหยาบคิดเป็นร้อยละ 80.61 ค่าแรงงานร้อยละ 5.53 ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงร้อยละ 1.42 และค่าใช้จ่ายอื่นๆ (ยา วัสดุ อุปกรณ์และค่าบริการผสมเทียม) ร้อยละ 8.70 และโคนมในฟาร์มเกษตรกรมีสายเลือดมากกว่าร้อยละ 87.5-93 จากการวิจัยครั้งนี้ถ้าหากเกษตรกรมีการนำค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในฟาร์มมาหาต้นทุนการผลิตน้ำมันดิบได้ ทำให้เกษตรกรเข้าใจและสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นลงได้โดยเฉพาะในหมวดค่าอาหารข้นและอาหารหยาบลง หรือการนำผลพลอยได้ทางการเกษตรเหลือทิ้งที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และราคาถูกนำมาให้สัตว์กินทำให้สัตว์สามารถให้ผลผลิตได้เท่าเดิม ร่วมกับการจัดการผสมพันธุ์โคนมไม่ให้มีสายเลือดสูงเกินร้อยละ 87.5-93 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการรายจ่ายเพื่อลดต้นทุนการผลิตนมได้

คำสำคัญ: การเพิ่มประสิทธิภาพ น้ำมันดิบ และ ต้นทุน

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: sommasi@hotmail.com

The Study on Increasing Effective in Expenses Management to Reduce Cost of
Milk Productivity of Small Holder Dairy Farm in Borabu District of
Maha Sarakham Province

Sommas Ittharat^{*}, Sopon Lakornpol, Kamonrat Puangdogmai and Porwornpan Meetham

Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham, 44000, Thailand

Abstract

The objective of this research was to study the effective increasing in expenses management to reduce cost of milk productivity of small holder dairy farm in Borabu District of Maha Sarakham Province. The sample subjects were 30 dairy farms in Borabu District of Maha Sarakham Province. The research team was collected data by question from the dairy co-operation and farmers. The statistic was used in data analysis; including percentage and average (mean).

The results of the study were found that 90% of dairy farmers did not note cost of farm. 75% of the data cost were received from the dairy co-operation. Total cost overall 25,503,815.23 baht could produce raw milk 2,434,550.00 kilograms. The cost of raw milk production was 10.48 baht/kg. Analysis in percentage of cost found that feed cost was 80.61% labor cost was 5.53%, water bill electricity bill and fuel bill were 5.16% and other groups (drugs material and artificial insemination service) were 8.70%. Feed cost was the highest cost in this research. The dairy cows in farms were 87.5-93% Holstein Friesian crossbred. If the dairy farmer have to be effective increasing in expenses management to reduce cost of milk productivity. They must reduce unnecessary cost in feed part only or using agricultural by product mixed in feed, and replacement, and used percentage of pedigree in Holstein Friesian crossbred dairy cows were not exceed. 87.5-93% in herd.

Keywords: Increasing effective, Raw milk and Cost

* Corresponding author: E-mail: sommasi@hotmail.com

อำเภอบรบือเป็นอีกหนึ่งอำเภอของจังหวัดมหาสารคามที่มีเกษตรกรประกอบอาชีพการเลี้ยงโคนมหนาแน่นมากและยังมีการเลี้ยงขยายตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นอาชีพที่สามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้เป็นอย่างดี มีราคาซื้อขายน้ำนมดิบเกือบจะเป็นราคาเดียวกันทั่วประเทศ เกษตรกรหลายสาขาอาชีพจึงหันมาเลี้ยงโคนมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มเครือข่ายและเกษตรกรที่อยู่ใกล้เคียง ส่งผลทำให้ราคาแม่โคสาวท้อง ณ ปัจจุบันมีราคาอยู่ที่ประมาณ 55,000 บาทต่อตัว และนับวันราคาแม่โคสาวท้องยิ่งจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากจำนวนแม่โคสาวทดแทนผลิตขึ้นมาไม่พอกับความต้องการของตลาด การที่จะได้ลูกโคเพศเมียมาเลี้ยงเพื่อเป็นโคสาวทดแทนจะต้องใช้เวลานานมาก แม่โคตั้งท้องนานเฉลี่ย 280 วัน (Somporn, 1995) และแม่โคจะกลับสัดหลังคลอดลูกได้ 40-70 วัน ทั้งนี้แล้วแต่สภาพร่างกายของแม่โคและอาหารที่แม่โคกิน (Opas, 2007) เมื่อมีการเลี้ยงโคนมมากขึ้น ปัจจัยทางการผลิตต่างๆ โดยเฉพาะวัตถุดิบอาหารสัตว์ก็จะถูกแย่งซื้อ ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ราคา ก็จะปรับตัวสูงขึ้น ทำให้ต้นทุนในการผลิตน้ำนมดิบสูงขึ้นตาม ที่ฟาร์มโคนมในจังหวัดเชียงใหม่จะมีต้นทุนน้ำนมเท่ากับ 11.77 บาทต่อกิโลกรัม (Wittaya *et al.*, 2008) และต้นทุนการผลิตน้ำนมดิบของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม 5 จังหวัดในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนมีค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 12.53 บาทต่อกิโลกรัม (Prajak *et al.*, 2010) หากเกษตรกรไม่สามารถที่จะปรับตัวเพื่อลดต้นทุนการผลิตลงได้ จะส่งผลให้การเลี้ยงโคนมต้องแบกรับภาระค่าใช้จ่ายต่างๆ มากมาย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าน่าจะศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการรายจ่ายเพื่อลดต้นทุนการผลิตน้ำนมดิบในฟาร์มโคนมขนาดเล็ก เพื่อจะได้นำผลการวิจัยไปใช้ในการช่วยแก้ปัญหาในการจัดการฟาร์มโดยเฉพาะในโคนมซึ่งเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญของเกษตรกรในจังหวัดมหาสารคาม

1. คณะผู้ทำการวิจัยได้เข้าไปติดต่อขอข้อมูลจากทางเจ้าหน้าที่ของสหกรณ์โคนมมหาสารคาม จำกัดและสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมโคกก่อ จำกัด เกี่ยวกับฟาร์มสมาชิกในเขตอำเภอบรบือ ปริมาณน้ำนมดิบของสมาชิกรายฟาร์มจำนวน 30 ฟาร์ม และค่าใช้จ่ายที่แต่ละฟาร์มซื้อสินค้าจากทางสหกรณ์

2. คณะผู้ทำการวิจัยได้เข้าไปติดต่อสอบถามข้อมูลจากฟาร์มเกษตรกรตามรายละเอียดที่ได้จากสหกรณ์โคนมทั้งสองแห่งโดยให้เกษตรกรเป็นผู้กรอกรายละเอียดข้อมูลเอง และข้อมูลบางส่วนผู้ทำการวิจัยจะต้องกรอกพร้อมกับสำรวจภายในบริเวณรอบๆฟาร์มของแต่ละฟาร์ม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วน โดยจะรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2558 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558

3. นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจากฟาร์มเกษตรกรที่เป็นประชากรกลุ่มตัวอย่างและสหกรณ์โคนมมากรอกลงในตารางรวบรวม แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ โดยใช้ค่าทางสถิติ เฉลี่ยและร้อยละ เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้นทั้งปีโดยแยกเป็นหมวดหมู่

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลรายจ่ายที่เกิดขึ้นภายในฟาร์มเกษตรกรทุกฟาร์มจะไม่มีกรจดบันทึกรายละเอียดและนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการจัดการรายจ่ายภายในฟาร์ม ข้อมูลส่วนใหญ่จึงได้จากระบบบัญชีของสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนม นอกจากนี้เกษตรกรยังขาดความรู้และทักษะการนำเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์มาใช้ประโยชน์ภายในฟาร์ม จากการรวบรวมข้อมูล แบบสอบถามและแบบบันทึกที่ครบสมบูรณ์ตามกรอบแนวคิดวิจัย จากกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมในเขตอำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 30 ฟาร์ม เป็นฟาร์มโคนมขนาดเล็กที่มีโคไม่เกิน 50 ตัว และฟาร์มที่มีโคไม่เกิน 30 ตัว จะใช้แรงงานจากครอบครัวเท่านั้น ส่วนฟาร์มที่มีโคมากกว่า 30 ตัว จะจ้างแรงงานช่วยงานฟาร์มละ 1 คน งานวิจัยจึงวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างดัง Table 1 และ Table 2 จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในหมวดอาหารสัตว์มีสัดส่วนสูงกว่าค่าใช้จ่ายหมวดอื่นๆ คิด

เป็นร้อยละ 80.61 และต้นทุนการผลิตน้ำนมดิบอยู่ที่ 10.48 บาท/กิโลกรัมค่าใช้จ่ายค่าอาหารชั้นและอาหารหย่าบ ค่ายา วัสดุ อุปกรณ์ และค่าบริการผสมเทียมที่นำมาแสดงทั้งหมด เป็นข้อมูลที่ได้จากทางสหกรณ์โคนมทั้งสองแห่งในจังหวัด มหาสารคาม เฉพาะฟาร์มสมาชิกในเขตอำเภอบรบือ ส่วน ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าน้ำมัน ค่าน้ำและไฟฟ้า ค่าแรงงาน เป็นข้อมูลจากเกษตรกร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์ต้นทุน โดยเปรียบเทียบผลจากร้อยละของค่าใช้จ่ายต่างๆเป็น หมวดหมู่ตามที่ Duangmanee (2010) ได้อธิบายไว้ว่า แม้ว่าทั้งค่าใช้จ่ายและขาดทุนจะเป็นรายการที่ลดรายได้ของ กิจการเหมือนกัน แต่ไม่นิยมที่จะแสดงยอดรวมไว้ในรายการ เดียวกัน ต้องแสดงแยกแต่ละรายการไว้ในงบกำไรขาดทุน อย่างชัดเจน เพื่อให้ผู้อ่านงบการเงินได้ทราบถึงความ แตกต่างของรายการดังกล่าว ดังนั้น ค่าอาหารชั้นและอาหาร หย่าบรวมทั้งหมด 20,557,847.62 บาทต่อปี ค่าแรงงานที่ ต้องจ้างมาช่วยทางฟาร์มรวมทั้งหมด 1,410,000.00 บาท ต่อปี ค่าน้ำไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงรวม 1,315,939.87 บาทต่อปี ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (ยา วัสดุ อุปกรณ์และค่าบริการ ผสมเทียม) รวมทั้งหมด 2,220,027.74 บาทต่อปี ค่าใช้จ่าย รวมทั้งปี 25,503,815.23 บาท สามารถผลิตน้ำนมดิบได้ ทั้งหมด 2,434,550.00 กิโลกรัมต่อปี แม่โคนมที่ให้ผลผลิตมี จำนวน 580 ตัว ดังนั้นแม่โคนมสามารถให้ผลผลิต 11.50 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน สอดคล้องกับงานทดลองของ Wittaya *et al.* (2008) ปริมาณน้ำนมเฉลี่ย 10.62 กิโลกรัมต่อตัวต่อ วัน เมื่อนำมาคิดต้นทุนการผลิตจะได้ 10.48 บาทต่อ กิโลกรัม ใกล้เคียงกับงานทดลองของ Prajak *et al.* (2010) ต้นทุนการผลิตค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 12.53 และงาน ทดลองของ Nawarat and Thanakorn (2011) และเมื่อนำ ค่าใช้จ่ายแต่ละอย่างมาหาค่าร้อยละพบว่า ค่าอาหารชั้นและ อาหารหย่าบคิดเป็นร้อยละ 80.61 ค่าแรงงานร้อยละ 5.53 ค่าน้ำ ไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงร้อยละ 1.42 และค่าใช้จ่าย อื่นๆ (ยา วัสดุ อุปกรณ์และค่าบริการผสมเทียม) ร้อยละ

8.70 และจากการสังเกตแม่โคส่วนใหญ่จะยืนน้ำลายยืด หอบ ไม่กินอาหาร เนื่องจากโคนมมีสายเลือดสูงกว่า 87.5- 93 เปอร์เซ็นต์ น้ำเชื้อพ่อพันธุ์ส่วนใหญ่เกษตรกรจะเลือกซื้อ น้ำเชื่อนำเข้าจากต่างประเทศ จึงทำให้โคนมไม่สามารถ ปรับตัวในสภาพอากาศร้อนได้ดี สอดคล้องกับ Thunwa (2012) โคนมลูกผสมสายพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียนสายเลือด มากกว่า 87.5-93 เปอร์เซ็นต์ สายเลือดสูงรวมกับการ จัดการไม่ดีทำให้ปริมาณผลผลิตต่ำ และสอดคล้องกับ Amut (2012) ที่กล่าวไว้ว่า การเลี้ยงโคนมจำเป็นต้องมี ความรู้ความเข้าใจในการจัดการด้านต่างๆอย่าง ครบคลุม เพื่อให้โคนมสามารถให้ผลผลิตได้ตาม ความสามารถทางพันธุกรรม การคัดเลือกโคนมก็ถือว่ามีความ สำคัญ ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของ ฟาร์มโคนมทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

จากการวิจัยพบว่าค่าใช้จ่ายที่ทำให้ต้นทุนสูง คือ ค่าอาหารชั้นและอาหารหย่าบ เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายหมวด อื่นๆสอดคล้องกับการวิจัยของ Opas and Wisit (2008) ถ้า ทางฟาร์มโคนมสามารถที่จะลดค่าอาหารลงได้หรือสามารถ หาวัตถุดิบอาหารสัตว์ การนำผลพลอยได้ทางการเกษตร เหลือทิ้งที่มีคุณค่าทางโภชนาการราคาถูกมาให้อัตว์กินแล้วสัตว์ ยังสามารถให้ผลผลิตได้เท่าเดิม ก็จะทำให้ต้นทุนการผลิต น้ำนมดิบลดลงได้ และยังคงทำให้ทางฟาร์มโคนมของ เกษตรกรมีกำไรเพิ่มขึ้น สามารถดำเนินกิจการการเลี้ยงโค นมได้อย่างยั่งยืนตลอดไป แต่ถ้าทางฟาร์มเกษตรกรยังใช้ อาหารสัตว์จากบริษัท ซึ่งมีราคาที่สูงและนับวันก็จะสูงขึ้น ก็ จะทำให้ต้นทุนการผลิตน้ำนมดิบของเกษตรกรสูงขึ้น อาจจะ สูงกว่าราคาซื้อขายน้ำนมดิบของสหกรณ์โคนม เกษตรกรก็จะ อยู่ในภาวะขาดทุน สอดคล้องกับการวิจัยของ Wittaya *et al.* (2008) และถ้าเกษตรกรสามารถจัดการฟาร์มที่ดีให้ เหมาะสมกับโคริโคนมที่มีสายเลือดสูงๆได้ ทำให้แม่โคผลิต นมต่อวันได้สูงก็จะเพิ่มประสิทธิภาพในการประกอบอาชีพ การเลี้ยงโคนม สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้

Table 1 Data analysis cost of raw milk productivity of 30 small holder dairy farm in Borabu District of Maha Sarakham Province

Farm	Feed(bath)	labour (bath)	Waterworks Electricity Fuel (bath)	Other cost (bath)	Total (bath)
30	20,557,847.62	1,410,000.00	1,315,939.87	2,220,027.74	25,503,815.23
Average	685,261.59	47,000.00	43,864.66	74,000.92	850,127.17
%	80.61	5.53	5.16	8.70	100

Note: The data in 2015

Table 2 A cost of raw milk productivity of 30 small holder dairy farms in Borabu District of Maha Sarakham Province

Farm	Total raw milk (Kg)	Total cost (bath)	A cost (bath/Kg)
30	2,434,550.00	25,503,815.23	-
Average	81,151.67	850,127.17	10.48

สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการรายจ่ายเพื่อลดต้นทุนการผลิตน้ำนมดิบในฟาร์มโคนมขนาดเล็ก อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม โดยเปรียบเทียบผลจากร้อยละของค่าใช้จ่ายต่างๆเป็นหมวดหมู่พบว่าค่าอาหารข้นและอาหารหยาบมีค่าสูงถึง 80.61% เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายหมวดอื่นๆ แม่โคนม 1 ตัวสามารถให้ผลผลิต 11.50 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อนำมาคิดต้นทุนการผลิตจะได้ 10.48 บาทต่อกิโลกรัม และจากการที่แม่โคให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำ เนื่องจากแม่โคนมส่วนใหญ่จะเป็นลูกผสมกับน้ำเชื้อพ่อพันธุ์ต่างประเทศที่มีสายเลือดสูง ไม่สามารถปรับตัวได้ในสภาพอากาศที่ร้อน ส่งผลให้แม่โคเหล่านี้ให้ผลผลิตไม่เท่าที่สายพันธุ์จะให้มันได้ดีในระบบการจัดการฟาร์มที่ยังไม่เหมาะสมต่อพันธุ์กรรม แต่ถ้าหากว่าเกษตรกรสามารถมีการจัดการระบบฟาร์มที่เหมาะสมกับพันธุ์กรรมโคนมเลือดสูงๆได้ แม่โคนมจะให้ผลผลิตมากขึ้น ประกอบกับลดค่าใช้จ่ายค่าอาหารโคนมลงโดยหาแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีราคา

ถูกมาทดแทนการซื้อจากบริษัทขายอาหารสัตว์ จะเป็นการลดต้นทุนในการผลิตน้ำนมดิบลงได้

เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมไม่มีการจดบันทึกค่าใช้จ่ายต่างๆหรือแม้แต่เก็บรวบรวมใบเสร็จค่าใช้จ่าย ประกอบกับการขาดความรู้และทักษะการนำเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์มาช่วยในการจัดการฟาร์ม จึงทำให้เกษตรกรไม่สามารถจัดการกับค่าใช้จ่ายต่างๆได้เหมาะสมกับการจัดการฟาร์ม หากเกษตรกรสามารถจัดการนำค่าใช้จ่ายต่างๆมาจัดเป็นระบบจะทำให้เกษตรกรเข้าใจและจัดการกับรายจ่ายที่เกิดขึ้นภายในฟาร์ม สามารถลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นลงโดยเฉพาะค่าใช้จ่ายในหมวดอาหารสัตว์หรือหาวัตถุดิบที่มีราคาถูกมาทดแทนได้ เป็นการเพิ่มศักยภาพให้ฟาร์มโคนมมีกำไรเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยดี โดยได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏ-มหาสารคาม ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

- Arnut, C. 2012. Dairy production. 1st ed. Maha Sarakham University. Maha Sarakham. 300p. (in Thai)
- Duangmanee, K. 2010. Cost accounting. Chulalongkorn University Printing House: Bangkok. (in Thai)
- Nawarat, S. and Thanakorn, R. 2011. The study of raw milk cost in dairy farm of Co-operation pupan sakon nakhon dairy limited. Bachelor of Accounting. Faculty of Management Science. And Bachelor of Food technology. Faculty of Agricultural Technology. Sakon Nakhon Rajabhat University. Sakon Nakhon. (in Thai)
- Opas, P. 2007. Animal productivity. Faculty of Management Science. Prince of Songkla University. (in Thai)
- Opas, P. and Wisit, S. 2008. Dairy production condition of small holder dairy farm in lower region of Thailand Northern. Faculty of Management Science. Prince of Songkla University. (in Thai)
- Prajak, A. Jara, L. Wittaya, P. Theera, J. and Anachat, K. 2010. The study rawmilk cost of dairy farm in upper region of Nothern. Education part and Livestock development. Regional office of Animal Health and Sanitary 5. Department of Livestock Development. (in Thai)
- Somporn, D. 1995. Artificial insemination. Faculty of Agricultural and Industrial. Ubon Ratchathani Rajabhat University. (in Thai)
- Thunwa, W. 2012. Dairy farm subject. Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology. Nakhon Sawan Rajabhat University. Nakhonsawan. (in Thai)
- Wittaya, S. Weerasak, P. Paramintr, W. Sakolrat, B. Wasana, C. and Kwanchai, C. 2008. Economic cost of rawmilk from dairyfarm in Chiangmai province. Bachelor of Ruminant Clinical. Faculty of Veterinary Medicin. Chiangmai University. Chiangmai. (in Thai)

ผลของการอดอาหารและการกลับมาให้อาหารต่อการเจริญเติบโตและระดับกลูโคส ในเลือดปลาตุกอย (*Clarias macrocephalus*)

รัตนสุตา ไชยเชษฐ¹, บัณฑิต ยวงสร้อย¹, ธงชัย จำปาศรี¹, ชไมพร จำปาศรี² และ
ศิริภาวี เจริญวัฒนศักดิ์^{1*}

¹ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

²ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

บทคัดย่อ

ผลของการอดอาหารและการกลับมาให้อาหารต่อการเจริญเติบโตและระดับกลูโคสในเลือดปลาตุกอย ทำการทดลองในปลาตุกอยน้ำหนักเฉลี่ย 40 ก. แบ่งเป็น 2 กลุ่มการทดลองคือ กลุ่มควบคุม (ให้อาหารสัปดาห์ที่ 1-8) และกลุ่มอดอาหาร (สัปดาห์ที่ 1-4) แล้วกลับมาให้อาหาร (สัปดาห์ที่ 5-8) ผลการอดอาหารในสัปดาห์ที่ 1-4 พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม (PWG) ค่าดัชนีตับ (HSI) และระดับกลูโคสในเลือดมีค่าลดลงตามระยะเวลาการอดอาหาร ($P < 0.05$) ส่วนผลของการกลับมาให้อาหารในสัปดาห์ที่ 5-8 พบว่า ค่าน้ำหนักตัวเพิ่มต่อวัน (ADG), PWG และค่า HSI มีค่าเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 5-8 ($P < 0.05$) ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตชดเชย (CC) เพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 7 ($P < 0.05$) และระดับกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 5-6 ($P < 0.05$) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปลากลุ่มอดอาหารกับปลากลุ่มควบคุมในแต่ละสัปดาห์ พบว่า PWG และปริมาณกลูโคสในเลือดของปลากลุ่มอดอาหารมีค่าน้อยกว่าปลากลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 1-4 ($P < 0.05$) และค่า HSI ของปลากลุ่มอดอาหารมีค่าน้อยกว่าปลากลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 2-4 ($P < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบปลากลุ่มกลับมาให้อาหารกับปลากลุ่มควบคุม พบว่า ADG และ PWG ของปลากลุ่มกลับมาให้อาหารมีค่าน้อยกว่าปลากลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 5-8 ($P < 0.05$) ในขณะที่ระดับกลูโคสในเลือดมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ในช่วงที่ปลาอดอาหารเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีอัตราการรอดตาย 100 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง แต่เมื่อมีการกลับมาให้อาหารอีกพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตชดเชยสูงสุด 34.52% ในสัปดาห์ที่ 7 ดังนั้น การงดให้อาหารในช่วงเวลาหนึ่งแล้วกลับมาให้อาหารอีกจึงมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตมากกว่าในปลาตุกอยกลุ่มควบคุม

คำสำคัญ: การอดอาหาร, การกลับมาให้อาหาร, การเจริญเติบโต, กลูโคสในเลือด และ ปลาตุกอย

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: kobkaew@kku.ac.th

Effects of Starvation and Re-Feeding on Growth Performance and Blood Glucose Level in The Broadhead Catfish (*Clarias macrocephalus*)

Rattanasuda Chaiyachate¹, Bundit Yuangsoi¹, Thongchai Champasri¹,
Chamaiporn Champasri² and Siripavee Charoenwattanasak^{1*}

¹Fisheries Department, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

²Biochemistry Department, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

Abstract

A study on effects of starvation and re-feeding on growth performance and blood glucose level in the broadhead catfish were conducted using the broadhead catfish average weight 40 g. The experiments were divided into 2 groups i.e. control group (fed in the 1-8th week), and starved (in the 1-4th week), then re-fed (in the 5-8th week) group. The results revealed that percentage weight gain (PWG), hepatosomatic index (HSI), and blood glucose level were decreased according to starved duration ($P < 0.05$). Next, effects of re-feeding, the results showed that average daily weight gain (ADG), PWG, and HSI were increased in the 5-8th week ($P < 0.05$). Compensation coefficient (CC) was increased in the 7th week ($P < 0.05$). Blood glucose level was increased in the 5-6th week ($P < 0.05$). In addition, PWG and blood glucose level were lower in the 1-4th week in the starved compared to the control group ($P < 0.05$). Likewise, HSI was lower in the 2-4th week in the starved compared to the control group ($P < 0.05$). In the final part of re-feeding has shown that ADG and PWG were lower in the 5-8th week in the re-fed group compared to the control group ($P < 0.05$), whereas blood glucose level was not significantly different ($P > 0.05$). Overall, these results indicate during the starvation for 4 weeks, the survival rate was 100%, the growth rate was decreased. However, after re-fed, the compensation coefficient was 34.52% in the 7th week. Therefore, after starvation, when the fish are re-fed, the growth rate was found to be higher than the control in the broadhead catfish.

Keywords: starvation, re-feeding, growth performance, blood glucose and *Clarias macrocephalus*

* Corresponding author: E-mail: kobkaew@kku.ac.th

ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมหรือสภาวะที่แห้งแล้ง แหล่งน้ำขาดความอุดมสมบูรณ์ ขาดแคลนอาหาร ทำให้สัตว์น้ำมีการอดอาหาร ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของร่างกาย แบ่งออกเป็น 3 ระยะ โดยในระยะที่ 1 เป็นการอดอาหารในช่วงเวลาสั้นๆ ร่างกายจะมีการงดกิจกรรมบางอย่างเพื่อถนอมพลังงาน และมีการใช้พลังงานที่สะสม โดยไกลโคเจนและโปรตีนบางส่วนจะถูกสลายให้ได้กลูโคส และการเจริญเติบโตหยุดชะงัก ระยะที่ 2 เป็นการอดอาหารในหลายสัปดาห์ ปลาบางชนิดมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเพื่อเตรียมการจำศีล พลังงานที่ใช้ได้มาจากการสลายไขมันที่สะสมในร่างกายและโปรตีนบางชนิด ทำให้สูญเสียมวลกาย และระยะที่ 3 เป็นระยะวิกฤติ ร่างกายใช้พลังงานจากโปรตีนในเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย ทำให้อวัยวะต่างๆ ทำงานล้มเหลว และตายในที่สุด โดยในปลาชนิดต่างกันจะมีช่วงเวลาในแต่ละระยะแตกต่างกันไป (Le Maho *et al.*, 1981; Mendez and Wieser, 1993; Bines, 1999; McCue, 2010) ระหว่างช่วงที่อดอาหารปลาจะเก็บรักษาพลังงานสำรองไว้ มีการลดการใช้พลังงาน งดกิจกรรมบางอย่าง และลดการว่ายน้ำ (Beamish, 1964; Wieser *et al.*, 1992; Yang and Somero, 1993) และมีการลดอุณหภูมิในร่างกาย (behavioural hypothermia) (Murray, 1971) การใช้พลังงานจากแหล่งที่สะสมไว้ทำให้มวลกายลดลง (Beamish, 1964; Murray, 1971; Wieser *et al.*, 1992; Yang and Somero, 1993) ปลาบางชนิด เช่น ปลาปอดอเมริกาใต้ (*Lepidosiren paradoxa*) ปลาปอดอาฟริกา (*Protopterus dolloi*) และปลาปอดอาฟริกา (*Protopterus aethiopicus*) มีการจำศีล (aestivation) เป็นเวลานานจนกว่าสภาวะแวดล้อมเหมาะสมจึงจะกลับมาดำรงชีวิตปกติ (Fitzinger, 1837; Greenwood, 1966; Frick *et al.*, 2008) ปลาที่มีการอดอาหารเป็นเวลานานแล้วมีการกลับมากินอาหารใหม่ ส่วนใหญ่จะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปลาที่ไม่มีการอดอาหารมาก่อน ซึ่งเรียกว่าการเจริญเติบโตชดเชย (compensatory growth) ปลาในกลุ่มนี้จะมีอัตราการเจริญเติบโตแบบเร่งในช่วงที่กลับมากินอาหาร ทำให้มีการเจริญเติบโตทันปลาในกลุ่มที่ไม่เคยอดอาหารมาก่อน (Wieser *et al.*, 1992; Ali

et al., 2003) การเจริญเติบโตชดเชยนี้มีประโยชน์ต่อการเพาะเลี้ยงปลาในด้านการจัดการการให้อาหารปลาต่อไป

กลูโคส (Glucose) เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของสัตว์ทุกชนิด ซึ่งได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรต หรือเปลี่ยนแปลงมาจากกรดอะมิโน ร่างกายมีการสลายกลูโคสเพื่อให้ได้พลังงาน (ATP และ NADH) เกิดจากกระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis) กลูโคสที่เหลือจากการนำไปสลายเพื่อให้พลังงานจะถูกเก็บสะสมในรูปของไกลโคเจนโดยกระบวนการไกลโคเจเนซิส (Glycogenesis) และถูกนำมาสลายให้ได้กลูโคสเมื่อระดับกลูโคสในเลือดต่ำ โดยกระบวนการไกลโคเจโนไลซิส (Glycogenolysis) เมื่อมีการอดอาหาร ร่างกายขาดกลูโคสเป็นระยะเวลานาน จะมีการสังเคราะห์กลูโคสจากสารไพรูเวท (Pyruvate) แลกเตท (Lactate) และกลีเซอรอล (Glycerol) โดยกระบวนการกลูโคนีโอเจเนซิส (Gluconeogenesis) การวัดระดับกลูโคสในเลือด เป็นวิธีที่มักใช้ในการวัดค่าทางชีวเคมีในสัตว์ที่อดอาหาร ซึ่งในระยะแรกอาจมีการเพิ่มปริมาณกลูโคสในเลือดในระดับสูงมาก และค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาที่อดอาหาร (Chavin and Young, 1970; Sakamoto and Yone, 1978; Woo and Cheung, 1980; McCue, 2010)

ปลาตุ๊กต๋อ (*Clarias macrocephalus* Gunther, 1864) เป็นปลาพื้นเมืองที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของไทย มีความต้องการทางตลาดสูง เนื่องจากเนื้ออร่อยรสชาติดี นำมาประกอบอาหารได้หลายอย่าง มีการแพร่กระจายทั่วทุกภาคในประเทศไทยและประเทศใกล้เคียง มีพฤติกรรมกินอาหารแบบกินทั้งพืชและสัตว์ มีความทนทานในน้ำที่มีออกซิเจนต่ำ เนื่องจากมีอวัยวะพิเศษ ที่ช่วยในการหายใจที่เรียกว่า arborescent organ หรือ dendrite (Munshi, 1961) อาศัยอยู่ตามแม่น้ำ คลอง บึง และทุ่งนา ทำให้ได้รับผลกระทบจากความแห้งแล้งในฤดูร้อนอยู่เสมอ นอกจากนี้ยังมีอายุเจริญพันธุ์ค่อนข้างเร็วประมาณ 6 เดือน เจริญเติบโตเต็มวัยสามารถนำมาเพาะขยายพันธุ์ได้จึงมีการพัฒนาและส่งเสริมการเพาะเลี้ยงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น การศึกษาผลของการอดอาหารและการกลับมาให้อาหารต่อการเจริญเติบโตในปลาตุ๊กต๋อ ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย อัตราการสูญเสียมวลกาย ความชื้น ค่าดัชนีตับ และระดับกลูโคสในเลือด จะเป็นข้อมูลพื้นฐานทางด้านการจัดการการให้อาหารที่เหมาะสมที่ทำให้

มีการเจริญเติบโตอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาคูกอย และการรักษาสมดุลในระบบนิเวศต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมการทดลอง

นำตัวอย่างปลาคูกอยที่มีอายุ 2.5 เดือน จากการเพาะพันธุ์และอนุบาลในหมวดประมง ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มาพักในบ่อซีเมนต์ 2 สัปดาห์ จากนั้นทำการทดลองในปลาคูกอยที่มีอายุ 3 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 40 ก. เลี้ยงในตู้กระจกขนาด 24 นิ้ว ปริมาตรน้ำ 20 ลิตร ตู้ละ 3 ตัว จำนวน 48 ตู้ แบ่งเป็น 2 กลุ่มการทดลองคือ กลุ่มควบคุมและกลุ่มอดอาหารแล้วกลับมาให้อาหาร ออกแบบการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) แต่ละกลุ่มการทดลองแบ่งเป็น 8 ชุดการทดลอง (8 สัปดาห์) ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

1) กลุ่มควบคุม (Control group) ให้อาหารในสัปดาห์ที่ 1-8 โดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับปลาคูกในอัตรา 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัวปลา ในเวลา 08.00 น. 12.00 น. และ 17.00 น.

2) กลุ่มอดอาหาร (Starved group) ในสัปดาห์ที่ 1-4 แล้วกลับมาให้อาหาร (Re-fed group) ในสัปดาห์ที่ 5-8 โดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับปลาคูกในอัตรา 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัวปลา ในเวลา 08.00 น. 12.00 น. และ 17.00 น.

ระหว่างการทดลองทำการเปลี่ยนน้ำ 50% ทุก 3 วัน และวัดคุณภาพน้ำทุกสัปดาห์ โดยวัดค่า อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และค่า pH ตามวิธีการของ APHA (1992) เพื่อสังเกตและควบคุมคุณภาพน้ำไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง โดยมีค่าคุณภาพน้ำ ดังนี้ อุณหภูมิ 24°C ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่า 5 มก./ลิตร และค่า pH เท่ากับ 7.5

2. การดำเนินการวิจัย

ในแต่ละสัปดาห์ทำการชั่งน้ำหนักปลา นับจำนวนปลารอดตาย วัดค่าดัชนีตับ คำนวณค่าการเจริญเติบโตของ

ปลา ตามวิธีการของ Brown (1957) วัดค่าความชื้นในกล้ามเนื้อโดยการนำไปอบให้แห้งด้วยเครื่องอบความร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 ชม. (AOAC, 1980) และวัดปริมาณกลูโคสในเลือดโดยวิธี hexokinase method ประเมินค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

1) น้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (average daily weight gain; ADG; กรัม/วัน)

= (น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักตัวเมื่อเริ่มทดลอง) / จำนวนวันที่ทดลอง

2) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม (percentage weight gain; PWG; %)

= (น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักตัวเมื่อเริ่มทดลอง) X 100 / น้ำหนักตัวเมื่อเริ่มทดลอง

3) อัตราการสูญเสียมวลกาย (percentage weight loss; PWL; %)

= น้ำหนักตัวที่ลดลง X 100 / น้ำหนักตัวเมื่อเริ่มทดลอง

4) อัตราการสูญเสียมวลกายต่อวัน (percentage daily weight loss; PDL; % /วัน)

= อัตราการสูญเสียมวลกาย / จำนวนวันที่ทดลอง

5) ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตชดเชย (compensation coefficient; CC)

= น้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ยต่อวันในกลุ่มกลับมาให้อาหาร / น้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ยต่อวันในกลุ่มควบคุม

6) ค่าดัชนีตับ (Hepatosomatic index, HSI; %)

= น้ำหนักตับ x 100 / น้ำหนักตัวปลา

7) ความชื้นในกล้ามเนื้อปลา (%)

= 100 - (น้ำหนักแห้ง x 100) / น้ำหนักเปียก

8) ระดับกลูโคสในเลือด (Blood glucose) (มก./ดล.) เก็บข้อมูลตามขั้นตอน ดังนี้

8.1) เก็บตัวอย่างเลือดปลา โดยทำให้สลบด้วยการแช่ในน้ำเย็นจัด จากนั้นเจาะเลือดปลาโดยใช้เข็มเบอร์ 24 และกระบอกฉีดยาขนาด 1 มล. เก็บเลือดปลาใน microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มล. แล้วแช่ในน้ำแข็ง นำเลือดปลาไปทำการแยกซีรัม (Serum) โดยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 5,000 รอบ/นาที อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 10 นาที แล้วเก็บส่วนที่เป็นซีรัมใน

microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มล. ที่อุณหภูมิ -20°C สำหรับรอการวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสในเลือดต่อไป

8.2) การวิเคราะห์หาปริมาณกลูโคสใช้สารละลาย 83.5 mM imidazole pH 7.4, 5 mM MgCl_2 , 0.2 mM NAD, 1 mM ATP, 1 unit hexokinase, 1 unit glucose-6-phosphate dehydrogenase และ 100 μl ซีรัมในปริมาตรทั้งหมด 1 มล. บ่มไว้ 5 นาที นำไปวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 340 nm แล้วคำนวณระดับกลูโคสในเลือด จากสมการที่ได้จากกราฟสารละลายมาตรฐานกลูโคส ดัดแปลงวิธีจาก Singer *et al.* (1990)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อหาความแปรปรวนระหว่างชุดการทดลอง (ความแตกต่างในแต่ละสัปดาห์) ในทั้งสองกลุ่มโดยวิธี one way analysis of variance เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test วิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มอดอาหาร และระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มกลับมาให้อาหารในแต่ละสัปดาห์โดยวิธี Dependent t-test (paired sample t-tests) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS ver. 19.0

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการวิจัย

1.1 การเจริญเติบโต

ปลาที่ถูกอดอาหารเป็นเวลา 1-4 สัปดาห์ มีอัตราการรอดตาย 100% ผลการทดลองพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม และค่าดัชนีตัวปลาในสัปดาห์ที่ 1-4 มีค่าลดลงตามระยะเวลาการอดอาหาร ($P < 0.05$) ค่าอัตราการสูญเสียมวลกายในสัปดาห์ที่ 1-4 เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการอดอาหาร ($P < 0.05$) ในขณะที่ค่าน้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน ค่าอัตราการสูญเสียมวลกายต่อวัน (PDL) และค่าความชื้นในกล้ามเนื้อ ในสัปดาห์ที่ 1-4 พบว่า ไม่มีความแตกต่าง ($P > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบปลากลุ่มอดอาหารกับกลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 1-4 พบว่า ค่าน้ำหนักตัวเพิ่มต่อวันและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มของปลาในปลากลุ่มอดอาหารมีค่าน้อยกว่าปลากลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 1-4 ($P < 0.05$) ค่าอัตรา

การสูญเสียมวลกายและอัตราการสูญเสียมวลกายต่อวันของปลาในปลากลุ่มอดอาหารมีค่ามากกว่าปลากลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 1-4 ($P < 0.05$) และค่าดัชนีตัวปลาในปลากลุ่มอดอาหารมีค่าน้อยกว่าปลากลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 2-4 ($P < 0.05$) ส่วนค่าความชื้นในกล้ามเนื้อไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ส่วนในปลาที่ถูกอดอาหารที่กลับมาให้อาหารอีกในสัปดาห์ที่ 5-8 พบว่า ค่าน้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ยต่อวันค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม และค่าดัชนีตัว มีค่าเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 5-8 ($P < 0.05$) ในขณะที่ ค่าอัตราการสูญเสียมวลกาย และอัตราการสูญเสียมวลกายต่อวัน มีค่าลดลงในสัปดาห์ที่ 5-7 ($P < 0.05$) และ มีค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตขดเขยเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 7 ($P < 0.05$) แต่ค่าความชื้นในกล้ามเนื้อพบว่าไม่มีความแตกต่าง ($P > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบปลากลุ่มกลับมาให้อาหารกับกลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 5-8 พบว่า ค่าน้ำหนักตัวเพิ่มต่อวัน และค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม ของปลาในปลากลุ่มกลับมาให้อาหาร มีค่าน้อยกว่าปลากลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 5-8 ($P < 0.05$) ค่าอัตราการสูญเสียมวลกายและอัตราการสูญเสียมวลกายต่อวันของปลาในปลากลุ่มกลับมาให้อาหาร มีค่ามากกว่าปลากลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 5-8 ($P < 0.05$) ส่วนค่าดัชนีตัวและค่าความชื้นในกล้ามเนื้อไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) (Table 1 and Fig. 1)

1.2 ระดับกลูโคสในเลือด

ปลาที่ถูกอดอาหารเป็นเวลา 1-4 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณกลูโคสในเลือดมีค่าลดลงตามระยะเวลาการอดอาหาร ($P < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบปลากลุ่มอดอาหารกับกลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 1-4 พบว่า ปริมาณกลูโคสในเลือดของปลาในปลากลุ่มอดอาหารมีค่าน้อยกว่าปลากลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 1-4 ($P < 0.05$) ส่วนในปลาที่ถูกอดอาหารที่กลับมาให้อาหารอีกในสัปดาห์ที่ 5-8 พบว่า ปริมาณกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 5-6 ($P < 0.05$) แต่ค่าไม่แตกต่างในสัปดาห์ที่ 7-8 ($P > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบปลากลุ่มกลับมาให้อาหารกับกลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 5-8 พบว่า ปริมาณกลูโคสในเลือดไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) (Table 1 and Fig. 1)

2. วิจารณ์ผลการวิจัย

2.1 การเจริญเติบโต

ปลาที่อยู่ในตู้อดอาหารเป็นเวลา 1-4 สัปดาห์ พบว่าการเจริญเติบโตจะชะงักและมีการสูญเสียมวลกาย ค่าดัชนีระดับของปลาลดลงเนื่องจากมีการใช้พลังงานที่สะสมในตับ เช่น ไกลโคเจน ทำให้มวลตับลดลงตามระยะเวลาการอดอาหาร โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 1-2 มีอัตราการเจริญเติบโตลดลงอย่างมาก ซึ่งเป็นผลกระทบที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดตามการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของการอดอาหารในระยะที่ 1 ส่วนในช่วงเวลาสัปดาห์ที่ 3-4 อัตราการเปลี่ยนแปลงลดลง ซึ่งเป็นการปรับตัวเข้ากับสภาพการอดอาหารในระยะที่ 2 และมีการนำพลังงานที่สะสมมาใช้ (Le Maho *et al.*, 1981; Mendez and Wieser, 1993; Bines, 1999; McCue, 2010) ค่าดัชนีระดับที่ลดลงตามระยะเวลาการอดอาหาร ชี้ให้เห็นว่า ไกลโคเจนในตับถูกนำมาใช้เมื่อปลาขาดสารอาหารหรือได้รับพลังงานไม่เพียงพอ และไขมันที่สะสมเป็นแหล่งพลังงานสำรองก็อาจถูกนำมาใช้เช่นกัน ในขณะที่โปรตีนที่สะสมในเนื้อเยื่อถูกนำมาใช้เพื่อให้พลังงานในกรณีที่กลูโคส ไกลโคเจน และไขมัน มีไม่เพียงพอ ซึ่งทำให้ปลามีการสูญเสียมวลกาย (Stickney and Lovell, 1977) เมื่อเปรียบเทียบปลากลุ่มอดอาหารกับกลุ่มควบคุมในสัปดาห์ที่ 1-4 พบว่า มีอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดยปลาในกลุ่มควบคุมมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่ปลาในกลุ่มที่อดอาหารมีการสูญเสียมวลกายเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงมวลกาย เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงมวลของแต่ละเนื้อเยื่อและอวัยวะในร่างกาย เป็นเพราะว่าการอดอาหารในช่วงแรกของปลาคูจะชะงักการเจริญเติบโต จากนั้นจะมีการลดลงของมวลตับเนื่องจากมีการนำไกลโคเจนในตับมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน (Ware, 1975; Soengas *et al.*, 1996; Schwilch *et al.*, 2002; McCue, 2010)

ส่วนในปลาคูที่อยู่ที่ถูกกลับมาให้อาหารในสัปดาห์ที่ 5-8 พบว่า มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปลาที่ไม่มีการอดอาหารมาก่อน เนื่องจากปลาจะมีประสิทธิภาพในการย่อยและดูดซึมสารอาหารได้ดีขึ้น เป็นการนำพลังงานจากอาหารให้เกิดประโยชน์มากขึ้น ลดผลกระทบจากของเสียที่เกิดจากการกินอาหารแล้วย่อยได้ไม่หมดและสูญเสียไปกับการขับถ่าย (Lovell, 1989; Smith, 1989) ซึ่งเรียกว่าการเจริญเติบโตชดเชย (compensatory growth) ปลาใน

กลุ่มนี้จะมีอัตราการเจริญเติบโตแบบเร่งในช่วงที่กลับมากินอาหาร (Wieser *et al.*, 1992; Ali *et al.*, 2003; Enberg *et al.*, 2009) การเจริญเติบโตชดเชยมีประโยชน์ในด้านการจัดการการให้อาหารปลา เนื่องจากในขณะที่ปลาอดอาหารจะสามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารปลา และเมื่อมีการกลับมาให้อาหารอีกครั้ง

2.2 ระดับกลูโคสในเลือด

ปลาคูอยู่ในกลุ่มที่อดอาหารเป็นเวลา 1-4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณกลูโคสในเลือดลดลงในอัตราที่มากกว่าในกลุ่มควบคุม เนื่องจากปลาไม่ได้รับสารอาหารจากการกินที่จะย่อยสลายให้ได้กลูโคส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในปลาชนิดอื่น เช่น ในปลาแคร์ป (*Cyprinus carpio*) ปลา Yellow perch (*Perca flavescens*) ปลา White sturgeon (*Acipenser transmontanus*) ปลา Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) ปลาทอง (*Carassius auratus*) ปลาช่อน (*Ophiocephalus maculatus*) ปลาทรายแดง (*Chrysophrys major*) และ ปลา Sturgeon (*A. fulvescens*) (Foster and Moon, 1991; Navarro and Gutierrez, 1995; Gillis and Ballantyne, 1996; Hung *et al.*, 1997; Russell and Gahr, 2000; Friedrich and Stepanowska, 2001; Congleton and Wagner, 2006) ส่วนการลดลงของกลูโคสในเลือดในปลากลุ่มควบคุมอาจเป็นผลจากระยะของการเจริญเติบโตหรือช่วงอายุของปลา ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของน้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (ADG) การเปลี่ยนแปลงของระดับกลูโคสนี้อาจขึ้นอยู่กับชนิดของปลาและระยะเวลาในการอดอาหารที่ต่างกัน เมื่อปริมาณกลูโคสในเลือดลดลงทำให้ร่างกายจำเป็นต้องใช้พลังงานที่สะสมในร่างกาย ไกลโคเจนจะถูกนำมาสลายให้ได้กลูโคสโดยกระบวนการ glycogenolysis โปรตีนจะถูกนำมาสังเคราะห์ให้ได้กลูโคสโดยกระบวนการ gluconeogenesis (Chavin and Young, 1970; Sakamoto and Yone, 1978; Woo and Cheung, 1980; McCue, 2010) และไขมัน จะถูกสลายให้ได้ acetyl-CoA โดยกระบวนการ β -oxidation และเมื่อมี acetyl-CoA มากพอ จะถูกนำไปสังเคราะห์เป็น ketone body ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญต่อไป (Masoro, 1968; Owen *et al.*, 1969; Robinson and Williamson, 1980; Lindstrom, 1991; Castellini and Rea, 1992; Cherel

et al., 1992; Owen *et al.*, 1998; Bairlein, 2002; McCue, 2007)

ส่วนในปลาถูกอุกที่กลับมาให้อาหารอีกในสัปดาห์ที่ 5-8 พบว่า ร่างกายมีการปรับสมดุลของสารอาหาร โดยปริมาณกลูโคสในเลือดมีค่าเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 5-6 ซึ่งเป็นผลจากการได้รับสารอาหารจากการกิน และอาจมีการสะสมพลังงานเพิ่มขึ้น (Wieser *et al.*, 1992; McCue, 2010) เมื่อเปรียบเทียบปลาทั้งสองกลุ่มในสัปดาห์ที่ 5-8 พบว่า ปริมาณกลูโคสในเลือดไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ซึ่งอาจสรุปได้ว่าระยะเวลาการกลับมากินอาหาร 1 สัปดาห์มีผลทำให้ปริมาณกลูโคสในเลือดของปลามีค่าเพิ่มขึ้นจนเท่ากับปลาในกลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นการปรับสมดุลของระดับสารอาหารในร่างกาย สอดคล้องกับการเจริญเติบโต และค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากปลามีการอัตราการย่อยและดูดซึมสารอาหารได้ดีขึ้น จึงทำให้ปลามีการเจริญเติบโตทันเท่ากับปลาในกลุ่มควบคุม (Wieser *et al.*, 1992; Enberg *et al.*, 2009; McCue, 2010)

สรุปผลการวิจัย

การอดอาหารเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง และมีอัตราการสูญเสียมวลกาย ซึ่ง

เป็นผลจากการลดลงของ มวลตับและสารอาหารที่สะสมในร่างกาย โดยที่ค่าความชื้นในกล้ามเนื้อไม่เปลี่ยนแปลง อีกทั้งส่งผลให้ปริมาณกลูโคสในเลือดลดลง หลังจากอดอาหารเป็นเวลา 4 สัปดาห์ แล้วมีการกลับมากินอาหารอีกเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ปลาถูกอุกมีอัตราการเจริญเติบโตแบบเร่ง เรียกว่า การเจริญเติบโตชดเชย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตชดเชยสูงสุด 34.52% ในสัปดาห์ที่ 7 การงดให้อาหารในช่วงเวลาหนึ่งแล้วกลับมาให้อาหารอีกจึงมีประโยชน์ในด้านการจัดการการให้อาหารเพื่อพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาถูกอุกต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ และภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ นายกัมพล ไทยโส และนางสาว ศิโรรัตน์ ศรีบาลแจ่ม ที่ช่วยเหลือการทำวิจัยทั้งในภาคสนาม และในห้องปฏิบัติการ

Table 1 Average daily weight gain (ADG), percentage weight gain (PWG), percentage weight loss (PWL), percentage daily weight loss (PDL), compensation coefficient (CC), hepatosomatic index (HSI), muscle water content (MWC), and blood glucose (BG) in the broadhead catfish (*Clarias macrocephalus*) under fed (F) and starved-re-fed (S-RF) groups (mean±SD)

Parameter (wet weight basis)		Starvation and re-feeding duration (weeks)								
		0 (initial)	1	2	3	4	5	6	7	8
1. ADG (g/day)	F	0	0.17 ^a ±0.02	0.13 ^b ±0.02	0.13 ^b ±0.02	0.10 ^b ±0.02	0.06 ^c ±0.01	0.06 ^c ±0.01	0.05 ^{cd} ±0.02	0.03 ^d ±0.01
	S-RF	0	-0.10 ^e ±0.02	-0.09 ^{ed} ±0.02	-0.08 ^d ±0.02	-0.07 ^d ±0.02	-0.03 ^c ±0.01	-0.01 ^b ±0.00	0.02 ^a ±0.01	0.01 ^a ±0.01
2. PWG (%)	F	0	4.01 ^c ±0.61	5.46 ^b ±1.00	9.22 ^a ±0.68	8.92 ^a ±0.72	8.63 ^a ±0.93	9.70 ^a ±0.84	10.52 ^a ±1.97	8.76 ^a ±1.00
	S-RF	0	-1.91 ^b ±0.67	-3.37 ^b ±0.67	-5.23 ^a ±1.31	-6.05 ^a ±1.41	-3.92 ^c ±0.74	-0.97 ^b ±0.03	3.64 ^a ±0.73	2.60 ^a ±1.82
3. PWL (%)	F	0	-4.01 ^a ±0.61	-5.46 ^b ±0.99	-9.22 ^c ±0.68	-8.92 ^c ±0.72	-8.63 ^c ±0.93	-9.70 ^c ±0.84	-10.52 ^c ±1.97	-8.76 ^c ±1.00
	S-RF	0	1.91 ^b ±0.67	3.37 ^b ±0.67	5.23 ^a ±1.31	6.05 ^a ±1.41	3.92 ^b ±0.74	0.97 ^c ±0.03	-3.64 ^d ±0.73	-2.60 ^d ±1.82
4. PDL (%/day)	F	0	-0.57 ^e ±0.09	-0.39 ^{cd} ±0.07	-0.44 ^d ±0.03	-0.32 ^c ±0.03	-0.25 ^b ±0.02	-0.23 ^b ±0.02	-0.21 ^b ±0.04	-0.15 ^a ±0.02
	S-RF	0	0.27 ^a ±0.09	0.24 ^a ±0.05 ±0.06	0.24 ^a ±0.04	0.21 ^a ±0.02	0.11 ^b ±0.02	0.02 ^c ±0.00	-0.08 ^d ±0.02	-0.05 ^d ±0.04
5. CC (%)	S-RF	-	-	-	-	-	-56.50 ^c ±12.28	-12.69 ^b ±1.99	34.52 ^a ±13.52	33.88 ^a ±29.36
6. HSI (%)	F	0.709 ±0.086	0.714 ±0.085	0.702 ±0.067	0.613 ±0.083	0.690 ±0.043	0.680 ±0.061	0.667 ±0.065	0.758 ±0.038	0.718 ±0.075
	S-RF	0.709 ^a ±0.086	0.666 ^a ±0.037	0.497 ^b ±0.055	0.494 ^b ±0.084	0.492 ^b ±0.080	0.701 ^a ±0.128	0.698 ^a ±0.145	0.752 ^a ±0.086	0.728 ^a ±0.060
7. MWC (%)	F	78.852 ±0.506	80.822 ±0.958	79.466 ±0.745	79.374 ±0.523	79.067 ±1.278	80.112 ±1.148	80.116 ±0.594	80.193 ±1.136	79.915 ±0.619
	S-RF	78.852 ±0.506	79.471 ±0.853	78.872 ±0.980	79.914 ±0.896	79.776 ±0.871	80.126± 1.018	79.521 ±0.836	78.993 ±0.839	79.878 ±0.880
8. BG (mg/dl)	F	34.064 ^a ±1.978	35.052 ^a ±1.936	33.045 ^{ab} ±1.241	31.268 ^b ±3.426	27.474 ^c ±0.725	19.152 ^d ±1.951	20.043 ^d ±0.814	19.767 ^d ±1.039	19.509 ^d ±0.603
	S-RF	34.064 ^a ±1.978	27.263 ^b ±2.632	24.468 ^c ±1.896	22.676 ^c ±2.131	17.923 ^d ±1.017	19.031 ^{cd} ±1.130	20.517 ^c ±0.857	19.159 ^{cd} ±1.031	19.516 ^{cd} ±0.679

Means within a row with different superscripts are significantly different (P<0.05)

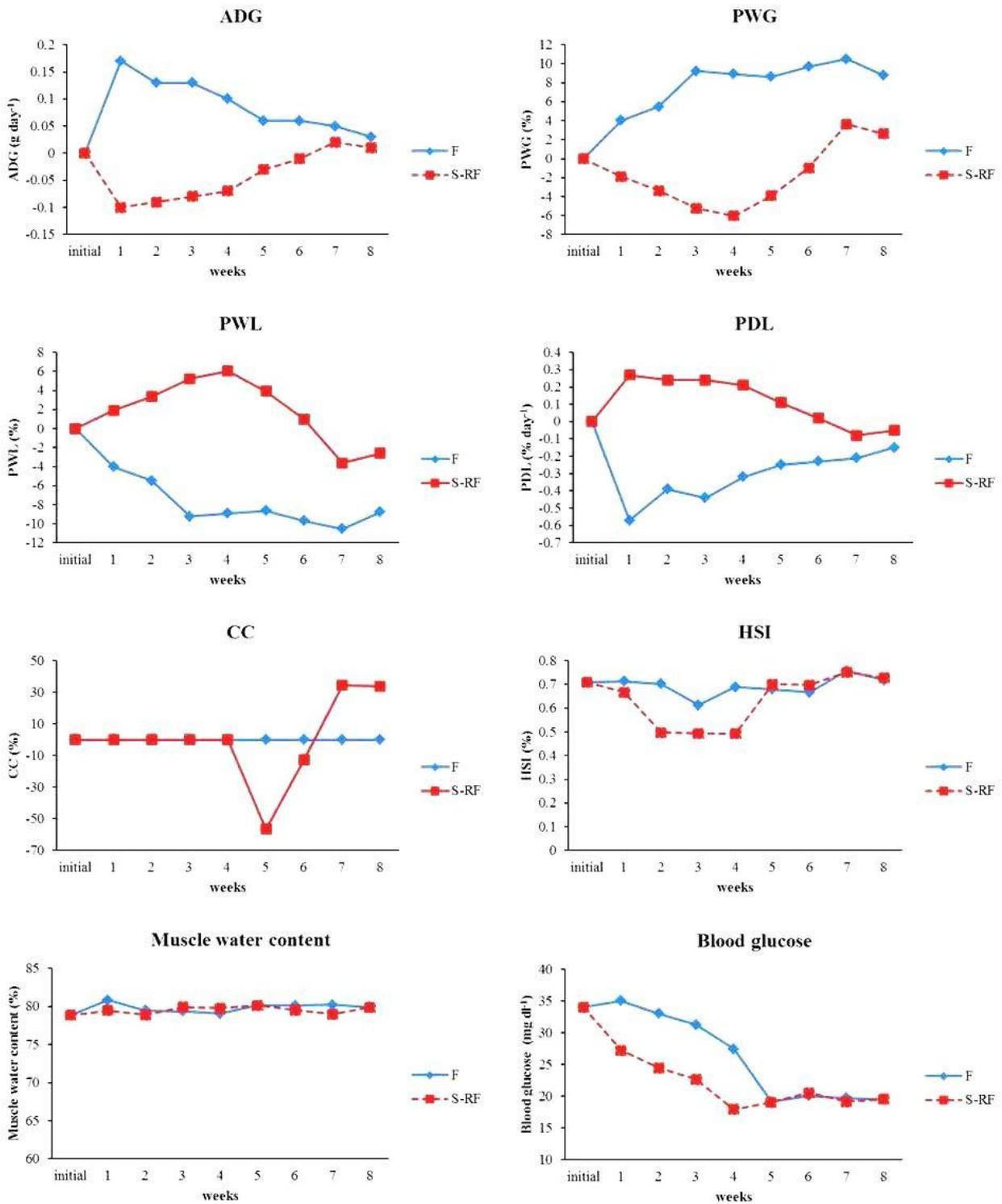


Fig. 1 Average daily weight gain (ADG), percentage weight gain (PWG), percentage weight loss (PWL), percentage daily weight loss (PDL), compensation coefficient (CC), hepatosomatic index (HSI), muscle water content, and blood glucose in the broadhead catfish (*Clarias macrocephalus*) under fed (F) and starved-re-fed (S-RF) groups (mean)

References

- Ali, M., Nicieza, A. and Wootton, R.J. 2003. Compensatory growth in fish: a response to growth depression. *Fish Fish.* 4(2): 147-190.
- AOAC. 1980. Official methods of analysis. 12th edition. Washington, D.C. 633 pp.
- APHA. 1992. Standard methods for examination of water and waste water. APHA, AWWA: Washington, D.C.
- Bairlein, F. 2002. How to get fat: nutritional mechanisms of seasonal fat accumulation in migratory songbirds. *Naturwissenschaften.* 89: 1-10.
- Beamish, F.W.H. 1964. Influence of starvation on standard and routine oxygen consumption. *Trans. Am. Fish. Soc.* 93: 103-107.
- Bines, J., 1999. Starvation and fasting. In: *Encyclopedia of Human Nutrition.* M.J., Sadler, J.J. Strain and B. Caballero (Eds.), vol. 3. Academic press: New York. pp. 1779-1786.
- Brown, M.E. 1957. The physiology of fishes. Vol. 1. Academic Press: New York. 400 pp.
- Castellini, M.A. and Rea, L.D. 1992. The biochemistry of natural fasting at its limits. *Experientia.* 48: 575-582.
- Chavin, W. and Young, J.E. 1970. Factors in the determination of normal serum glucose levels of goldfish, *Carassius auratus* L. *Comp. Biochem. Physiol.* 33: 629-653.
- Cherel, Y., Robin, J., Heitz, A., Calgari, C. and Le Maho, Y. 1992. Relationships between lipid availability and protein utilization during prolonged fasting. *J. Comp. Physiol.* 162: 305-313.
- Congleton, J.L. and Wagner, T. 2006. Blood-chemistry indicators of nutritional status in juvenile salmonoids. *J. Fish Biol.* 69: 473-490.
- Enberg, K., Jorgensen, C., Dunlop, E.S., Heino, M. and Dieckmann, U. 2009. Implications of fisheries-induced evolution for stock rebuilding and recovery. *Evol. Appl.* 2: 394-414.
- Fitzinger, L.J.F.J. 1837. Vorlaufiger Bericht uber eine hochst interessante Entdeckung Dr. Natterers in Brazil. *J. Isis (Oken).* 30: 379-380.
- Foster, G.D. and Moon, T.W. 1991. Hypometabolism with fasting in the Yellow perch (*Perca flavescens*): a study of enzyme hepatocyte metabolism and tissue size. *Physiol. Zool.* 64(1): 257-275.
- Frick, N.T., Bystriansky, J.S., Ip, Y.K., Chew, S.F. and Ballantyne, J.S. 2008. Carbohydrate and amino acid metabolism in fasting and aestivating African lungfish (*Protopterus dolloi*). *Comp. Biochem. physiol. part A.* 151: 85-92.
- Friedrich, M. and Stepanowska, K. 2001. Effect of starvation on nutritive value of carp (*Cyprinus carpio* L.) and selected biochemical components of its blood. *Acta Ichthyol. Piscat.* 31 (2): 29-36.
- Gillis, T.E. and Ballantyne, J.S. 1996. The effects of starvation on plasma free amino acid and glucose concentrations in lake sturgeon. *J. Fish. Biol.* 49: 1306-1316.
- Greenwood, P.H. 1966. The Fish of Uganda. 2nd edition. Uganda Society: Kampala. pp. 12-18.
- Gunther, A. 1864. Catalogue of the fishes in the British museum. In: *Catalogue of the Physostomi, containing the families Siluridae, Characinidae, Haplochitonidae, Sternoptychidae, Scopelidae, Stomiidae in the collection of the British museum.* Vol. 5. Trustees of the British Museum: London. 455 pp.

- Hung, S., Liu, W., Li, H., Storebakken, T. and Cui, Y. 1997. Effect of starvation on some morphological and biochemical parameters in white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. *Aquaculture*. 151: 357-363.
- Le Maho, Y., Van Kha, H.V., Koubi, H., Dewasmes, G., Girard, J., Ferre, P. and Cagnard, M. 1981. Body composition, energy expenditure, and plasma metabolites in long-term fasting geese. *Am. J. Physiol.* 241: 342-354.
- Lindstrom, A. 1991. Maximum fat deposition rates in migrating birds. *Ornis Scand.* 22: 12-19.
- Lovell, T. 1989. *Nutrition and feeding of fish*. Van Nostrand Reinhold: New York. 260 pp.
- Masoro, E.J. 1968. *Physiological chemistry of lipids in mammals*. W.B. Saunders Company: Philadelphia.
- McCue, M.D. 2007. Snakes survive prolonged fasting by employing supply-side and demand-side economic strategies. *Zool.* 110: 318-327.
- McCue, M.D. 2010. Starvation physiology: reviewing the different strategies animals use to survive a common challenge. *Comp. Biochem. Physiol. Part A.* 156: 1-18.
- Mendez, G. and Wieser, W. 1993. Metabolic responses to food deprivation and refeeding in juveniles of *Rutilus rutilus* (Teleostie: Cyprinidae). *Environ. Biol. Fish.* 36: 73-81.
- Munshi, J.S.D. 1961. The accessory respiratory organs of *Clarias batrachus*. *Jl. Morph.* 109: 115-240.
- Murray, J.M. 1971. Temperature receptors. In: *Fish physiology*. W.S., Hoar and D.J. Randall (Eds.), Academic Press: New York. pp. 121-133.
- Navarro, I. and Gutierrez, J. 1995. Fasting and starvation. In: *Metabolic biochemistry*. P.W. Hochachka and T.P. Mommsen (Eds.), Elsevier: Amsterdam. pp. 393-434.
- Owen, O.E., Felig, P., Morgan, A.P., Wahren, J. and Cahill, G.F. 1969. Liver and kidney metabolism during prolonged starvation. *J. Clin. Invest.* 48: 575-583.
- Owen, O.E., Smaller, K.J., D'Alessio, D.A., Mozzoli, M.A. and Dawson, E.K. 1998. Protein, fat, and carbohydrate requirements during starvation: anaplerosis and cataplerosis. *Am. J. Clin. Nutr.* 68: 12-34.
- Robinson, A.M. and Williamson, D.H. 1980. Physiological roles of ketone bodies as substrates and signals in mammalian tissues. *Physiol. Rev.* 60: 143-187.
- Russell, R.W. and Gahr, S.A. 2000. Glucose availability and associated metabolism. In: *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. J.P.F., D'mello (Ed.), CABI: New York. p. 438.
- Sakamoto, S. and Yone, Y. 1978. Effect of starvation on hematological characteristics, and the contents of chemical components and activities of enzymes in blood serum of red sea bream. *J. Fac. Agric., Kyushu Univ.* 23: 63-69.
- Schwilch, R., Grattarola, A., Spina, F. and Jenni, L. 2002. Protein loss during long-distance migratory flight in passerine birds: adaptation and constraint. *J. Exp. Biol.* 205: 687-695.
- Singer, T.D., Mahadevappa, V.G. and Ballantyne, J.S. 1990. Aspects of the energy metabolism of Lake sturgeon *Acipenser fulvescens* with special emphasis on lipid and ketone body metabolism. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 873-881.
- Smith, L.S. 1989. Digestive functions in teleost fishes. In: *Fish nutrition*. 2nd edition. Academic Press, Inc: San Diego. pp 331-421.
- Soengas, J.L., Strong, E.F., Fuentes, J., Veira, J.A.R. and Andres, M.D. 1996. Food deprivation and refeeding in

- Atlantic salmon, *Salmosalar*: effects on brain and liver carbohydrate and ketone bodies metabolism. Fish Physiol. Biochem. 15: 491-511.
- Stickney, R.R. and Lovell, R.T. 1977. Nutrition and feeding of channel catfish. Southern Cooperative Series. Bulletin 218. U. S. Department of Agriculture: Washington, D.C. 66 pp.
- Ware, D.M. 1975. Growth, metabolism and optimal swimming speed of a Pelagic fish. J. Fish. Res. Board Canada. 32: 33-41.
- Wieser, W., Krumschnabel, G. and Ojwang-Okwor, J.P. 1992. The energetics of starvation and growth after refeeding in juveniles of three cyprinid species. Environ Biol. Fish. 33: 63-71.
- Woo, N.Y.S. and Cheung, S.I. 1980. Metabolic effects of starvation in the snakehead, *Ophiocephalus maculatus*. Comp. Biochem. Physiol. 67: 623-627.
- Yang, T.H. and Somero, G.N. 1993. Effects of feeding and food deprivation on oxygen consumption, muscle protein concentration and activities of energy metabolism enzymes in muscle and brain of Shallow living (*Scorpaena guttata*) and Deep living (*Sebastolobus alascanus*) scorpaenid fishes. J. Exp. Biol. 181: 213-232.

คุณภาพน้ำและความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในแม่น้ำชี

สมสงวน ปัสสาโก^{1*}, จุไรรัตน์ คุรุโคตร² และ ชมภู เหนือศรี¹

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง
จังหวัดมหาสารคาม 44000

²สาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย
จังหวัดมหาสารคาม 44150

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพเคมี ชีวภาพและความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในแม่น้ำชี บริเวณที่ไหลผ่านจังหวัดมหาสารคามโดยกำหนดพื้นที่ศึกษาจำนวน 6 สถานี ตามความยาวของแม่น้ำชี ในแต่ละสถานีจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 6 ครั้ง (ระหว่างเดือนมกราคม – เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2558) พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความโปร่งใส ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ปริมาณไนเตรตในรูปไนโตรเจน(NO_3^- -N) ปริมาณออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย สำหรับการศึกษาความหลากหลายของสัตว์หน้าดิน ทำการศึกษาค่าดัชนีความหลากหลาย (H') ดัชนีความสม่ำเสมอ (J') และดัชนีความชุกชุม (R) ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำของแม่น้ำชี แต่ละพารามิเตอร์มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่างช่วงดังต่อไปนี้ อุณหภูมิ 21.20-34.00 °C ความโปร่งใส 15.00-80.00 เซนติเมตร ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 6.84-10.00 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) 2.00 - 9.80 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) 1.00-6.07 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณไนเตรตในรูปไนโตรเจน (NO_3^- -N) 0.40-1.13 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) 0.08-0.45 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 1.24 – 6.25 x 10³MPN/100 มิลลิลิตร สัตว์หน้าดินที่พบในแม่น้ำชีมีจำนวน 3 ไฟลัม ได้แก่ ไฟลัมอาร์โธรโปรตา ไฟลัมมอลัสกา และไฟลัมแอนนิลิดา สำหรับค่าดัชนีความหลากหลาย (H') มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.28 ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (J') มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.56 (56%) และค่าดัชนีความชุกชุมทางชนิด (R) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.54

จากการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำของแม่น้ำชี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินสามารถจัดคุณภาพน้ำอยู่ในประเภทที่ 3 และพบว่าความหลากหลายของสัตว์หน้าดินขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ สัตว์หน้าดินส่วนใหญ่จะอาศัยชุกชุมอยู่ในบริเวณที่มีคุณภาพน้ำดี ส่วนบริเวณที่มีคุณภาพน้ำต่ำจะพบสัตว์หน้าดินจำพวกหนอนแดง (*Chironomus sp.*) ซึ่งมีความทนทานต่อความสกปรกของน้ำ ดังนั้นจึงสามารถใช้สัตว์หน้าดินเป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำได้

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำ ความหลากหลาย สัตว์หน้าดิน และ แม่น้ำชี

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: somsguan_c@yahoo.com

Study on Water Quality and Biodiversity of Benthos in Chi River

Somsanguan Passago^{1*}, Jurairat Kurukot² and Chompoo Nuesee¹

¹*Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology,
Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham, 44000, Thailand*

²*Department of Environmental Education, Faculty of Environment and Resource Studies,
Maha Sarakham University, Maha Sarakham, 44150, Thailand*

Abstract

The objectives of this study were to investigate water quality in term of physical, chemical, biological characteristics and diversity of benthic fauna in Chi River. The area of study included 6 sampling sites along the Chi River which flew through Maha Sarakham Province. The each sampling site was sampled for 6 times (during January to November, 2015). The parameters included temperature, transparency, pH, dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), NO_3^- -N, PO_4^{3-} and coli form bacteria. In addition, the Benthos diversity which focused on investigating Diversity Index (H') Evenness Value (J) and Taxa Richness (R) was also studied. The result of the study were found that; water quality parameters were as followed: The average water temperature was 21.20-34.00 °C, transparency was 15.00-80.00 cm., pH was 6.84-10.00, dissolved oxygen (DO) was 2.00-9.80 mg/l, biochemical oxygen demand (BOD) was 1.00-6.07 mg/l, NO_3^- -N was 0.40-1.13 mg/l, PO_4^{3-} was 0.08-0.45 mg/l and coliform bacteria was $1.24-6.25 \times 10^3$ MPN/100 ml. The Benthos diversity found that; there were 3 Phylums in the Chi river, such as Phylum Arthropoda, Phylum Mollusca and Phylum Annelida, The diversity index (H') is 2.28, the average of Evenness Value (J) is 0.56 (56%) and Taxa Richness (R) is 2.54.

According to studies, water quality in the Chi River when compared with surface water quality standards. This research findings were indicated that water quality of the Chi River was classified as being in the type 3 based on the surface water quality standards. The diversity of benthic depended on water quality. Furthermore, the most of benthic habitats were lived in good quality water. *Chironomus* sp. which tolerated in low quality water and found in polluted water resource. Therefore, benthic animals can be used as indicators of water quality.

Key words: Water Quality, Diversity, Benthos and Chi River

* Corresponding author: E-mail: somsanguan_c@yahoo.com

บทนำ

แม่น้ำชีเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญแห่งหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะกับจังหวัดมหาสารคาม เนื่องจากเป็นแม่น้ำสายหลักสายเดียวที่ไหลผ่านจังหวัดมหาสารคาม สำหรับแม่น้ำชีนั้นมีความยาวประมาณ 765 กิโลเมตร เป็นแม่น้ำที่ยาวที่สุดในประเทศไทยมีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมทั้งสิ้น 49,477 ตารางกิโลเมตร หรือ 30,923,125 ไร่ มีต้นกำเนิดจากแนวเทือกเขาเพชรบูรณ์บริเวณที่เรียกว่า “ชีต้น..ชีผุด” ณ บ้านยางโหล่น ตำบลยางแดด อำเภอกเกษตรสมบูรณ์ จังหวัดชัยภูมิ ไหลลงมาบรรจบกับแม่น้ำมูลบริเวณรอยต่อระหว่างอำเภอเมือง อำเภอเชียงใน และอำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี แม่น้ำชีช่วงที่ไหลผ่านจังหวัดมหาสารคามนั้นได้นำพาความอุดมสมบูรณ์ นานับการมายังประชาชนที่อาศัยอยู่ตามฝักฝางของแม่น้ำ ส่งผลต่อวิถีชีวิตของประชาชนที่อาศัยอยู่ริมฝักฝางแม่น้ำชีได้ใช้ประโยชน์จากลำน้ำสายนี้ นานับการ อาทิเป็นแหล่งประมงพื้นบ้าน เป็นแหล่งน้ำดิบผลิตน้ำประปาเป็นแหล่งน้ำใช้ในการเพาะปลูกพืชผลทางการเกษตร การเพาะเลี้ยงปลาในกระชัง รวมไปถึงเพื่อการท่องเที่ยวซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์โดยตรงจากแม่น้ำชี โดยเฉพาะในปัจจุบันได้มีการเพาะเลี้ยงปลาในกระชังในบริเวณแม่น้ำชี ช่วงที่ไหลผ่านจังหวัดมหาสารคามนั้น มีเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาในกระชังในปี พ.ศ. 2556 ทั้งหมด 285 ราย มีจำนวนกระชังปลา 4,942 กระชัง ซึ่งมีผลต่อเศรษฐกิจของเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาในกระชัง (Department of Fisheries, 2013) จากกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้แม่น้ำชีมีโอกาสได้รับของเสียหรือสารต่างๆ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น สารเคมีจากการใช้สารฆ่าแมลง สารเคมีจากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรกรรม น้ำทิ้งจากชุมชน รวมทั้งของเสียจากมูลปลา อาหารปลาที่เหลือจากการเลี้ยงปลาในกระชังจะถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำชีโดยตรง ซึ่งหากมีการปล่อยสารต่างๆ เหล่านี้ในปริมาณมากจนเกินความสามารถในการรองรับของแม่น้ำชีและการบำบัดตามธรรมชาติจะทำให้แหล่งน้ำเกิดความเสื่อมโทรมเกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ (Netpae, 2013) ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแม่น้ำชีโดยตรง

สัตว์หน้าดินเป็นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ โดยทั่วไปหากินตามพื้นผิวหน้าดินหรือดำรงชีวิตอยู่บริเวณ

พื้นท้องน้ำ ซึ่งรวมถึงสัตว์กลุ่มที่เกาะหรืออาศัยอยู่ตามกองหิน โขดหิน ขอนไม้ในน้ำ พืชน้ำที่พบได้ในระบบนิเวศแหล่งน้ำ สัตว์หน้าดินมีการเคลื่อนที่น้อยและซำจัดเป็นผู้บริโภคลำดับต้นๆ ที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานและสารอาหารในห่วงโซ่อาหารที่มีบทบาทสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศของแหล่งน้ำไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในระบบนิเวศของแหล่งน้ำนั้นๆ จากการที่สัตว์หน้าดินมีการเคลื่อนที่น้อยและซำนั้นทำให้สัตว์หน้าดินมีโอกาสได้รับหรือสะสมสารต่างๆ ที่ละลายในแหล่งน้ำได้ง่าย สัตว์หน้าดินจึงถูกนำมาใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำทางด้านชีวภาพ (Biological Indicators) (Sangpradub, 2001) การตรวจวัดคุณภาพน้ำจึงสามารถติดตามตรวจวัดจากสัตว์หน้าดินได้อย่างต่อเนื่องแต่สัตว์หน้าดินแต่ละชนิดมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่แล้วสัตว์หน้าดินจะไวต่อการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ละลายในน้ำบางชนิดต้องอาศัยอยู่ในน้ำสะอาดในขณะที่บางชนิดสามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำที่เน่าเสียได้ ซึ่งการพบสัตว์หน้าดินแต่ละชนิดในแหล่งน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันและที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันนี้จะสามารถนำมาเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้ (Rattananukul, 2014) การประเมินคุณภาพน้ำด้วยสัตว์หน้าดินเป็นวิธีที่ง่ายเหมาะสำหรับการเฝ้าระวังดูแลแหล่งน้ำโดยประชาชนได้

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาคุณภาพน้ำและความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในแม่น้ำชีบริเวณที่ไหลผ่านจังหวัดมหาสารคามโดยใช้ข้อมูลความหลากหลายของสัตว์หน้าดินที่พบในแม่น้ำชีนำมาเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำร่วมกับข้อมูลจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากห้องปฏิบัติการทั้งทางด้านกายภาพ เคมีและชีววิทยาในการประเมินคุณภาพน้ำของแม่น้ำชีว่ามีคุณภาพเหมาะสมแก่การดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในแม่น้ำชีรวมทั้งเพื่อเป็นการเฝ้าระวังและการใช้ประโยชน์จากแม่น้ำชีในด้านต่างๆ อย่างเหมาะสมเพื่อให้เกิดความยั่งยืนตลอดไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

เก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำและสัตว์หน้าดินบริเวณแม่น้ำชีช่วงที่ไหลผ่านอำเภอโกสุมพิสัย อำเภอกันทรวิชัย และอำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม รวมระยะทางทั้งสิ้น 122 กิโลเมตรทั้งหมด 6 สถานี (Fig. 1 and Table 1) เก็บตัวอย่างครอบคลุมทั้ง 3 ฤดู ตั้งแต่เดือนมกราคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ศึกษาคุณภาพน้ำและสัตว์หน้าดิน ทั้งช่วงฤดูหนาว (มกราคมและพฤศจิกายน) ช่วงฤดูร้อน (มีนาคมและพฤษภาคม) และช่วงฤดูฝน (กรกฎาคมและกันยายน) ในแต่ละสถานีทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 6 ครั้ง

2. การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์

เก็บตัวอย่างน้ำที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแม่น้ำชีที่ความลึก 30 เซนติเมตร สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียและที่ระดับความลึกกึ่งกลางของแม่น้ำชีสำหรับการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนด พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ทันที ได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature) และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยใช้ Dissolved oxygen meter Hanna instruments HI 9147 ความโปร่งใส (Transparency) ตรวจวัดด้วย Secchi disk ความเป็นกรดเป็นด่าง ตรวจวัดด้วย pH-meter รุ่น Schott-Gerate CG 840 ตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส ได้แก่ ความต้องการออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ใช้วิธีวิเคราะห์ Azide Modification ปริมาณไนเตรตในรูปไนโตรเจน (NO_3^- -N) และปริมาณออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) โดยใช้ Spectrophotometer Hach DR/2010 และโคลิฟอร์มแบคทีเรียโดยใช้ MPN method (APHA, AWWA and WPCF, 2005)

3. การเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินและการวิเคราะห์

เก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดิน โดยใช้สวิงมือด้ามยาวขนาด 30 x 30 เซนติเมตร ขนาดตาข่าย 240 ไมโครเมตร เก็บตัวอย่างโดยวิธีรวมทุกแหล่งอาศัยทั้งสัตว์หน้าดินที่เกาะและฝังตัวอยู่ตามพื้นท้องน้ำที่ระดับความลึกประมาณ 3-5 เซนติเมตร ห่างจากฝั่งประมาณ 2 เมตร นำสัตว์หน้าดินถ่ายลงในถาดกั้นลึกเพื่อแยกพืช เศษไม้ และก้อนหินทิ้งไป แล้วเก็บตัวอย่างที่ได้ใส่ขวด Vial เติมนิเอทิลแอลกอฮอล์ 70% เพื่อเก็บรักษาตัวอย่าง ทำการจำแนกชนิด และนับปริมาณ (Kanchanavanich and Munchinda, 1999) จำแนกหมวดหมู่ชนิดของสัตว์หน้าดินตามหลักอนุกรมวิธานโดยจำแนกถึงระดับวงศ์ (Family)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ใช้ค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Tanthawanich, 2000) การวิเคราะห์ความหลากหลายของสัตว์หน้าดิน ได้แก่ ดัชนีความหลากหลาย (Shannon - Weiner Diversity Index) ดัชนีความสม่ำเสมอ (Sheldon, 1969) และดัชนีความชุกชุมทางชนิด (Taxa Richness Index, R) โดยใช้วิธีของ Margalef's Index (Aryuthaka, 2000)

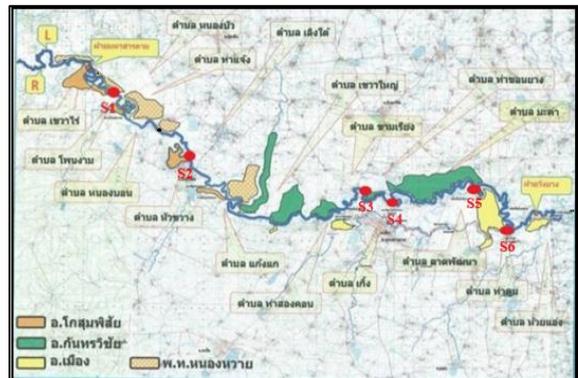


Fig. 1 Mapping of sampling site at the Chi River, Maha Sarakham Province

Table 1 Sampling site station area at Chi River, Maha Sarakham Province

Sampling site	Latitude	Longitude	Station
S1	16°20.869' N	102°57.770' E	Ban-Kok, Kosumphisai District
S2	16°12.941' N	103°07.864' E	Ban-Laengtai, Kosumphisai District
S3	16°13.965' N	103°16.124' E	Ban-Thakhonyang, Kantharawichai District
S4	16°13.003' N	103°20.438' E	Ban-Kerng, Muang District
S5	16°14.017' N	103°25.846' E	Ban-muang, Muang District
S6	16°10.888' N	103°27.131' E	Ban-Thatoom, Muang District

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. สภาพทั่วไปของแม่น้ำชี

พื้นที่โดยรอบของแม่น้ำชีมีลักษณะที่เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นพื้นที่ราบลุ่มริมฝั่งน้ำท่วมถึงพื้นที่ที่จะถูกน้ำท่วมทุกปี ตลอดระยะฤดูฝนของช่วงน้ำหลากและน้ำจะลดลงมาก ในช่วงฤดูแล้ง ลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไป ของสถานที่ ที่ทำการเก็บตัวอย่างทั้ง 6 สถานีนั้น จะพบลักษณะทาง กายภาพของแม่น้ำชีมีลักษณะคล้ายคลึงกันแต่กิจกรรมของ ประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบแต่ละสถานีจะแตกต่างกันซึ่ง อาจส่งผลต่อคุณภาพน้ำในแม่น้ำชีของแต่ละสถานี สภาพ ทั่วไปดังนี้ สถานีที่ 1 (S1) บ้านกอกและสถานีที่ 2 (S2) บ้าน เลิงใต้ อำเภอโกสุมพิสัย เป็นช่วงแรกของแม่น้ำชีที่ไหลผ่าน เข้าสู่จังหวัดมหาสารคาม ทั้งสองสถานีจะมีการเพาะเลี้ยง ปลาในกระชังเป็นจำนวนมาก น้ำจะมีสีเขียวขุ่นมีกลิ่นคาว ปลา ดัง Fig. 2 ส่วนสถานีที่ 3 (S3) นั้นเป็นช่วงที่แม่น้ำชี ไหลผ่านบ้านท่าขอนยาง อำเภอกันทรวิชัย ซึ่งเป็นชุมชน ขนาดใหญ่ เป็นที่ตั้งของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีหอพัก อพาร์ทเมนต์ คอนโดมิเนียม และร้านอาหารเป็นจำนวนมาก บางแห่งมีท่อปล่อยน้ำเสียจากชุมชนลงสู่แม่น้ำชีโดยตรงโดย ไม่มีการบำบัดน้ำเสีย สถานีที่ 4 (S4) บ้านแก้งอำเภอเมือง มหาสารคาม บริเวณนี้เป็นแหล่งชุมชนประชาชนส่วนใหญ่มี อาชีพทำนา มีการเลี้ยงปลาในกระชังจำนวนน้อย มีการ ประมงพื้นบ้านปลุกผักสวนครัวตามริมฝั่งแม่น้ำชี สถานีที่ 5 (S5) บ้านม่วง อำเภอเมืองมหาสารคาม เป็นแหล่งชุมชน ขนาดเล็กประชาชนใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม ได้แก่ การทำนา บริเวณริมฝั่งมีการปลุกผักจำนวนมาก และสถานีที่ 6 (S6) บ้านท่าตูม อำเภอเมืองมหาสารคาม เป็นสถานีที่แม่น้ำชีจะ ไหลผ่านเข้าสู่เขตจังหวัดร้อยเอ็ดประชาชนส่วนใหญ่ใช้น้ำ เพื่อการเกษตรกรรม มีการทำประมงพื้นบ้านและไม่มีการ เพาะเลี้ยงปลาในกระชัง



Fig. 2 Physical characteristic of sampling site at Ban-Kok (S1) and Ban-Laengtai (S2)

2. คุณภาพน้ำของแม่น้ำชี

คุณภาพน้ำด้านกายภาพ ด้านเคมี และด้านชีวภาพ ในแม่น้ำชี (Table 2) พบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเท่ากับ 27.61 ± 0.88 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในระหว่าง 21.20 - 34.00 องศาเซลเซียส ระดับอุณหภูมิของน้ำเป็นไปตามธรรมชาติไม่ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่ เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำคืออยู่ในช่วง 23-32 องศาเซลเซียส (Duangsawat, 2008) ในส่วนของความ โปร่งใสของน้ำอยู่ในช่วง 15.00 - 80.00 เซนติเมตร ซึ่ง พบว่าความโปร่งใสที่สถานีที่ 3 (S3) มีค่าต่ำสุดในช่วงเดือน เมษายนวัดค่าความโปร่งใสได้ 15.00 เซนติเมตร เนื่องจาก เป็นช่วงฤดูแล้งปริมาณน้ำที่สถานีนี้ต่ำมากจนสามารถ มองเห็นท้องน้ำแสงจึงสามารถส่องไปถึงพื้นล่างของน้ำได้ โดยมีข้อมูลสนับสนุนจากสถิติปริมาณน้ำท่าของแม่น้ำชีที่ สถานี E.91 อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งเป็น ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548-2559 พบว่า เดือนเมษายน มี ปริมาณน้ำท่าต่ำสุด (25.10 ล้านลูกบาศก์เมตร) และเดือน ตุลาคม มีปริมาณน้ำท่าสูงสุด (7,313.90 ล้านลูกบาศก์ เมตร) (Royal Irrigation Department, 2014) ปริมาณ แม่น้ำชีในแต่ละเดือนมีผลต่อค่าปริมาณของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทำการตรวจวัดได้ในแม่น้ำชี นอกจากนั้นยังพบว่าสถานี ที่มีการเพาะเลี้ยงปลากระชังอย่างหนาแน่น (S1 และ S2) จะเป็นบริเวณที่มีความโปร่งใสค่อนข้างน้อย เมื่อนำ พารามิเตอร์อื่นๆ มาพิจารณาร่วมด้วย เช่น ปริมาณไนเตรต ในรูปของไนโตรเจนและปริมาณออร์โธฟอสเฟต จะพบว่า บริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงปลาในกระชังจะมีปริมาณสาร เหล่านี้อยู่ในระดับสูงรวมทั้งมีมูลปลาและเศษอาหารที่เหลือ จากการเพาะเลี้ยงปลาปะปนอยู่ในน้ำจึงเป็นปัจจัยที่ ก่อให้เกิดการเพิ่มธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Nakmee et al., 2011) ทำให้สาหร่ายหรือแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตได้ดีซึ่ง มีผลต่อความโปร่งใสของน้ำสำหรับค่า pH น้ำในแม่น้ำชีมี ความเป็นกรดอ่อนๆ ไปจนถึงเป็นด่างอ่อนๆ มีค่าอยู่ในช่วง 6.84-10.00 ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตใน แหล่งน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่างในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 4.00-9.00 (Duangsawat, 2008) ใน ส่วนของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 2.00-9.80 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งพบค่า DO ค่อนข้างต่ำใน สถานีที่ 1 และ 2 เป็นบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงปลาปลาใน

กระชังเป็นจำนวนมาก (เกณฑ์มาตรฐานไม่ต่ำกว่า 3.00 มิลลิกรัม/ลิตร) (Pollution Control Department, 2013) ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะมีมากขึ้นกับอุณหภูมิของแหล่งน้ำแร่ธาตุที่ละลายในน้ำความดันบรรยากาศ ลักษณะกระแสน้ำอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำตลอดจนการหายใจและการย่อยสลายสารอินทรีย์ของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำ (Boonprakop, 1980) สำหรับปริมาณความต้องการของออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 1.00- 6.07 มิลลิกรัม/ลิตร พบค่า BOD ค่อนข้างสูงในสถานีที่ 1 และ 2 ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจพบปริมาณ DO ที่พบค่อนข้างต่ำในสถานีดังกล่าว ในส่วนของปริมาณไนเตรตในรูปของไนโตรเจน มีค่าอยู่ในช่วง 0.30-1.13 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเฉลี่ยทุกสถานียังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (มาตรฐานกำหนดให้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร-NO₃) (Tuntoolaves and Pronprapa, 2001) สำหรับปริมาณออร์โธฟอสเฟต(PO₄³⁻) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.23 ± 0.04 มิลลิกรัม/ลิตร อยู่ในช่วง 0.08-0.45 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งถือว่าไม่มีผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำโดยเฉลี่ยทุกสถานีมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ค่าฟอสเฟตยังไม่มีกำหนดในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน แต่ถ้าหากมีปริมาณออร์โธฟอสเฟตในแหล่งน้ำสูง จะทำให้แหล่งน้ำนั้นเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดสภาวะ eutrophication ทำให้แหล่งน้ำเสื่อมโทรมได้ (Degefu *et al.*, 2013) และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.71 ± 1.51X10³ MPN/100 มิลลิตร อยู่ในช่วง 1.24-6.25X10³ MPN/100 มิลลิตร ทุกสถานีมีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 (1,000MPN/100) (Pollution Control Department, 2013) เนื่องจากในแม่น้ำที่มีการเพาะเลี้ยงปลาในกระชังและบริเวณรอบริมฝั่งเป็นที่ตั้งของชุมชนที่มีการปล่อยน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดจากชุมชนลงสู่พื้นที่แหล่งน้ำ จึงทำให้มีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของแหล่งน้ำผิวดิน

3. ความหลากหลายของสัตว์หน้าดิน

จากการสำรวจความหลากหลายของสัตว์หน้าดินระหว่างเดือนมกราคม ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 พบสัตว์หน้าดินจำนวน 3 ไฟลัม 10 อันดับ 16 วงศ์ ประกอบด้วยไฟลัม Annelida จำนวน 1 อันดับ จำนวน 1 วงศ์ ไฟลัม Mollusca จำนวน 4 อันดับ จำนวน 7 วงศ์ และไฟลัม Arthropoda จำนวน 5 อันดับ และจำนวน 8 วงศ์ (Table 3) และร้อยละอันดับของสัตว์หน้าดินที่พบ (Fig. 3) ซึ่งคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Hanjavanit and Tangpirotwong (2007) ศึกษาชุมชนของสัตว์หน้าดินในลำน้ำพอง พบสัตว์หน้าดินจำนวน 3 ไฟลัม ได้แก่ ไฟลัม Annelida ไฟลัม Arthropoda และไฟลัม Mollusca จากการศึกษาครั้งนี้ พบ กุ้งฝอย (*Macrobrachium lanchesteri*) เป็นสัตว์ในไฟลัม Arthropoda อันดับ Decapoda วงศ์ Palaemonidae จำนวนมากที่สุดในทุกสถานี สำหรับกุ้งฝอยเป็นสัตว์น้ำที่สามารถพบได้ในแหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำพอใช้ (Duangsawat, 2008) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Pungchimplee and Sukmongkolrat, (2013) ที่พบกุ้งฝอยจำนวนมากกว่าสัตว์ชนิดอื่นในการศึกษาความชุกชุมและความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในแม่น้ำป่าสักตอนล่างระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550 ถึงกันยายน พ.ศ. 2551 ในการศึกษาครั้งนี้ยังพบหนอนแดง (*Chironomus* spp.) ซึ่งเป็นสัตว์หน้าดินที่จัดอยู่ในไฟลัม Arthropoda อันดับ Diptera วงศ์ Chironomidae (Fig. 4) ในสถานีที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงปลาในกระชังเป็นจำนวนมาก หนอนแดงเป็นสัตว์หน้าดินที่มีความทนทานต่อสภาวะมลพิษทางน้ำสูงและทนทานต่อการลดลงของปริมาณก๊าซออกซิเจน (Khlangklang and Roachanakanan, 2011) หากพบหนอนแดงจะบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำที่ต่ำเมื่อพิจารณา ร่วมกับการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากห้องปฏิบัติการ จะพบว่าทั้งสองสถานีมีค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) อยู่ในระดับต่ำ

Table 2 The average of water quality at sampling site in the Chi River

Sampling site	Ordinal number*	Parameters							
		T (°C)	Tran (cm)	pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Coliform Bac. MPN/100 ml (X 10 ³)
S ₁	1	24.00	76.67	8.40	2.88	3.37	0.60	0.37	6.24
	2	29.43	58.67	9.38	2.00	5.40	0.53	0.27	6.04
	3	30.57	50.00	7.43	3.80	4.45	1.13	0.23	5.64
	4	25.00	68.67	7.03	7.79	3.80	0.60	0.35	5.74
	5	21.20	55.33	6.84	6.84	2.15	0.68	0.30	5.50
	6	27.50	80.00	7.24	4.20	3.80	0.73	0.38	5.64
	$\bar{x} \pm S.D.$	26.19 ± 3.53	64.89 ± 12.10	7.72 ± 0.97	4.58 ± 2.26	3.82 ± 1.08	0.71 ± 0.21	0.31 ± 0.05	5.80 ± 0.28
S ₂	1	25.76	66.67	9.13	6.29	2.57	0.50	0.26	4.19
	2	30.00	54.00	9.34	3.75	6.07	0.77	0.14	4.14
	3	32.00	49.33	7.80	4.13	4.27	1.05	0.26	4.56
	4	25.00	64.33	6.90	8.08	3.15	0.53	0.10	3.43
	5	22.10	50.00	7.02	7.02	2.85	0.75	0.28	4.50
	6	27.50	80.00	7.30	4.50	3.20	0.73	0.37	4.56
	$\bar{x} \pm S.D.$	27.06 ± 3.57	60.72 ± 11.91	7.91 ± 1.07	5.62 ± 1.75	3.68 ± 1.30	0.72 ± 0.19	0.23 ± 0.09	4.23 ± 0.43
S ₃	1	26.00	53.33	9.24	5.99	2.73	0.50	0.20	5.24
	2	30.00	15.00	9.40	6.60	3.88	0.77	0.17	5.36
	3	33.00	43.33	7.77	6.14	2.43	0.83	0.12	5.35
	4	26.00	58.33	7.21	7.60	2.55	0.57	0.20	3.20
	5	22.40	50.00	6.89	6.89	2.50	0.93	0.30	3.70
	6	27.50	75.00	7.30	4.00	3.25	0.83	0.45	6.25
	$\bar{x} \pm S.D.$	27.48 ± 3.66	49.16 ± 19.85	7.96 ± 1.08	6.20 ± 1.22	2.89 ± 0.56	0.73 ± 0.16	0.24 ± 0.11	4.85 ± 1.15
S ₄	1	26.83	55.00	9.63	6.37	2.90	0.45	0.19	3.19
	2	27.67	50.67	9.60	7.33	3.73	0.57	0.13	3.79
	3	34.00	35.33	8.00	6.15	3.53	0.67	0.08	3.24
	4	27.00	60.00	7.67	7.90	3.65	0.40	0.19	2.60
	5	27.80	43.67	7.05	7.05	2.45	0.95	0.24	2.82
	6	27.00	65.00	7.36	4.25	3.95	0.80	0.45	3.50
	$\bar{x} \pm S.D.$	28.38 ± 2.77	51.61 ± 10.86	8.21 ± 1.12	6.50 ± 1.27	3.36 ± 0.57	0.64 ± 0.21	0.21 ± 0.12	3.19 ± 0.43
S ₅	1	26.00	60.00	9.75	7.48	1.10	0.40	0.12	2.70
	2	28.53	75.00	9.78	7.45	3.07	0.43	0.23	2.89
	3	34.00	71.33	8.03	6.27	3.30	0.60	0.16	2.35
	4	27.00	61.00	7.53	7.30	3.25	0.40	0.12	2.00
	5	25.90	45.67	7.24	7.24	1.40	0.71	0.16	1.60
	6	27.00	76.00	7.45	4.30	3.00	0.67	0.39	2.54
	$\bar{x} \pm S.D.$	28.07 ± 3.05	64.83 ± 11.62	8.29 ± 1.16	6.67 ± 1.24	2.52 ± 0.99	0.53 ± 0.14	0.19 ± 0.10	2.34 ± 0.47
S ₆	1	26.00	70.67	9.81	7.41	1.00	0.30	0.15	2.39
	2	29.00	56.33	10.00	7.43	3.63	0.53	0.40	2.00
	3	34.00	62.33	7.80	5.01	2.53	0.50	0.15	1.98
	4	28.00	52.00	7.42	9.80	2.20	0.40	0.21	1.28
	5	27.10	44.67	7.20	7.20	1.20	0.48	0.14	1.24
	6	27.00	79.00	7.45	6.25	2.90	0.57	0.26	2.24
	$\bar{x} \pm S.D.$	28.51 ± 2.87	60.83 ± 12.55	8.28 ± 1.27	7.18 ± 1.58	2.24 ± 1.00	0.46 ± 0.09	0.21 ± 0.10	1.85 ± 0.48
Total		27.61 ± 0.88	58.67 ± 6.71	8.06 ± 0.23	6.12 ± 0.91	3.08 ± 0.63	0.63 ± 0.11	0.23 ± 0.04	3.71 ± 1.51

*Ordinal number 1,6 as winter season, 2,6 as summer season, and 4,5 as rainy season

สำหรับดัชนีความหลากหลาย (H) ของสัตว์หน้าดินที่พบในแม่น้ำชี ช่วงที่ไหลผ่านจังหวัดมหาสารคาม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.28 ± 0.11 (Table 4) ในแต่ละสถานีมีค่าเฉลี่ยของดัชนีความหลากหลายใกล้เคียงกัน เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาเทียบกับเกณฑ์กำหนดคุณภาพน้ำที่ใช้ดัชนีความหลากหลายเป็นเกณฑ์ซึ่งกำหนดให้ดัชนีความหลากหลายที่อยู่ในช่วง 2-3 แสดงถึงคุณภาพน้ำค่อนข้างดี (Lekchonlayuth, 1992) ซึ่งค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener ได้บ่งชี้คุณภาพน้ำไว้ตามเกณฑ์ไว้ (H < 1 น้ำเสีย, H 1 - 2 น้ำคุณภาพเลว, H 2 - 3 น้ำคุณภาพค่อนข้างดีและ H > 3 น้ำคุณภาพดี) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความหลากหลายในแต่ละสถานี พบว่าสถานีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยดัชนีความหลากหลายมากที่สุด (2.57) และสถานีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยดัชนีความหลากหลายน้อยที่สุด (2.04) ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากหลายประการ อาทิ ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง การสะสมของตะกอน เศษอาหารปลาที่เหลือจากการเพาะเลี้ยงปลาในกระชัง มูลปลา การใช้ยาปฏิชีวนะในกระบวนการเลี้ยงปลาในกระชัง สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าดัชนีความหลากหลายของสัตว์

หน้าดิน สำหรับค่าดัชนีความสม่ำเสมอของสัตว์หน้าดิน (J) หรือดัชนีการกระจายตัว พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.56 ± 0.04 (Table 5) ถ้าหากค่าดัชนีความสม่ำเสมอมีค่าใกล้ 1 แสดงว่าบริเวณนั้นมีสัตว์หน้าดินแต่ละชนิดมีปริมาณใกล้เคียงกัน และมีการกระจายที่เหมือนกัน (Sheldon, 1969) จุดสำรวจที่มีค่าดัชนีความสม่ำเสมอของสัตว์หน้าดินมากที่สุดคือ สถานีที่ 2 มีค่า 0.68 ส่วนสถานีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของดัชนีความสม่ำเสมอต่ำสุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.51 ค่าดัชนีความชุกชุมทางชนิด (R) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.54 ± 0.31 (Table 6) หากบริเวณใดมีค่าเฉลี่ยของความชุกชุมสูงแสดงว่าสภาพถิ่นที่อยู่อาศัยเหมาะสมต่อสัตว์หน้าดินเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความชุกชุมทางชนิดตามสถานีเก็บตัวอย่างพบว่าสถานีที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของความชุกชุมทางชนิดมากกว่าสถานีอื่นๆ สถานีที่พบค่าดัชนีความชุกชุมทางชนิดของสัตว์หน้าดินสูงจะเป็นบริเวณที่มีธาตุอาหารในแหล่งน้ำสูงด้วย ซึ่งธาตุอาหารต่างๆ เหล่านี้มาจาก เศษอาหารจากการเพาะเลี้ยงปลาในกระชัง มูลของปลา สารอินทรีย์จากชุมชน และการเกษตรกรรม จึงทำให้สัตว์หน้าดินมีความชุกชุมกว่าบริเวณที่ห่างไกลจากแหล่งชุมชน

Table 3 Number of Benthos found in Chi River, Maha Sarakham Province

Phylum	Order	Family	Found in site	Total number of samples
Annelida	Haplotaxida	Tudificidae	1,2,3,4,5,6	37
Mollusca	Mesogastropoda	Viviparidae	1,2,3,4,5,6	93
		Thiaridae	1,2,3,4,5,6	86
		Certhiidae	1,2,3,4,5,6	62
		Ampullariidae	1,2,4,5,6	54
	Unionoida	Amblemidae	1,2,3,5,6	19
	Basommatophora	Lymnaeidae	1,2,3,4,5,6	14
	Veneroida	Corbiculidae	1,2,3,4,5,6	12
Arthropoda	Decapoda	Palaemonidae	1,2,3,4,5,6	569
		Parathelphusidae	1,2,3,4,5,6	17
	Diptera	Chironomidae	1,2,-,-,-	105
	Coleoptera	Gerridae	1,2,3,4,5,6	114
	Odonata	Lidellulidae	1,2,3,4,5,6	297
		Caliphaeidae	1,2,3,4,5,6	136
	Hemiptera	Belostomatidae	1,2,3,4,5,6	89
		Hydrometridae	1,2,3,4,5,6	100

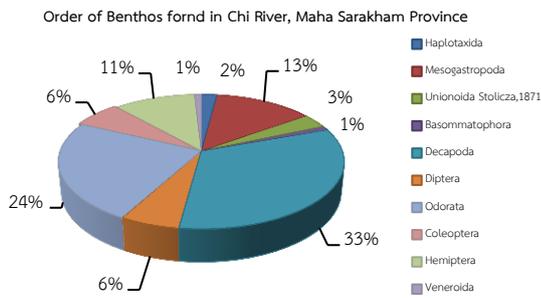


Fig. 3 Percentage of benthic animals found in The Chi River

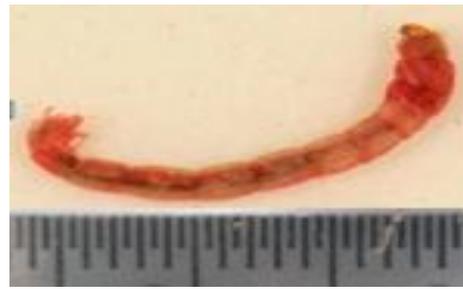


Fig. 4 *Chironomus* spp. found in only S1 and S2

Table 4 Diversity Index (H') of Benthos in the Chi River

Ordinal number	Diversity Index (H')						$\bar{x} \pm S.D.$
	Sampling site						
	1	2	3	4	5	6	
1	2.11	2.58	2.35	1.70	2.97	2.04	2.29 ± 0.44
2	2.27	2.35	3.08	2.10	2.92	2.39	2.51 ± 0.38
3	2.14	2.10	2.06	2.80	2.04	2.18	2.22 ± 0.28
4	1.89	2.80	2.01	2.51	2.09	2.24	2.25 ± 0.34
5	1.92	1.65	2.35	2.08	2.80	2.58	2.23 ± 0.42
6	1.91	2.08	1.89	2.44	2.64	2.24	2.20 ± 0.29
$\bar{x} \pm S.D.$	2.04±0.15	2.26±0.40	2.29±0.42	2.27±0.38	2.57±0.41	2.27±0.18	2.28±0.11

Table 5 Evenness Value (J') of Benthos in the Chi River

Ordinal number	Evenness Value (J')						$\bar{x} \pm S.D.$
	Sampling site						
	1	2	3	4	5	6	
1	0.50	0.66	0.49	0.47	0.59	0.61	0.55 ± 0.07
2	0.47	0.52	0.64	0.30	0.31	0.72	0.49 ± 0.17
3	0.55	0.58	0.53	0.60	0.56	0.55	0.56 ± 0.02
4	0.52	0.93	0.56	0.50	0.45	0.59	0.59 ± 0.17
5	0.58	0.54	0.60	0.45	0.66	0.65	0.58 ± 0.07
6	0.53	0.87	0.60	0.70	0.53	0.64	0.64 ± 0.12
$\bar{x} \pm S.D.$	0.52± 0.03	0.68±0.17	0.57±0.05	0.50±0.13	0.51±0.12	0.62±0.05	0.56±0.04

Table 6 Taxa Richness (R) of Benthos in the Chi River

Ordinal number	Taxa Richness (R)						$\bar{x} \pm S.D$
	Sampling site						
	1	2	3	4	5	6	
1	2.83	2.79	4.07	2.69	2.58	2.74	2.95 ± 0.55
2	3.41	3.25	3.43	1.95	2.22	2.74	2.83 ± 0.63
3	2.28	2.73	2.80	2.31	2.81	2.81	2.62 ± 0.25
4	2.65	2.50	2.81	2.49	1.90	1.84	2.36 ± 0.40
5	2.94	2.22	3.07	1.90	2.38	1.97	2.41 ± 0.49
6	2.63	2.50	2.52	1.16	2.49	1.41	2.11 ± 0.65
$\bar{x} \pm S.D$	2.79±0.37	2.66±0.35	3.11±0.55	2.08±0.54	2.39±0.31	2.25±0.59	2.54±0.31

สรุปผลการวิจัย

คุณภาพน้ำของแม่น้ำชีในภาพรวมยังมีคุณภาพอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ แต่มีบางสถานีที่มีคุณภาพน้ำต่ำโดยพิจารณาจากค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) และความต้องการออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ค่อนข้างสูง ซึ่งพบในสถานีที่มีการเพาะเลี้ยงปลาในกระชังอย่างหนาแน่น และเป็นบริเวณที่ตั้งของชุมชนขนาดใหญ่ที่มีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำชีโดยตรงโดยไม่มีการบำบัดน้ำเสียเมื่อนำข้อมูลด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำชีมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินสามารถจัดคุณภาพน้ำของแม่น้ำชีอยู่ในประเภทที่ 3 โดยแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อนและใช้เพื่อการเกษตร และเมื่อนำข้อมูลด้านความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์หน้าดินมาร่วมพิจารณาจะเห็นว่าสถานีที่ตรวจพบว่าน้ำมีคุณภาพน้ำต่ำจะตรวจพบหนอนแดง (*Chironomus* spp.) ที่เป็นสัตว์หน้าดินที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในแหล่งน้ำที่คุณภาพต่ำซึ่งสอดคล้อง

กับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นการบ่งชี้คุณภาพน้ำโดยใช้สัตว์หน้าดินจึงเป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำอีกวิธีหนึ่งที่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงการสะสมของมลสารในสภาพแวดล้อมเป็นระยะเวลานานได้ เนื่องจากสัตว์หน้าดินเป็นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยเฉพาะที่ประจำที่ หรือยึดเกาะอยู่กับที่ และมีการเคลื่อนย้ายในบริเวณที่จำกัด นอกจากนั้นสัตว์หน้าดินบางชนิดมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและมีการฟื้นตัวช้าทำให้เห็นร่องรอยของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำได้ การใช้สัตว์หน้าดินมาประเมินคุณภาพน้ำจะเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว ประชาชนที่อาศัยหรือใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำสามารถใช้สัตว์หน้าดินตรวจวัดคุณภาพน้ำได้ด้วยตนเอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณทุกภาคส่วนที่มีส่วนช่วยเหลืองานวิจัยสำเร็จลงด้วยดี

References

- APHA, AWWA, WPCF. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st edition. American Public Health Association Inc: Washington D.C.
- Aryuthaka, C. 2000. Preliminary of marin bentric communities. Kasetsart University: Bangkok. (in Thai)
- Boonprakop, K. 1980. Ecology. Department of Biology, Faculty of Science, Ramksamhaeng University: Bangkok. (in Thai)
- Degefu, F., Mengistu, S and Schagerl, M. 2013. Influence of fish cage farming on water quality and plankton in fish ponds: a case study in the Rift valley and North shoe reservoirs, Ethiopia. *Aquaculture*. 316: 129-135.
- Department of Fisheries. 2013. Report on fisheries situation in Maha Sarakham Province [online]. [Accessed August 6, 2014]. Available from: http://www.fisheries.go.th/if-m_sarakhom/we62/images/kik/stnile.pdf. (in Thai)
- Duangawat, M. 2008. Water quality criteria for the protection of freshwater aquatic organism. Kasetsart University: Bangkok. 226 pp. (in Thai)
- Hanjavanit, C. and Tangpirotewong, N. 2007. Comparison of benthic macroinvertebrate community structure in relation to different types of human disturbance along the Pong river, Khon Kaen Province. *J. KKU*. 12(4): 402-419. (in Thai)
- Kanchanavanich, S. and Munchinda, N. 1999. Water detective guide. Green world foundation: Bangkok. 162 pp. (in Thai)
- Khlangklang, N. and Roachanakanan, R. 2011. The use of benthic macro invertebrates as biotic index of water quality by application of the Belgian biotic index (BBI) case study of the river near the palm oil factory in Amphur Nong Yai, Chonburi Province. *Proceeding of the 12th Graduate Research Conference*. January 28, 2011. Khon Kaen University. Khon Kaen. pp. 765-773. (in Thai)
- Lekchonlayuth, T. 1992. Aquatic ecosystem. Faculty of Fisheries, Kasetsart University: Bangkok. 289 pp. (in Thai)
- Nakmee, N., Pakmarth, A., Srikanrayaniwat, P., Ngamnikunchalin, D., Tipnoppakun, A. and Sangyoka, S. 2011. Impact of fish in cage to water quality in Nan river, Phisanulok Province. *Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Sciences*. 12(12): 18-31. (in Thai)
- Netpae, T. 2013. Bentsic fauna diversity in rivers from Nakhon Sawan Province. *Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University*. 5(5): 18. (in Thai)
- Pollution Control Department. 2013. Water quality standards [online]. [Accessed August 7, 2014]. Available from: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg-std_water0.5html. (in Thai)
- Pungchimplee, S. and Sukmongkolrat, C. 2013. Abundance and diversity of benthic fauna in the lower Pasak river. Paper No. 6/2013. Inland Fisheries Research and Development Bureau. Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives: Bangkok. 70 pp. (in Thai)
- Rattananukul, W. 2014. Benthos. The Institute for the promotion of Teaching Science and Technology (IPST) [online]. [Accessed August 5, 2014]. Available from: <http://www.biology.ipst.ac.th/?p=816>. (in Thai)
- Royal Irrigation Department. 2014. Hydrology and water management center for upper Northeastern region

- [online]. [Accessed August 10, 2014]. Available from: URL: http://www.hydro3.com/admintransfer/water/other/benmet_up_water_annually/ben_metvolume_wate.php. (in Thai)
- Sangpradub, N. 2001. Biological classification of water quality by benthic invertebrates. Faculty of Science, Khon Kaen University: Khon Kaen. (in Thai)
- Sheldon, M.E. 1969. Investment and involvement as mechanism producing commitment to the organization. Admin. Sci. Quart. 16(2): 143-150.
- Tanthawanich, P. 2000. Statistics for educational research. Thirdwave Education: Bangkok. (in Thai)
- Tuntoolaves, M. and Pronprapa, P. 2001. Water quality management and wastewater treatment in aquaculture ponds. In: Water Quality Management. Vol 1. Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Chulaloungkorn University: Bangkok: 214 pp. (in Thai)

การพัฒนากระบวนการผลิตและการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยา

เบญจพร รอดอาวุธ^{1*}, ชื่นจิต พงษ์พูล¹, พรพรรณ จิ๋ว¹ และ ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา²

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ 60000

²สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ตำบลตลาด
อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตและการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาโดยการใช้กลีเซอรอลซึ่งเป็นสารอิมเมกแทนต์ในการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (aw) ทั้งในส่วนของไส้สังขยาและส่วนตัวขนมปัง ในการผลิตขนมปังสังขยาในส่วนของไส้สังขยามีการใช้กลีเซอรอลร่วมกับฟรุคโตสที่ระดับร้อยละ 0, 3 และ 6 และในส่วนตัวขนมปังมีการใช้กลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 0, 3 และ 6 และศึกษาผลกระทบที่มีต่อค่าวอเตอร์แอกทิวิตีและคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความชอบรวม โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design; RCBD) ใช้วิธี 9 point hedonic scale โดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนทั้งหมด 15 คน และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ผลการทดลองพบว่า การใช้กลีเซอรอลร่วมกับฟรุคโตสในส่วนของไส้สังขยาที่ระดับร้อยละ 6 มีผลในการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำที่สุด (0.85) และมีค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมสูงสุด คือ 7.28 ส่วนการใช้กลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 3 ในส่วนตัวขนมปังมีความเหมาะสมในการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่ต่ำที่สุด คือ 0.83 และมีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมเท่ากับ 6.85, 7.26, 7.55 และ 7.65 ตามลำดับ นำผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตจากส่วนไส้สังขยาและส่วนตัวขนมปังมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิห้องเย็น (4 องศาเซลเซียส) พบว่า การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาภายใต้อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส จะสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลา 3 วัน ส่วนผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิห้องเย็น 4 องศาเซลเซียส จะเก็บได้เป็นระยะเวลา 6 วัน โดยที่ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.85 และมีค่าคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมอยู่ในระดับดี คือ มีค่าคะแนนเท่ากับ 7.45, 6.40, 6.50 และ 6.45 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ขนมปัง สังขยา กลีเซอรอล วอเตอร์แอกทิวิตี และการยืดอายุการเก็บ

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: benchapornrot@hotmail.com/Tel: 081-5340167

Process Development and Shelf Life Extension of Thai Custard Bread

Benchaporn Rotarwut^{1*}, Chuenjit Pongpool¹, Phornphan Jiu¹ and
Choothaweep Palakawong²

¹*Program in Food science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology,
Rajabhat Nakhon Sawan University, Nakhon Sawan, 60000, Thailand*

²*Program in Food Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University,
Maha Sarakham, 44000, Thailand*

Abstract

The objectives of this research were to develop the process and extend shelf life of Thai custard bread using glycerol as humectants to reduce water activity (a_w). The glycerol and fructose were incorporated at 0, 3 and 6% level of custard cream filling and only the glycerol was used at 0, 3 and 6% level of bread flour for Thai custard bread making. Their effects on water activity (a_w) and the sensory quality (color, flavor, texture, and overall liking score) were studied. The experimental design was randomized complete block design; RCBD. The method of sensory evaluation was based on the nine-point hedonic scale by 15 trained panelists and the data obtained were analyzed statistically using the analysis of variance (ANOVA) technique. The effect of incorporation of glycerol and fructose to custard cream filling at 6% level had the lowest water activity (0.85) and had the maximum overall liking score (7.28). The optimum condition of bread was 3% glycerol which reduced water activity (0.83). The sensory quality scores of color, flavor, texture and overall liking score were at 6.85, 7.26, 7.55 and 7.65 respectively. The custard cream filling was combined with bread and stored under different temperature such as ambient temperature conditions (25°C) and refrigerated temperature of 4°C. It was found that the shelf life of Thai custard bread which stored under ambient conditions could last for 3 days. The shelf life of samples stored under refrigerator temperature of 4°C was able to last for 6 days based on water activity (0.85), and the sensory quality scores through color, flavor, texture and overall liking score at 7.45, 6.40, 6.50 and 6.45 respectively.

Keywords: Thai custard bread, Humectant, Glycerol and Water activity

* Corresponding author: E-mail: benchapornrot@hotmail.com/Tel: 081-5340167

บทนำ

ขนมปังสังขยาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดหนึ่งที่ได้รับคามนิยมจากผู้บริโภค ส่วนใหญ่มีการผลิตในระดับครัวเรือนซึ่งมีกำลังการผลิตค่อนข้างต่ำ แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตมากขึ้นทำให้เป็นแหล่งอาชีพและแหล่งรายได้ของผู้ประกอบการและชุมชนจำนวนมากโดยเฉพาะจังหวัดอุทัยธานีที่มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาให้เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์และสินค้าของฝากที่มีชื่อเสียงและเป็นที่ยอมรับในจังหวัดอุทัยธานีและจังหวัดใกล้เคียง แต่เนื่องด้วยขนมปังสังขยาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ประกอบด้วยส่วนของขนมปังที่อยู่ภายนอกซึ่งทำจากแป้งสาลี และส่วนของไส้สังขยาที่อยู่ภายในขนมปังสังขยามีส่วนประกอบของกะทิ น้ำตาลเป็นหลัก จัดเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีอายุการเก็บสั้นซึ่งมีปัจจัยภายในที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น ความชื้น ความเป็นกรดต่ำ ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มากที่สุดคือค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (aw) ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีสูงจะทำให้จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดความเสื่อมเสียเจริญเติบโตได้ดีและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 วัน ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาสั้นเป็นอุปสรรคต่อการขยายโอกาสทางการตลาดและช่องทางการวางจำหน่าย เพราะมีความเสี่ยงจากการเสื่อมเสียสูง แนวทางการใช้สารฮิวเมกแทนต์ในอาหารเพื่อลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเป็นแนวทางหนึ่งที่ได้มีการศึกษาทดลองในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ซึ่งกลีเซอรอลจัดเป็นสารฮิวเมกแทนต์ชนิดหนึ่งเมื่อใส่ในอาหารจะไปจับกับโมเลกุลของน้ำโดยที่ไม่มีการสูญเสียน้ำออกจากอาหาร ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของอาหารลดต่ำลง ตัวอย่างของการใช้กลีเซอรอลซึ่งจัดเป็นสารฮิวเมกแทนต์ในการลดค่าปริมาณน้ำอิสระของไส้เผือกกวนในขนมโมจิ (Kunkriengwong *et al.*, 2008) โดยการใช้กลีเซอรอลร้อยละ 80 ทดแทนน้ำตาลในไส้เผือกกวนของขนมโมจิจะสามารถลดค่าปริมาณน้ำอิสระจาก 0.91 เป็น 0.63 ได้ การใช้กลีเซอรอลเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาขนมเปียะ โดยใช้กลีเซอรอลที่ร้อยละ 16.7 จะสามารถลดระดับปริมาณน้ำอิสระในไส้ถั่วกวนได้ต่ำสุดเป็น 0.80 โดยที่คุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับ นอกจากนี้สารกลีเซอรอลยังไม่มีผลต่อกลิ่นน้ำมัน กลิ่นถั่ว

กลิ่นหืนและความหวานของผลิตภัณฑ์ (Kanto, 2002) และ การใช้สารกลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์มาร์ชเมลโลว์สอดไส้ครีมสับปะรด โดยใช้กลีเซอรอลทดแทนน้ำตาลในสูตรพื้นฐานที่ระดับร้อยละ 15 จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มาร์ชเมลโลว์สอดไส้ครีมสับปะรดที่มีปริมาณน้ำอิสระ 0.72 (Kong-ngen and Pongjunta, 2014) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำพัฒนากระบวนการผลิตและการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาโดยการใช้สารกลีเซอรอลซึ่งจัดเป็นสารฮิวเมกแทนต์ ในระดับที่เหมาะสมเพื่อลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์นั้นยังได้รับการยอมรับด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัส และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาหาปริมาณการใช้กลีเซอรอลที่เหมาะสมในการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ในส่วนของไส้สังขยา

เตรียมไส้สังขยาโดยการเติมกลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 0, 3 และ 6 ร่วมกับฟรุคโตสที่ระดับร้อยละ 0, 3 และ 6 ของน้ำหนักรวมสูตร โดยแทนที่การใช้น้ำตาลทรายบางส่วนและผลิตไส้สังขยาตามขั้นตอนดังนี้คือ นำส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นแป้งข้าวโพดใส่ลงในกระทะทองเหลืองที่ตั้งไฟอ่อนๆ ค่อยๆ ร่อนแป้งข้าวโพดลงไปพร้อมคนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน หลังจากนั้นปิดไฟ ใส่เนยที่เตรียมไว้ และพักทิ้งไว้ให้เย็น เพื่อนำไปทดสอบคุณภาพด้านต่างๆ นำผลิตภัณฑ์ไส้สังขยาที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆ เพื่อคัดเลือกสูตรที่มีปริมาณการใช้กลีเซอรอลร่วมกับฟรุคโตสที่ระดับเหมาะสมที่สุดในการนำไปศึกษาขั้นตอนต่อไป

1.1 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (aw) ด้วยเครื่อง Water Activity; aw รุ่น Aqua Lab Series 3TE โดยใช้หลักการสุ่มตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

1.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมโดยวิธีการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale (คะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบที่สุด และ 9 หมายถึงชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 15 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) และ

วิเคราะห์ผลการทดลองโดย Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's New Multiple Range Test

2. ศึกษาหาปริมาณการใช้กลีเซอรอลที่เหมาะสมในการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ในส่วนของตัวขนมปัง

เตรียมส่วนผสมขนมปังโดยเติมกลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 0, 3 และ 6 ของน้ำหนักรวม และผลิตส่วนผสมขนมปังตามขั้นตอนดังนี้คือ นำส่วนผสมที่เป็นของแข็ง ได้แก่ แป้งขนมปัง แป้งเค้ก น้ำตาลทราย น้ำตาล และสารเสริมคุณภาพ ผสมเข้าด้วยกันบนตะแกรงร่อน ยกเว้นกลีเซอรอล ใส่อัตินกับยีสต์ ใส่แป้งที่ผสมลงในโถตีขนมปัง เติมน้ำผสมที่เหลือลงไป ตีผสมส่วนผสมทั้งหมดจนกระทั่งไม่ติดโถปั่น แล้วนำออกใส่กะละมัง คลุมด้วยผ้าขาวบางน้ำ ทิ้งให้โดขึ้นเป็น 2 เท่า นำแป้งมาตัดเป็นก้อน ก้อนละ 30 กรัม ใสภาชนะจิบ ทิ้งให้ขึ้นโดเป็น 2 เท่า อบประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นทานเนยที่ผิวขนมปัง เก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบคุณภาพด้านต่าง ๆ เพื่อเลือกสูตรที่มีปริมาณการใช้สารกลีเซอรอลที่ระดับเหมาะสมที่สุดในการนำไปศึกษาขั้นตอนต่อไป

2.1 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (aw) ด้วยเครื่อง Water Activity; aw รุ่น Aqua Lab Series 3TE โดยใช้หลักการสุ่มตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ จำนวน 3 ซ้ำ

2.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมโดยวิธีการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale (คะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบที่สุด และ 9 หมายถึงชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 15 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) และวิเคราะห์ผลการทดลองโดย Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's New Multiple Range Test

3. ศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาที่สถานะการเก็บต่างๆ

นำผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาสูตรปรับปรุงที่ได้จากการเติมกลีเซอรอลร่วมกับฟรุคโตสที่ระดับร้อยละ 6 ในส่วนไส้สังขยาและการใช้กลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 3 ในส่วนตัว

ขนมปังมาทำการเก็บรักษาที่ 2 สภาวะ ได้แก่ ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วนำมาตรวจสอบคุณภาพที่ระยะการเก็บรักษาต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.1 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (aw) ด้วยเครื่อง Water Activity; aw รุ่น Aqua Lab Series 3TE โดยใช้หลักการสุ่มตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ จำนวน 3 ซ้ำ

3.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) ตามวิธีการ AOAC (2002)

3.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมโดยวิธีการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale (คะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบที่สุด และ 9 หมายถึงชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 15 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) และวิเคราะห์ผลการทดลองโดย Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's New Multiple Range Test

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาหาปริมาณการใช้กลีเซอรอลที่เหมาะสมในการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในส่วนของไส้สังขยาที่มีการเติมกลีเซอรอลร่วมกับฟรุคโตสที่ระดับร้อยละ 0, 3 และ 6 แสดงดัง Table 1 พบว่า กลีเซอรอลและฟรุคโตสมีผลต่อค่าวอเตอร์แอกทิวิตีคือเมื่อมีการเติมกลีเซอรอลและฟรุคโตสในปริมาณที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของไส้สังขยาลดลงส่วนผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของไส้สังขยาดังแสดงใน Table 2 พบว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสมีค่าคะแนนเพิ่มขึ้นจาก 6.02 เป็น 7.46 และคะแนนคุณภาพทางด้านความชอบรวมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 6.18 เป็น 7.28 ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสูตรที่ 3 จนถึงสูตรที่ 9 มีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสทั้งด้านกลิ่นรส และด้านความชอบรวมเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าสูตรที่ 3 ถึงสูตรที่ 9 มีปริมาณฟรุคโตสเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานเพิ่มมากขึ้น

Table 1 Effect of glycerol on the water activity (aw) of custard cream filling

Treatment	Glycerol (%)	Fructose (%)	Water activity (aw)
1	0	0	0.97±0.01 ^f
2	3	0	0.93±0.01 ^c
3	6	0	0.85±0.01 ^a
4	0	3	0.95±0.00 ^e
5	3	3	0.94±0.01 ^{de}
6	6	3	0.86±0.01 ^a
7	0	6	0.94±0.00 ^{cd}
8	3	6	0.92±0.01 ^b
9	6	6	0.85±0.01 ^a

^aValues in the same column followed by different letters are significantly different at a level of P< 0.05

ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี และด้านเนื้อสัมผัสของทั้งหมด 9 สูตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการใช้กลีเซอรอลที่มีลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี และค่าประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมในส่วนของไส้สังขยา จะเห็นได้ว่าสูตรที่ 9 ที่มีปริมาณการใช้กลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 6 ร่วมกับฟรุคโตสที่ระดับร้อยละ 6 สามารถลดวอเตอร์แอคทิวิตีได้ 0.845 (ต่ำกว่า 0.85) และมีผลคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง (คะแนน 7.28) ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงคุณภาพทางเคมีในด้านค่าวอเตอร์แอคทิวิตีประกอบกับคุณภาพทางประสาทสัมผัสดังกล่าว จึงคัดเลือกไส้สังขยาสูตรที่มีการใช้ปริมาณกลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 6 ร่วมกับฟรุคโตสที่ระดับร้อยละ 6 ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

Table 2 Effect of glycerol on the sensory quality of custard cream filling

Treatment	Glycerol (%)	Fructose (%)	Average sensory score			
			Color	Flavor	Texture	Overall liking score
1	0	0	7.51±0.71 ^b	6.39±0.63 ^{bc}	6.51±0.59 ^b	6.55±0.60 ^{bc}
2	3	0	7.06±0.42 ^a	6.15±0.30 ^{ab}	6.06±0.16 ^a	6.37±0.48 ^{ab}
3	6	0	7.01±0.38 ^a	6.02±0.08 ^a	6.01±0.03 ^a	6.18±0.30 ^a
4	0	3	7.39±0.43 ^b	6.81±0.55 ^e	6.39±0.47 ^{ab}	6.61±0.47 ^c
5	3	3	7.54±0.35 ^b	6.80±0.56 ^{de}	6.54±0.48 ^b	6.77±0.37 ^c
6	6	3	7.62±0.31 ^b	6.59±0.53 ^{cd}	6.62±0.47 ^b	6.65±0.44 ^c
7	0	6	7.57±0.31 ^b	6.87±0.37 ^e	6.57±0.52 ^b	6.58±0.52 ^c
8	3	6	7.66±0.34 ^b	7.39±0.13 ^f	6.66±0.72 ^{bc}	7.11±0.38 ^d
9	6	6	7.42±0.64 ^b	7.46±0.66 ^f	6.92±0.77 ^c	7.28±0.41 ^d

^a Values in the same column followed by different letters are significantly different at a level of P<0.05

ผลการศึกษาหาปริมาณการใช้กลีเซอรอลที่เหมาะสมในการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ในส่วนของขนมปังที่มีการเติมกลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 0, 3 และ 6 แสดงดัง Table 3 พบว่า การใช้กลีเซอรอลในระดับที่มากขึ้นจะส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของส่วนขนมปังลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 0.92 เป็น 0.83 เนื่องจากกลีเซอรอลจะจับกับ

น้ำอิสระในขั้นตอนการทำโดทำให้น้ำนั้นไม่สามารถนำไปใช้ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีลดลง ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของขนมปัง แสดงดัง Table 4 พบว่า ผลลิตภัณฑ์ส่วนขนมปังที่มีการใช้กลีเซอรอลที่ระดับ 0, 3 และ 6 มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี และกลิ่นรสแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

($P>0.05$) ขณะที่คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสและด้านความชอบรวม มีค่าคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq 0.05$) โดยคะแนนจะลดลงเมื่อมีการเติมกลีเซอรอลในระดับที่มากขึ้น และเมื่อเทียบสูตรที่ใช้กลีเซอรอลร้อยละ 3 กับสูตรที่ใช้กลีเซอรอล ร้อยละ 6 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่แตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) คือ 0.83 แต่สูตรที่ใช้กลีเซอรอลร้อยละ 3 มีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq 0.05$) ดังนั้นในการคัดเลือกปริมาณการใช้กลีเซอรอลที่เหมาะสมในส่วนขนมปังนั้นจะพิจารณาจากผลของคุณภาพทางเคมีด้านค่าวอเตอร์แอกทิวิตีประกอบกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งจะเห็นได้ว่าสูตรที่ 2 ที่มีการใช้กลีเซอรอลในส่วนขนมปังระดับร้อยละ 3 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำที่สุดคือ 0.83 และมีค่าคะแนนทางคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมในระดับชอบปานกลาง (คะแนน 7.65) จึงคัดเลือกส่วนขนมปังสูตรที่มีการใช้ปริมาณกลีเซอรอลร้อยละ 3 ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

Table 3 Effect of glycerol on the water activity (aw) of bread

Treatment	Glycerol (%)	Water activity
1	0	0.92±0.01 ^b
2	3	0.83±0.02 ^a
3	6	0.83±0.02 ^a

^a Values in the same column followed by different letters are significantly different at a level of $P\leq 0.05$

ผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาที่ได้จากการปรับปรุงโดยการนำผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาที่ได้จากการใช้กลีเซอรอลร่วมกับฟรุคโตสที่ระดับร้อยละ 6 ในส่วนไส้สังขยาและการใช้กลีเซอรอลในส่วนขนมปังระดับร้อยละ 3 (สูตรปรับปรุง) มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบรวม ดังแสดงใน Table 5 พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาสูตรปรับปรุงและผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาสูตรควบคุมมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีคะแนนคุณภาพด้านสีอยู่

ในช่วง 7.50-7.55 ด้านกลิ่นรสอยู่ในช่วง 7.62-7.65 ด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 7.55-7.58 และด้านความชอบรวมมีคะแนนอยู่ในช่วง 7.55-7.59 ดังนั้นการใช้กลีเซอรอลในกระบวนการผลิตขนมปังสังขยาสามารถลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีได้โดยที่ยังมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระดับที่ผู้ทดสอบชอบปานกลาง

ผลการตรวจสอบค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาสูตรปรับปรุงที่เก็บรักษาอุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Table 6) พบว่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาทั้ง 2 สถานะนี้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ที่ทุกระยะเวลาการเก็บรักษา และการเก็บรักษาทั้ง 2 สถานะนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนย้ายความชื้นจากส่วนไส้สังขยามายังส่วนตัวขนมปัง ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกิดจากระดับความชื้นที่ไม่เท่ากันทำให้มีการเคลื่อนย้ายความชื้นจากที่สูงกว่าไปยังที่ต่ำกว่าจนกระทั่งถึงจุดสมดุล

ผลการตรวจสอบคุณภาพด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาสูตรปรับปรุงที่เก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Table 7) พบว่าขนมปังสังขยาสูตรปรับปรุงมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องคือมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ประมาณ 4.05 log cfu/g ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัมหรือประมาณ 4.0 log cfu/g (มพช 526/2547) ส่วนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลการตรวจจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดพบว่าที่ระยะเวลาวันที่ 6 ของการเก็บรักษามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 3.98 log cfu/g ส่วนผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบรวมของขนมปังสังขยาที่สภาวะการเก็บรักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Table 8) พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาสูตรปรับปรุงที่เก็บรักษาจนถึงวันที่ 2 มีค่าคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบรวมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลาตั้งแต่ 3 วันขึ้นไป ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq 0.05$) ซึ่ง

แนวโน้มของการเก็บรักษาที่นานขึ้นจะทำให้ค่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส มีแนวโน้มลดลง จาก 7.13 เหลือ 6.40 ด้านเนื้อสัมผัสลดลงจาก 7.33 เหลือ 6.50 และความชอบรวมลดลงจาก 7.23 เหลือ 6.45 แต่ยังคงถือว่าได้รับคะแนนจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย คือ มีคะแนนอยู่ในช่วง 6.45-6.66 ซึ่งจากผลคุณภาพทางด้านเคมี ด้านจุลินทรีย์ และด้าน

ประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาสูตรปรับปรุงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นานประมาณ 6 วัน โดยที่มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในระดับ 0.85 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 3.98 log cfu/g และค่าคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย คือ มีค่าคะแนนเท่ากับ 6.45

Table 4 Effect of glycerol on the sensory quality of bread

Treatment	Glycerol (%)	Average sensory score			
		Color ^{ns}	Flavor ^{ns}	Texture	Overall liking score
1	0	6.82±0.68	7.28±0.31	7.58±0.50 ^b	7.62±0.38 ^b
2	3	6.85±6.85	7.26±0.49	7.55±0.43 ^b	7.65±0.41 ^b
3	6	6.85±0.42	7.18±0.68	7.00±0.57 ^a	7.00±0.68 ^a

^a Values in the same column followed by different letters are significantly different at a level of P≤0.05

Table 5 Sensory evaluation of Thai custard bread

Treatment	Average sensory score			
	Color	Flavor	Texture	overall liking score
Thai custard bread (control)	7.55±0.67	7.65 ±0.73	7.55±0.72	7.55 ±0.65
Thai custard bread (modified)	7.50±0.39	7.62±0.36	7.58±0.38	7.59±0.38

Table 6 Water activity of Thai custard bread (modified) at different storage conditions

Storage period (day)	Water activity	
	25 °C	4 °C
1	0.82±0.01	0.82±0.01
2	0.85±0.01	0.83±0.01
3	0.85±0.01	0.82±0.01
4	0.87±0.01	0.84±0.01
5	-	0.84±0.01
6	-	0.85±0.01

Table 7 Microbial counts (log cfu/g) of Thai custard bread (modified) at different storage conditions

Storage period (day)	Microbial counts (log cfu/g)	
	25 °C	4 °C
0	1.85±0.25 ^a	1.85±0.25 ^a
1	2.80±0.50 ^b	2.70±0.50 ^b
2	2.80±0.50 ^b	2.80±0.50 ^b
3	3.20±0.25 ^c	3.20±0.25 ^c
4	3.95±0.25 ^d	3.90±0.25 ^d
5	4.05±0.25 ^d	3.92±0.30 ^d
6	4.50±0.25 ^e	3.98±0.50 ^d

^a Values in the same column followed by different letters are significantly different at a level of P≤0.05

Table 8 Sensory evaluation of Thai custard bread (modified) at 4°C

Storage period (day)	Average sensory score			
	Color ^{ns}	Flavor	Texture	Overall liking score
0	7.53±0.52	7.13±0.55 ^b	7.33±0.59 ^b	7.23±0.37 ^b
1	7.63±0.44	7.13±0.74 ^b	7.23±0.37 ^b	7.25±0.51 ^b
2	7.50±0.53	7.00±0.38 ^b	7.25±0.37 ^b	7.25±0.37 ^b
3	7.46±0.53	6.56±0.38 ^a	6.66±0.37 ^a	6.66±0.37 ^a
4	7.50±0.27	6.40±0.47 ^a	6.76±0.27 ^a	6.56±0.26 ^a
5	7.48±0.42	6.40±0.51 ^a	6.52±0.30 ^a	6.52±0.30 ^a
6	7.45±0.44	6.40±0.51 ^a	6.50±0.33 ^a	6.45±0.30 ^a

^a Values in the same column followed by different letters are significantly different at a level of P<0.05

2. วิจัยผลการวิจัย

จากการทดลองใช้กลีเซอรอลและฟรุคโตสที่ระดับร้อยละ 0, 3 และ 6 เพื่อลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในส่วนของไส้สังขยาจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเติมกลีเซอรอลและฟรุคโตสในปริมาณที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของไส้สังขยาลดลงจากเดิมสูตรควบคุมมีค่าเท่ากับ 0.97 ลดลงเหลือเหลือ 0.85 ทั้งนี้เนื่องมาจากกลีเซอรอลเป็นสารอิมกแทนต์ซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่ม polyhydroxyl alcohol ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมาก ทำให้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำในส่วนผลิตภัณฑ์ได้ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระลดลงหรือค่าวอเตอร์แอกทิวิตีลดลง ส่วนผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบรวมของไส้สังขยาที่มีการใช้กลีเซอรอลร่วมกับฟรุคโตสทั้ง 3 ระดับคือร้อยละ 0, 3 และ 6 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสูตรที่มีการใช้กลีเซอรอลร่วมกับฟรุคโตสได้รับคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสทั้งด้านกลิ่นรสและด้านความชอบรวมมากกว่าเมื่อเทียบกับสูตรที่มีการใช้กลีเซอรอลเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าสูตรที่มีปริมาณฟรุคโตสที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานเพิ่มมากขึ้น ขณะที่สูตรที่มีการใช้กลีเซอรอลเพียงอย่างเดียวจะไม่มีผลต่อรสหวานของไส้สังขยามากนัก แต่หากมีการใช้กลีเซอรอลในปริมาณที่มากเกินไปก็อาจจะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้เนื่องจากผู้บริโภคจะรับรู้ถึงรสขมได้ ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้ปริมาณกลีเซอรอลและปริมาณ

ฟรุคโตสที่เหมาะสมจึงพิจารณาเลือกสูตรที่ 9 ซึ่งมีการใช้กลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 6 และฟรุคโตสที่ระดับร้อยละ 6 เช่นกัน เพราะสามารถลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีได้ 0.85 ซึ่งอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการช่วยยับยั้งการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ และยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคโดยมีผลคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง (คะแนน 7.28) สอดคล้องกับการวิจัยของ Kanto (2002) ที่ได้มีการศึกษาผลของการใช้กลีเซอรอลต่อการยืดอายุการเก็บขนมเปียกไส้ถั่วกวน และสอดคล้องกับ Pattaragulwanit (2005) ที่มีการใช้กลีเซอรอลร้อยละ 10 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวนเนื่องจากสามารถลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีได้และคุณภาพทางประสาทสัมผัสยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนั้น Kunkriengwong *et al.* (2008) ได้รายงานผลการศึกษาการใช้กลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 20 ในไส้เผือกกวนของขนมโมจิเพื่อลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีส่วนผลของการเติมกลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 0, 3 และ 6 ต่อค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในส่วนตัวขนมปัง พบว่าการใช้กลีเซอรอลในระดับที่มากขึ้นจะส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของส่วนขนมปังลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 0.92 เป็น 0.83 ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลจะจับกับน้ำอิสระในขั้นตอนการทำโดทำให้หน้านั้นไม่สามารถนำไปใช้ได้ ส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีลดลง ส่วนผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี และกลิ่นรสในส่วนของขนมปังพบว่าการใช้กลีเซอรอลที่ระดับ 0, 3 และ 6 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ (P>0.05) ขณะที่คุณภาพ

ทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส และด้านการยอมรับรวมมีค่าคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยที่คะแนนจะลดลงเมื่อมีการเติมกลีเซอรอลในระดับที่มากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารชีวเมทแทบที่นอกจากจะช่วยลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีแล้วยังช่วยในเรื่องของการป้องกันไม่ให้อาหารแห้งโดยโมเลกุลของสารนี้จะจับน้ำเอาไว้ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะนุ่มและชุ่มชื้น ดังนั้นขนมปังที่ไม่ได้ใส่กลีเซอรอลเลยอาจจะจะมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างแห้งกว่าเมื่อมีการใช้กลีเซอรอล แต่หากกว่ามีการใช้กลีเซอรอลที่มากเกินไปในระดับที่เหมาะสมอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ชุ่มชื้นเกินไปได้ ดังนั้นในการพิจารณาเลือกปริมาณการใช้กลีเซอรอลที่เหมาะสมในส่วนของขนมปังที่ได้จากการทดลองนั้นจะพิจารณาคัดเลือกจากผลของคุณภาพทางเคมีในการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีประกอบกับคุณภาพการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ซึ่งจะเห็นได้ว่าสูตรที่ 2 ที่มีการใช้กลีเซอรอลในส่วนของขนมปังระดับร้อยละ 3 มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำที่สุดคือ 0.83 ซึ่งเพียงพอต่อการช่วยยับยั้งการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ และมีค่าคะแนนทางคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมของผู้บริโภคอยู่ในระดับชอบปานกลาง (คะแนน 7.65) และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาที่ได้จากการผลิตโดยใช้ปริมาณการใช้กลีเซอรอลร้อยละ 6 ร่วมกับฟรุกโตสร้อยละ 6 ในส่วนของไส้สังขยาและการใช้กลีเซอรอลในส่วนตัวขนมปังระดับร้อยละ 3 มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาสูตรปรับปรุงและผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาสูตรควบคุมมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นการใช้สารกลีเซอรอลในระดับที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตขนมปังสังขยาสามารถลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีได้โดยที่ผู้บริโภคยังสามารถยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้ในระดับชอบปานกลางส่วนผลการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาทั้ง 2 สถานะนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการเก็บรักษามีการเคลื่อนย้ายความชื้นจากส่วนไส้สังขยามายังส่วนตัวขนมปัง ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกิดจากระดับความชื้นที่ไม่เท่ากันทำให้มีการเคลื่อนย้ายความชื้นจากที่สูงกว่าไปยังที่ต่ำกว่าจนกระทั่งถึง

จุดสมดุล ส่วนอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลา 3 วัน และที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นานประมาณ 6 วัน โดยที่มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในระดับ 0.85 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัมหรือประมาณ 4.0 log cfu/g (มผข. 526/2547) และค่าคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาอยู่ในระดับดี คือมีค่าคะแนนอยู่ระหว่าง 6-7 ตามสเกลของวิธีการ 9 point hedonic scale

สรุปผลการวิจัย

การใช้กลีเซอรอลร่วมกับฟรุกโตสในการผลิตขนมปังสังขยาที่เหมาะสมในส่วนของไส้สังขยาคือระดับร้อยละ 6 มีผลในการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำที่สุดเท่ากับ 0.85 และมีค่าคุณภาพด้านความชอบรวมสูงสุดคือ 7.28 ส่วนการใช้กลีเซอรอลที่ระดับร้อยละ 3 ในส่วนตัวขนมปังมีความเหมาะสมในการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (0.83) และมีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมเท่ากับ 6.85, 7.26, 7.55 และ 7.65 ตามลำดับ ผลของการนำผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาที่ได้จากสถานะที่เหมาะสมในการผลิตจากส่วนไส้สังขยาและส่วนตัวขนมปังมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิห้องเย็น (4 องศาเซลเซียส) พบว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมปังสังขยาภายใต้อุณหภูมิห้องจะสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลา 3 วัน ส่วนผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิห้องเย็น 4 องศาเซลเซียส จะเก็บได้เป็นระยะเวลา 6 วัน โดยที่ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.85 และมีค่าคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมอยู่ในระดับน้อยถึงปานกลางคือมีค่าคะแนนเท่ากับ 7.45, 6.40, 6.50 และ 6.45 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่ให้

ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย
และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏ
นครสวรรค์ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

References

- AOAC. 2002. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia.
- Kunkriengwong, J., Choojit, S., Tuitemwong, P. and Suntornsuk, W. 2008. Water activity reduction of Moji product with humectants. Proceeding of the 46th Kasetsart university annual conference. January 29 - February 1, 2008. Kasetsart university: Bangkok. pp. 318-325. (In Thai)
- Kanto, P. 2002. Shelf life extension of Kha Nom Pia (Chinese cake) by using humectant and packaging. M.Sc. Thesis, Kasetsart university. (In Thai)
- Kong-ngen, R. and Pongjunta, J. 2014. The suitable packaging for longer the shelf-life of marshmallow with pineapple cream filling product. Research Report Rajamangala university of technology Lanna: Chiang Mai. (In Thai)
- Pattaragulwanit, S. 2005. Shelf-life extension of durian paste. Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi. (In Thai)

สมบัติทางเคมีและชีวเคมีของกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมัน

สารโรจน์ รอดคีน^{1*}, โฆษณ ศรีเกตุ² และ ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา³

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย 57100

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34000

³สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อตรวจสอบสมบัติทางเคมีและชีวเคมีของกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมัน ซึ่งผลการศึกษาพบว่า กากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 69.15) มีกรดอะมิโนที่จำเป็นสูงโดยเฉพาะไลซีน ฟินิลอะลานิน ลิวซีน และฮิสทีดีน กากงาสกัดน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนและกรดไขมันโอเมก้า (โอเมก้า-3 -6 และ -9) ในปริมาณสูง นอกจากนี้ ยังมีฟอสฟอรัส แคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียมเป็นแร่ธาตุหลัก จากรูปแบบโปรตีนแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในกากงาขี้ม่อนอยู่ในช่วง 14-61 กิโลดาลตัน กากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันมีปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 7.72 mg GAE/g น้ำหนักแห้ง (DW) และ 8.21 mg CE/g DW ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับร้อยละ 52.91 และมีค่า FRAP เท่ากับ 10.68 mmol Fe(II)/g DW ส่วนการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลส พบว่า กากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลสได้ อย่างไรก็ตาม พบว่า มีกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซินในปริมาณหนึ่ง จากผลการวิจัยเหล่านี้กากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันสามารถใช้เป็นแหล่งสารอาหารหรือเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพได้

คำสำคัญ: งาขี้ม่อน สารอาหาร สารต้านโภชนาการ สารยับยั้ง และ กากสกัดน้ำมัน

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: saroot@mfu.ac.th

Chemical and Biochemical Properties of Perilla Seed Pressed-Cake

Saroat Rawdkuen^{1*}, Chodsana Sriket² and Choothaweeep Palakawong³

¹*Food Science and Technology Program, School of Agro-Industry, Mae FahLuang University,
Chiang Rai, 57100, Thailand*

²*Program in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani Rajabhat University,
Ubon Ratchathani, 34000, Thailand*

³*Program in Food Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University,
Maha Sarakham, 44000, Thailand*

Abstract

The aim of this study was to determine the chemical and biochemical properties of perilla seed pressed-cake. It was found that perilla seed pressed-cake was a major source of carbohydrate (69.15%). It had high levels of essential amino acid, in particular lysine, phenylalanine, leucine, and histidine. The pressed-cake contained high amounts of polyunsaturated fatty acid and also ω -3, ω -6, and ω -9 fatty acids. Additionally, phosphorus, calcium, potassium, and magnesium were the main mineral. Electrophoregram showed that the molecular weights of proteins in perilla seed were in range of 14-61 kDa. Phytochemical analysis demonstrated that perilla seed pressed-cake had total phenolic content and total flavonoid content of 7.72 mg GAE/g DW and 8.21 mg CE/g DW, respectively. It showed high effective antioxidant activities by 52.91% for DPPH radical scavenging activity and 10.68 mmol Fe(II)/g DW for FRAP value. For α -amylase inhibition, it was found that pressed-cake could inhibit the activity of α -amylase. However, trypsin inhibitory activity was found in some content. According to these findings, perilla seed pressed-cake can be a good source of nutrient and have potential for being used as functional food ingredients.

Keywords: Perilla, Nutrient, Anti-nutrient, Inhibitor and Pressed-cake

* Corresponding author: E-mail: saroot@mfu.ac.th

บทนำ

งาช้างม่อน (*Perilla frutescens* (L) Britt.) จัดอยู่ในวงศ์ *Lamiaceae* ซึ่งอยู่ในกลุ่มเดียวกับกะเพรา โหระพา เป็นเมล็ดพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียง (Nitta *et al.*, 2003) ปัจจุบันมีการเพาะปลูกงาช้างม่อนอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะพื้นที่ในจังหวัดทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เช่น แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ เป็นต้นเมล็ดงาช้างม่อนนิยมบริโภคสด โดยจะนำงาช้างม่อนมาตำและคลุกกับข้าวเหนียวนึ่งสุก หรือที่เรียกว่า “ข้าวหนุกงา” เพื่อรับประทานเป็นอาหารว่างโดยนิยมรับประทานในช่วงฤดูหนาว

Sargi *et al.* (2013) รายงานว่าเมล็ดงาช้างม่อนอุดมไปด้วยสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ กลุ่มกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acids; PUFAs) เช่น กรดลิโนเลนิก หรือโอเมก้า-3 (ร้อยละ 54-64) และมีปริมาณน้ำมันสูงถึงร้อยละ 35-45 นอกจากนี้ Zekonis *et al.* (2008) ยังรายงานว่าเมล็ดงาช้างม่อนเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ น้ำมันหอมระเหย และสารประกอบฟีนอล ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนั้นเมล็ดงาช้างม่อนจึงมีฤทธิ์ต้านการเกิดการแพ้ ฤทธิ์ต้านการอักเสบฤทธิ์ต้านมะเร็งฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า งาช้างม่อนเป็นเมล็ดพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่มีสมบัติโดดเด่นและหลากหลาย โดยปัจจุบันได้มีการนำเมล็ดงาช้างม่อนมาสกัดน้ำมันในรูปแบบของน้ำมันบริสุทธิ์ (virgin oil) และเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ (functional food) จากกระบวนการสกัดน้ำมันจะทำให้มีวิเศษเหลือเกิดขึ้น หรือที่เรียกว่า “กากพืชน้ำมัน” โดยทั่วไปเศษเหลือเหล่านี้จะถูกนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ กากพืชน้ำมันหลังการสกัดน้ำมันมีอยู่ที่ปริมาณร้อยละ 55-65 ซึ่งยังคงมีสารประกอบทางโภชนาการ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในปริมาณสูง เช่น กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวโพลีแซตเทอริก โปรตีน และสารประกอบฟีนอล เป็นต้น (Peschel *et al.*, 2007; Shahidi, 2000) Zhu and Fu (2012) รายงานว่า กากงาช้างม่อนสกัดน้ำมันมีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 10.77

ปัจจุบันนักวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสนใจต่อการพัฒนาและการใช้ประโยชน์จากกากพืชน้ำมันหรือวัสดุทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการใช้ประโยชน์จากกากงาช้างม่อนสกัดน้ำมันจะสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับกากงาช้างม่อนได้ อย่างไรก็ตาม ควรจะมีการทดสอบสมบัติของวิเศษเหลือเหล่านี้ก่อนนำมาใช้ เพื่อให้มั่นใจว่ามันเป็นสิ่งที่ดีและปลอดภัยสำหรับการบริโภคของมนุษย์ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อตรวจสอบสมบัติทางเคมีและชีวเคมีของกากงาช้างม่อนสกัดน้ำมันโดยข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางให้กับผู้สนใจนำข้อมูลไปต่อยอดหรือพัฒนาให้เกิดประโยชน์ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมกากงาช้างม่อนสกัดน้ำมันผง

กากงาช้างม่อนสกัดน้ำมันได้จากโรงงานสกัดน้ำมันงาช้างม่อนจากจังหวัดแม่ฮ่องสอนและจังหวัดเชียงราย นำมายังห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการอาหารมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย นำตัวอย่างกากงาที่แห้งแล้วมาผ่านการบดด้วยเครื่องบดแห้ง จากนั้นผ่านตะแกรงร่อนให้มีความขนาดผงเท่ากัน ก่อนจะนำไปบรรจุลงถุงพลาสติกและปิดผนึกด้วยระบบสุญญากาศก่อนเก็บตัวอย่างไว้ในตู้แช่แข็ง (-20 องศาเซลเซียส) จนกระทั่งนำตัวอย่างออกมาวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์

2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และสารอาหารในกากงาช้างม่อนสกัดน้ำมัน

1) องค์ประกอบทางเคมี วิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างตามวิธีมาตรฐาน AOAC วิธีการที่ 927.05, 942.05, 920.38B และ 984.13 ตามลำดับ (AOAC, 2011) สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตใช้วิธีการหาปริมาณส่วนต่างจากองค์ประกอบอื่น ๆ ในตัวอย่างกากงาช้างม่อนสกัดน้ำมันแต่ละชนิด

2) องค์ประกอบของกรดอะมิโน วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโนในตัวอย่างกากงาช้างม่อนสกัดน้ำมันตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2000) (วิธีที่ 994.12 และ 988.15) โดยวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโนทั้ง 20 ชนิด ด้วยเครื่อง GC-MS หลังจากผ่านการย่อยสลายตัว

อย่างด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 โมลาร์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 22 ชั่วโมง

3) องค์ประกอบของกรดไขมัน วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในตัวอย่างกากงาซีมอนสกัดน้ำมัน โดยใช้วิธีการมาตรฐาน AOAC (2012) (วิธีที่ 996.06) สกัดไขมันจากตัวอย่างกากงาสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายอีเทอร์โดยการสกัดแบบวิธีซอกท์เลตจากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์ห่องค์ประกอบของกรดไขมันโดยเทคนิค gas chromatography หาชนิดและปริมาณของกรดไขมัน โดยเทียบกับ retention time ของตัวอย่างและสารมาตรฐาน

4) ปริมาณเส้นใยอาหาร วิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารในตัวอย่างกากงาซีมอนสกัดน้ำมัน โดยใช้วิธีการมาตรฐาน AOAC (2010) (วิธีที่ 985.29 gravimetric)

5) ปริมาณสตาร์ช วิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชในตัวอย่างกากงาซีมอนสกัดน้ำมันโดยใช้วิธีการมาตรฐาน AOAC (2010) (วิธีที่ 920.44)

6) ปริมาณน้ำตาล วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างกากงาซีมอนสกัดน้ำมัน โดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแลคโตส น้ำตาลซูโครส และน้ำตาลมอลโทสโดยใช้วิธีของ Department of Medical Science (2003)

7) ปริมาณแร่ธาตุ วิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในตัวอย่างกากงาซีมอนสกัดน้ำมัน โดยวิเคราะห์หาปริมาณของแคลเซียม ทองแดง เหล็ก แมกนีเซียม แมงกานีส ฟอสฟอรัสโพแทสเซียม โซเดียม สังกะสี ตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2005) [วิธีที่ Ch.50 (984.27) และ Ch.9 (999.10)]

8) รูปแบบของโปรตีนด้วยเจลอิเล็กโตรโฟรีซิส วิเคราะห์รูปแบบของโปรตีนที่สกัดจากกากงาซีมอนสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโตรโฟรีซิส (sodium dodecylsulfate-polyacrylamide gel electrophoresis; SDS-PAGE) ตามวิธีการของ Laemmli (1970) โดยใช้ความเข้มข้นของ stacking gel ร้อยละ 4 และ running gel ร้อยละ 12

9) วิเคราะห์ไกลโคโปรตีน วิเคราะห์รูปแบบของไกลโคโปรตีนในตัวอย่างกากงาซีมอนสกัดน้ำมัน โดยใช้ตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมเพื่อศึกษาารูปแบบของโปรตีนด้วยเจลอิเล็กโตรโฟรีซิสก่อนหน้า และแยกสารละลายโปรตีนในสภาวะเดียวกัน จากนั้นขั้นตอนการย้อมติดสีให้เลือกใช้

GelCode 1 Glycoprotein Staining Kit ตามวิธีการของ Wati *et al.* (2009) โปรตีนที่มีสมบัติเป็นไกลโคโปรตีนในตัวอย่างจะแสดงสีม่วงเข้มบนพื้นหลังสีชมพูของแผ่นเจล

2.2 การวิเคราะห์สารพฤกษเคมีและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของกากงาซีมอนสกัดน้ำมัน

1) การเตรียมตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างกากงาซีมอนสกัดน้ำมันเพื่อใช้เป็นสารสกัดตั้งต้นในการวิเคราะห์พฤกษเคมีและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระดัดแปลงจากวิธีการของ Marathe *et al.* (2011) โดยนำกากงาซีมอนสกัดน้ำมันผง 1 กรัม ละลายใน 80% (v/v) methanol 10 มิลลิลิตร เขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง (22 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นผ่านการหมุนเหวี่ยงที่ 5000 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเก็บสารละลายส่วนใสที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ต่อไป

2) ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในสารสกัดที่เตรียมได้ โดยการทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent ดัดแปลงจากวิธีการของ Salem *et al.* (2013) และรายงานผลในรูปของ mg GAE/g DW

3) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด วิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดจากกากงาสกัดน้ำมันตามวิธีการของ Kim *et al.* (2003) และรายงานผลในรูปของ mg CE/g DW

4) DPPH radical scavenging activity ตรวจวัดความสามารถของสารสกัดจากกากงาสกัดน้ำมันในกิจกรรมการจับอนุมูล DPPH ตามวิธีการของ Brand-Williams *et al.* (1995) และรายงานผลในรูปของร้อยละ DPPH inhibition

5) Ferric reducing antioxidant power ตรวจวัดความสามารถในการรีดิว Ferric ของสารสกัดจากกากงาสกัดน้ำมันตามวิธีการของ Benzie and Strain (1999) และรายงานผลในรูปของ mmol Fe (II)/g DW

2.3 การวิเคราะห์การเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน

ตรวจวัดการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันของกากงาสกัดน้ำมัน ดัดแปลงจากวิธีการของ Song *et al.* (2009) และรายงานผลในรูปของ nmol MDA equivalents/g fresh weight (FW)

2.4 การวิเคราะห์สารต้านโภชนาการของกากงาซีมอนสกัดน้ำมัน

1) กิจกรรมการต้านเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลส ตรวจวัดกิจกรรมการต้านเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลสของสารสกัดจากกากงาสกัดน้ำมันตามวิธีการของ Odhav *et al.* (2010) โดยใช้น้ำแป้งเป็นสับสเตรท

2) กิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน ตรวจสอบกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์ทริปซินของสารสกัดจากกากงาสกัดน้ำมันตามวิธีการของ Wati *et al.* (2010) โดยใช้ BAPNA เป็นสับสเตรท

2.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละปัจจัยที่ศึกษาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย ANOVAเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปัจจัยที่ศึกษาด้วย Duncans Multiple Range Test วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อประมวลผลทางสถิติ SPSS (SPSS 16.0 for Windows, SPSS Inc, Chicago, IL, USA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของกากงาซีมอนสกัดน้ำมันและลักษณะของกากงาซีมอนสกัดน้ำมัน แสดงดัง Fig. 1 (a-c) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากากงาซีมอนสกัดน้ำมันเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Reshma *et al.* (2012) และ Kongkaew *et al.* (2015) ที่รายงานว่า กากงาและเมล็ดงาซีมอนมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงเท่ากับร้อยละ 56.47 และ 56.88 ตามลำดับ การที่กากงาซีมอนสกัดน้ำมันมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง อาจเป็นเพราะเปลือกของเมล็ดงาซีมอนมีปริมาณเซลลูโลสอยู่เป็นจำนวนมาก (Rawdkuen *et al.*, 2016) กากงาซีมอนสกัดน้ำมันมีปริมาณความชื้นต่ำ (ร้อยละ 7.70) ซึ่งจะทำให้อายุการเก็บรักษาของกากงาซีมอนสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การที่มีปริมาณความชื้นสูงสามารถเกิดความเสื่อมเสียคุณค่าทางโภชนาการของกากงาได้ เนื่องจากเกิดการสลายตัวของไขมันโดยจุลินทรีย์ (Bozan and Temelli, 2008) Longvah and Deosthale (1991) รายงานว่า เมล็ดงาซีมอนเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญ โดยเฉพาะโปรตีน

(ร้อยละ 17.00) และไขมัน (ร้อยละ 51.70) Sargi *et al.* (2013) รายงานว่า เมล็ดงาซีมอนมีปริมาณไขมันและโปรตีนสูง โดยคิดเป็นร้อยละ 42.27 และ 25.38 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ (เมล็ดเจียและเมล็ดแฟลกซ์) Peiretti (2011) รายงานว่า เมล็ดงาซีมอนมีปริมาณโปรตีนและไขมันเท่ากับร้อยละ 23.85 และ 43.04 ตามลำดับ นอกจากนี้ Bullerwell *et al.* (2016) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากคาเมลิน่าหลังการสกัดน้ำมันพบว่า กากคาเมลิน่ามีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 35.70 ปริมาณไขมันร้อยละ 9.90 และปริมาณเถ้าร้อยละ 5.89 ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพืชน้ำมันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ฤดูกาล เวลาในการเก็บเกี่ยว ความสุกแก่ของเมล็ด และสิ่งแวดล้อมในการปลูก (Longvah and Deosthale, 1991)

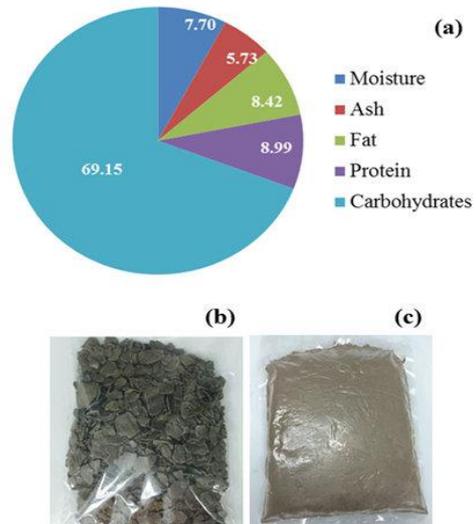


Fig.1 Proximate composition (%) of perilla seed pressed-cake (a), perilla seed (oil pressed-cake) (b), and perilla seed pressed-cake powder (c).

2. องค์ประกอบกรดอะมิโนของกากงาซีมอนสกัดน้ำมัน

Table 1 แสดงองค์ประกอบกรดอะมิโนของกากงาซีมอนสกัดน้ำมันซึ่งพบว่า กากงาซีมอนสกัดน้ำมันมีปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นสูง โดยเฉพาะไลซีน ฟีนิวอะลานีน ลิวซีน และฮิสทีดีน สำหรับกลุ่มของกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นพบว่า กากงาซีมอนสกัดน้ำมันมีปริมาณของกรดกลูตามิกและไทโรซีนสูง ในขณะที่อาร์จินีน และไฮดรอกซีโพรลีนมีปริมาณต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ

Table1 Amino acid composition of perilla seed pressed-cake

Amino acid (mg/100 g)*	Perilla seed pressed-cake
Essential amino acid	
Histidine	2059.50 ± 34.65
Isoleucine	875.00 ± 14.14
Leucine	2736.00 ± 41.01
Lysine	4905.50 ± 34.65
Methionine	133.50 ± 3.54
Phenylalanine	3236.50 ± 79.90
Threonine	175.50 ± 6.36
Tryptophan	235.50 ± 7.78
Valine	813.50 ± 26.16
Nonessential amino acid	
Alanine	641.50 ± 17.68
Arginine	< 5.00 ± 0.00
Aspartic acid	840.00 ± 35.56
Cystine	692.50 ± 2.12
Glutamic acid	2466.50 ± 78.49
Glycine	471.50 ± 6.36
Hydroxylysine	< 5.00 ± 0.00
Hydroxyproline	26.50 ± 1.95
Proline	471.50 ± 9.19
Serine	267.00 ± 5.66
Tyrosine	1885.50 ± 4.95

*In house method based on AOAC official method 994.12, 988.15 (2000) Detected by GC-MS

Al Surmi *et al.* (2016) รายงานว่า เมล็ดดอกคำฝอยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีปริมาณของลิซีน ฟีนิวอะลานีน วาลีน กรดกลูตามิก อาร์จินีน และกรดแอสพาร์ติกสูงที่สุด เมื่อเทียบกับกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ และยังรายงานว่ามีเมล็ดดอกคำฝอยประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นเท่ากับ 11.48-14.93 g/100g Longvah and Deosthale (1991) รายงานว่า เมล็ดงาขี้ม่อนมีกรดอะมิโนที่จำเป็นเป็นองค์ประกอบร้อยละ 39 ของปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด อย่างไรก็ตามในกลุ่มของกรดอะมิโนที่จำเป็น เมล็ดงาขี้ม่อน

มีปริมาณของเมทไทโอนีน (133.50 mg/100 g) และทรีโอนีนต่ำ (175.50 mg/100 g) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Liu *et al.* (2015) ที่รายงานว่ากากเมล็ดดอกทานตะวันมีปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นบางตัวน้อยมาก เช่น ไลซีน เมทไทโอนีน ทรีโอนีน และทริโพรแฟน Hojilla-Evangelista *et al.* (2013) รายงานว่า กาก pennycress มีกรดกลูตามิก กรดแอสพาร์ติก อาร์จินีน ลิซีน และไกลซีน เป็นองค์ประกอบมากที่สุด แต่ยังคงขาดแคลนกรดอะมิโนที่จำเป็นบางตัว เช่น เมทไทโอนีน ไลซีน และทริโพรแฟน

3. องค์ประกอบกรดไขมันของกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมัน

องค์ประกอบกรดไขมันของกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมัน Table2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันมีปริมาณของไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าไขมันอิ่มตัวถึงร้อยละ 84.47 ไขมันอิ่มตัวที่พบในกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันมีปริมาณของไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าไขมันอิ่มตัวถึงร้อยละ 84.47 ไขมันอิ่มตัวที่พบในกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมัน ได้แก่ กรดปาล์มิติกกรดสเตียริก และกรดอะราคิติกนอกจากนี้กากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันมีปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนสูงกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว อย่างไรก็ตามไม่พบไขมันชนิดทรานส์ ในกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Longvah and Deosthale (1991) ที่รายงานว่าเมล็ดงาขี้ม่อนประกอบด้วยกรดลิโนเลนิกร้อยละ 56.80 กรดลิโนเลอิกร้อยละ 17.60 กรดโอเลอิกร้อยละ 12.90 กรดปาล์มิติกร้อยละ 8.90 และกรดสเตียริกร้อยละ 3.80 นอกจากนี้ยังรายงานว่ามีปริมาณของกรดลิโนเลนิกสูงกว่ามัสตาร์ดและถั่วเหลืองถึง 6-8 เท่า Ciftci *et al.* (2012) รายงานว่า เมล็ดงาขี้ม่อนมีปริมาณอัลฟา-กรดลิโนเลนิกเท่ากับร้อยละ 60.93 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนเท่ากับร้อยละ 75.85 Sargi *et al.* (2013) รายงานว่า เมล็ดพืชน้ำมันเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็น เช่น อัลฟา-กรดลิโนเลนิก โดยเมล็ดเจีย เมล็ดงาขี้ม่อนสีขาว และเมล็ดงาขี้ม่อนสีน้ำตาลมีปริมาณของอัลฟา-กรดลิโนเลนิกเท่ากับ 554.85 539.07 และ 531.44 mg/g ตามลำดับ และองค์ประกอบกรดไขมันของเมล็ดงาขี้ม่อนขึ้นอยู่กับระดับความแก่ของพืช นอกจากนี้ Sargi *et al.* (2013) ได้แนะนำว่า ควรบริโภคเมล็ดงาขี้ม่อนประมาณ 8 กรัมต่อวัน จึงจะ

ได้รับปริมาณสารกรดไขมันที่ Institute of Medicine of the National Academies (2005) แนะนำให้บริโภคต่อวัน (ผู้ชาย: 1.6 กรัมต่อวันและผู้หญิง: 1.1 กรัมต่อวัน)

Table2 Fatty acid composition of perilla seed pressed-cake

Composition (g/100 g)*	Perilla seed pressed-cake
Saturated fat	1.23± 0.01
Palmitic acid	0.87 ± 0.01
Stearic acid	0.33 ± 0.00
Arachidic acid	0.03 ± 0.00
Unsaturated fat	7.92 ± 0.01
Monounsaturated fatty acid	1.00 ± 0.01
Polyunsaturated fatty acid	6.92 ± 0.01
Palmitoleic acid	0.02 ± 0.00
Cis-9-Oleic acid	0.98 ± 0.01
Cis-9,12-Linoleic acid	2.08 ± 0.00
alpha-Linoleic acid	4.84 ± 0.01
Tran fat	ND
Omega-3 (mg/100 g)	4833.84 ± 6.98
Omega-6 (mg/100 g)	2081.81 ± 3.09
Omega-9 (mg/100 g)	982.18 ± 11.78

*In house method TE-CH-208 based on AOAC (2012) 996.06. ND = not detected.

กากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันยังเป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็น ซึ่งร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้ต้องได้รับจากการบริโภคอาหารเท่านั้น ได้แก่ กรดไขมันโอเมก้า-3 และกรดไขมันโอเมก้า-6 อีกทั้งยังมีกรดไขมันโอเมก้า-9 เป็นองค์ประกอบอีกด้วย กากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันมีปริมาณโอเมก้า-3 (4833.84 mg/100 g) สูงที่สุด รองลงมาคือ กรดไขมันโอเมก้า-6 (2081.81 mg/100 g) และกรดไขมันโอเมก้า-9 (982.18 mg/100 g) ตามลำดับ Kongkeaw *et al.* (2015) รายงานว่า เมล็ดงาขี้ม่อนมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 เท่ากับ 59.08 g/100 g และกรดไขมันโอเมก้า-6 เท่ากับ 19.00 g/100 g Bhunia *et al.* (2015) ได้ศึกษา

องค์ประกอบกรดไขมันของเมล็ดงา 54 สายพันธุ์ซึ่งพบว่า เมล็ดงามีปริมาณโอเมก้า-9 ร้อยละ 38-50 และโอเมก้า-6 ร้อยละ 18-43 Sargi *et al.* (2013) รายงานว่าเมล็ดงาขี้ม่อนมีอัตราส่วนระหว่างโอเมก้า-6 ต่อโอเมก้า-3 เท่ากับ 1:5 โดยปกติแล้วร่างกายต้องการความสมดุลระหว่างโอเมก้า6 ต่อโอเมก้า-3 ในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งอัตราส่วนระหว่างโอเมก้า-6 และโอเมก้า-3 มีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจ (Qwele *et al.*, 2013)

4. ปริมาณเส้นใยอาหาร สตาร์ช และน้ำตาลในกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมัน

ปริมาณเส้นใยอาหาร สตาร์ช และน้ำตาลในกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมัน Table3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันมีปริมาณเส้นใยอาหารและสตาร์ชเท่ากับ 46.49 และ 12.59 g/100 g ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารและสตาร์ชสอดคล้องกับผลของปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Fig.1) Sunil *et al.* (2015) พบว่า กากงาและกากมะพร้าวมีเส้นใยอาหารเท่ากับร้อยละ 52.9 และ 58.3 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณมากกว่ารำข้าวถึง 2 เท่า จากผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า กากงาขี้ม่อนเป็นแหล่งสำคัญของเส้นใยอาหาร ซึ่งการบริโภคเส้นใยอาหารในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้เกิดความสมดุลของระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ กากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันยังมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 3.06 g/100 g โดยมีน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบมากที่สุด (2.77 g/100 g) มีน้ำตาลฟรุกโตสและแลกโตสในปริมาณที่จำกัด (< 0.20 g/100 g) และไม่พบน้ำตาลกลูโคสและมอลโทสในกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมัน Rawdkuen *et al.* (2016) รายงานว่า กากถั่วดาวอินคามีน้ำตาลซูโครส (7.32 g/100 g) เป็นองค์ประกอบเพียงชนิดเดียว ซึ่งมีปริมาณสูงกว่ากากงาขี้ม่อนในงานวิจัยนี้ Xu *et al.* (2016) ศึกษาชนิดและปริมาณของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในกากเมล็ดงาพบว่า กากเมล็ดงาประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนส แรมโนส กลูโคส กาแลกโทสไซโลสอะราบิโนส กรดกลูคูโรนิก และกรดกาแลกตูโรนิก โดยน้ำตาลกลูโคสมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 59

Table 3 Chemical properties of perilla seed pressed-cake

Composition (g/100 g)	Perilla seed pressed-cake
Dietary fiber*	46.49
Starch**	12.59 ± 0.07
Total sugar***	3.06 ± 0.22
Fructose	< 0.20 ± 0.00
Glucose	ND
Sucrose	2.77 ± 0.22
Maltose	ND
Lactose	< 0.20 ± 0.00

*AOAC (2010) 985.29.

**In house method based on AOAC (2010) 920.44.

***In house method based on Department of Medical Science (2003). ND = not detected.

5. ปริมาณแร่ธาตุในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมัน

จากการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันพบว่า กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่สำคัญ ซึ่งมีปริมาณของฟอสฟอรัสสูงที่สุด รองลงมาคือ แคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ตามลำดับ (Table 4) นอกจากนี้ยังพบแร่ธาตุชนิดอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบเช่น ทองแดง เหล็ก แมงกานีส โซเดียม และสังกะสี ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Kongkeaw *et al.* (2015) ที่รายงานว่า ปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่เด่นชัดในเมล็ดงาขี้ม้อน คือ แคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 5.13 และ 6.54 mg/g DW Longvah and Deosthale (1991) ได้ศึกษาปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดงาขี้ม้อนพบว่า เมล็ดงาขี้ม้อนมีแคลเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง เป็นองค์ประกอบ และมีปริมาณของฟอสฟอรัสสูงสุด เมื่อเทียบกับเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ ในขณะที่แมกนีเซียมพบในเมล็ดงาขี้ม้อนเท่านั้น Rawdkuen *et al.* (2016) รายงานว่า กากถั่ววอินคาประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิด ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส โดยมีปริมาณเท่ากับ 10815.00 2253.00 1694.00 และ 1157.50 mg/kg ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า กากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันเป็นแหล่งของ

แคลเซียมและโพแทสเซียม ซึ่งแคลเซียมช่วยลดความเสี่ยงของโรคกระดูกพรุน ในขณะที่โพแทสเซียมช่วยลดความดันโลหิตกับโรคหลอดเลือดหัวใจ โดยแร่ธาตุดังกล่าวมีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยเฉพาะหญิงตั้งครรภ์ ผู้หญิงที่ให้นมบุตร รวมไปถึงเด็กและผู้สูงอายุด้วย

Table 4 Mineral content of perilla seed pressed-cake

Composition (mg/100 g)*	Perilla seed pressed-cake
Calcium	655.00 ± 1.98
Copper	1.86 ± 0.04
Iron	1.29 ± 0.04
Magnesium	414.40 ± 1.27
Manganese	6.37 ± 0.27
Phosphorus	819.85 ± 3.75
Potassium	617.95 ± 3.32
Sodium	26.35 ± 0.35
Zinc	5.73 ± 0.38

*In house method TE-CH-170 based on AOAC 18th edition 2005, Ch.50 (984.27) and Ch.9 (999.10) by ICP-OES technique.

6. รูปแบบของโปรตีนด้วยเจลอิเล็กโตรโฟรีซิสและไกลโคโปรตีน

จากการตรวจสอบรูปแบบของโปรตีนด้วยเจลอิเล็กโตรโฟรีซิสและไกลโคโปรตีนของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันให้ผลดัง Fig. 2 โดยตัวอย่างถูกเตรียมทั้งในสภาวะที่เติมและไม่เติม β-mercaptoethanol เพื่อดูพันธะหลัก (พันธะไดซัลไฟด์) ในตัวอย่างโปรตีน จากการแยกโปรตีนของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันโดยใช้รูปแบบของโปรตีนด้วยเจลอิเล็กโตรโฟรีซิสพบว่า ลักษณะแถบโปรตีนของกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันที่ไม่เติม β-mercaptoethanol (lane 1) แตกต่างจากตัวอย่างโปรตีนที่เติม β-mercaptoethanol (lane 2) อย่างเห็นได้ชัด โดยในสภาวะที่ไม่เติม β-mercaptoethanol พบว่า โปรตีนจากกากงาขี้ม้อนสกัดน้ำมันมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 28 ถึง 61 กิโลดาลตัน ในขณะที่ตัวอย่างที่อยู่ในสภาวะที่เติม β-mercaptoethanol ลักษณะแถบโปรตีนที่อยู่ในช่วง 45 ถึง 61 กิโลดาลตันหายไป แต่มีน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนที่อยู่ในช่วง 14 ถึง 29 กิโลดาลตัน ปรากฏขึ้น ซึ่งอาจเป็นหน่วยย่อยของโปรตีน

หลักที่มีอยู่ในกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมัน จากผลการทดลองนี้สามารถกล่าวได้ว่า โปรตีนจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันมีพันธะไดซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างหลัก โปรตีนหลักที่เป็นองค์ประกอบในกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันและมีแถบชัดเจนประกอบด้วยโปรตีนซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ที่ 61, 48, 45, 30, 28, 19 และ 14 กิโลดาลตัน

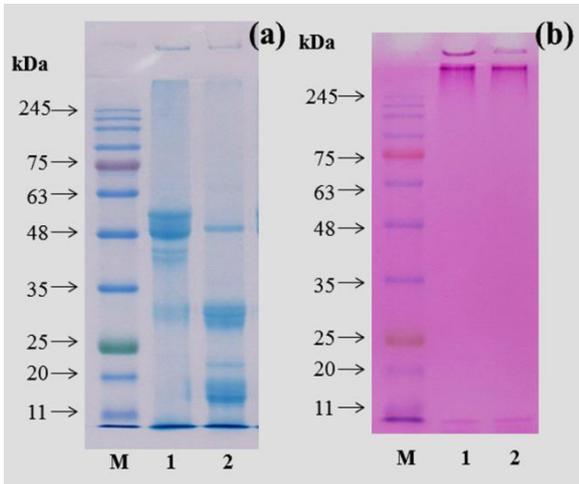


Fig. 2 Electrophoresis patterns of protein (a) and glycoprotein (b) of perilla seed pressed-cake Protein content at 30 μ g was load in each lane. M: molecular weight standards, lane 1: the sample prepared in non-reducing condition, lane 2: the sample prepared in reducing condition

Tirgar *et al.* (2017) รายงานว่า โปรตีนจากเมล็ดแฟลกซ์มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงที่ 10 ถึง 50 กิโลดาลตัน ในขณะที่โปรตีนจากถั่วมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงที่ 13 ถึง 100 กิโลดาลตัน นอกจากนี้ตัวอย่างโปรตีนที่เตรียมในสถานะที่ไม่เติม β -mercaptoethanol ยังปรากฏแถบโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งอยู่ขอบบนของเจลส่วนล่าง (separating gel) และด้านบนของเจลส่วนบน (stacking gel) ซึ่งอาจเป็นการเชื่อมประสานระหว่างโปรตีน Sathe *et al.* (2012) รายงานว่า เมล็ดโปรตีนที่สามารถละลายได้จะมีพอลิเปปไทด์อยู่ในช่วงน้ำหนักโมเลกุลที่ 10 ถึง 70 กิโลดาลตัน Poveda *et al.* (2016) รายงานว่า 2S albumin เป็นลักษณะของโปรตีนที่มีอยู่ในพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ผักโขม คิวโนว ถั่วเหลือง ถั่วดาวอินคา รวมไปถึงงา ซึ่งถือว่าโปรตีน

เหล่านี้เป็นสารก่อภูมิแพ้ โดย 2S albumin จะมีน้ำหนักโมเลกุลที่ 13 กิโลดาลตัน นอกจากนี้พวกเขายังรายงานว่า 11S globulin ที่ไม่ละลายน้ำและ 2S albumin ที่ละลายน้ำเป็นโปรตีนหลักในเมล็ดงา

การย้อมติดสีของโปรตีนแบบไกลโคโปรตีนจะใช้ในการตรวจ glycosylated proteoglycans (protein glycosaminoglycans) หรือ ไกลโคโปรตีน (protein oligosaccharides) ในตัวอย่าง (Moller and Poulsen, 2002) โดยโครงสร้างของไกลโคโปรตีนจะประกอบด้วยโปรตีนที่จับกับโอลิโกหรือโพลีแซกคาไรด์ด้วยพันธะโควาเลนต์ (Mathews and Holde, 1990) จากการตรวจสอบรูปแบบไกลโคโปรตีนของกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันพบว่า ไม่มีแถบโปรตีนปรากฏบนเจลส่วนล่าง อย่างไรก็ตาม มีแถบโปรตีนบางส่วนที่ปรากฏบนขอบของเจลส่วนล่างและเจลส่วนบนที่ถูกย้อมติดสี (สีม่วงเข้มบนพื้นหลังสีชมพู) (Fig. 2) ดังนั้นกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันอาจมีโอลิโกแซกคาไรด์เป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อย Wati *et al.* (2009) รายงานว่า แถบโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ 215, 132 และ 39 กิโลดาลตัน เป็นไกลโคโปรตีนที่อยู่ในถั่วขาว ในขณะที่ Rawdkuen *et al.* (2016) รายงานว่า กากถั่วดาวอินคา มีไกลโคโปรตีนเป็นองค์ประกอบโดยมีน้ำหนักโมเลกุลที่ 35 กิโลดาลตัน

7. ปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมัน Table 5 สารประกอบฟีนอลเป็นสารที่พบโดยทั่วไปในพืช และมีรายงานถึงการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งรวมถึงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Khairunnuur *et al.*, 2009) สารประกอบฟีนอลจากพืชเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนหรือมีความสามารถในการให้อิโดรเจนเพื่อขจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กับจำนวนและตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลของฟีนอล (hydroxyl groups; -OH) (Mohdaly *et al.*, 2011) จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดพบว่า สารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 7.72 mg GAE/g DW ซึ่งมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ เช่น งาดำ (1.38 mg GAE/g

sample) งาขาว (2.88 mg GAE/g sample) (Vishwanath *et al.*, 2012) กากงา (sesame cake) (1.94 mg GAE/g sample) (Mohdaly *et al.*, 2011) และถั่วดาวอินคา (0.51 mg GAE/g sample) (Rawdkuen *et al.*, 2016) ทั้งนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่พบในเมล็ดพืชจะขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ สภาพอากาศ ฤดูกาลในการเก็บเกี่ยว และพื้นที่ในการเพาะปลูก เป็นต้น (Peng *et al.*, 2005) Lee *et al.* (2013) ได้ศึกษาชนิดและปริมาณของสารประกอบฟีนอลในเมล็ดงาซึ่งมีรายงานว่า สารประกอบฟีนอลหลักในเมล็ดงาซึ่งมีอยู่ ได้แก่ rosmarinic acid 3-O-glucoside และ rosmarinic acid โดยมีปริมาณร้อยละ 49 และ 48 ของปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ตามลำดับ

Table 5 Phytochemical, antioxidant activity, and anti-nutrient of perilla seed pressed-cake

Parameter	Perilla seed pressed-cake
Total phenolic content (mg GAE/g DW)	7.72 ± 0.12
Total flavonoid content (mg CE/g DW)	8.21 ± 0.25
DPPH inhibition (%)	52.91 ± 1.26
FRAP (mmol Fe(II)/g DW)	10.68 ± 0.20
Lipid peroxidation (nmol MDA/g FW)	17.36 ± 0.48
Trypsin inhibitor (specific inhibitory activity; units/g protein)	0.74 ± 0.03
α -amylase inhibition activity (%)*	37.26 ± 1.54

Data are mean ± SD of triplicates.

*Acarbose (1 mg/ml) 69.28 ± 1.44% for α -amylase inhibition activity.

สารกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นสารพฤกษเคมีที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยสารสกัดจากกากงาซึ่งมีน้ำมัน มีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด เท่ากับ 8.21 mg CE/g DW (Table 5) ซึ่งมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับเมล็ดพืชน้ำมัน

ชนิดอื่น ๆ เช่น งาดำ (0.05 mg CE/g sample) งาขาว (0.12 mg CE/g sample) (Vishwanath *et al.*, 2012) เมล็ดเมอร์เทิลน้ำมัน (0.75 mg CE/g sample) (Wannes and Marzouk, 2016) และเมล็ดแฟลกซ์ (3.50 mg CE/g sample) (Anwar and Przybylski, 2012) ความสุกแก่ (ripeness) ของเมล็ดมีผลต่อปริมาณฟลาโวนอยด์ เมื่อเมล็ดมีความแก่มากขึ้นปริมาณฟลาโวนอยด์ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Peng *et al.*, 2005) Ishikura (1981) รายงานว่าสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบในเมล็ดงาซึ่งมีอยู่ คือ ฟลาโวน (flavones) ซึ่งเป็นสารสีเหลืองและสารที่พบคือ apigenin และ luteolin โดยพบในอัตราส่วน 1:1 Peng *et al.* (2005) และ Ha *et al.* (2012) รายงานว่าเมล็ดงาซึ่งมีน้ำมันมีกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งประกอบด้วย (+)-catechinapigenin และ luteolin นอกจากนี้ Zekonis *et al.* (2008) และ Yu *et al.* (2017) รายงานว่าเมล็ดงาซึ่งมีน้ำมันเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมีสำคัญ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ น้ำมันหอมระเหยและสารประกอบฟีนอล ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนั้นเมล็ดงาซึ่งมีน้ำมันจึงมีฤทธิ์ต้านการเกิดการแพ้ (anti-allergic) ฤทธิ์ต้านการอักเสบ (anti-inflammation) ฤทธิ์ต้านมะเร็ง (anticancer) ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (antioxidant) และฤทธิ์ต้านการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย (antibacterial) จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า สารสกัดจากกากงาซึ่งมีน้ำมันสามารถเป็นแหล่งทางเลือกหนึ่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้

8. กิจกรรมการต้านออกซิเดชัน

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง และยา เนื่องจากมีความกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัยของผู้บริโภค การศึกษากิจกรรมการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากกากงาซึ่งมีน้ำมันด้วยวิธี DPPH radical scavenging (Table 5) วิธี DPPH เป็นวิธีการวัดความสามารถของสารในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ที่เกิดขึ้น เมื่ออนุมูลอิสระ DPPH ถูกรีดิวซ์โดยได้รับโปรตอนจากสารต้านอนุมูลอิสระก็จะเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง ดังนั้นการลดลงของอนุมูลอิสระ DPPH จึงเป็นดัชนีที่สามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ของสารสกัดที่ใช้ในการทดสอบได้โดยสารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันแสดงค่าการต้านอนุมูลอิสระถึงร้อยละ 52.91 โดยมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากากถั่วดาวอินคาและสารมาตรฐาน butylatedhydroxytoluene (BHT) ซึ่งรายงานโดย Rawdkuen *et al.* (2016) ที่พบเพียงร้อยละ 32.43 และ 43.24 ตามลำดับ โดยผลดังกล่าวอาจเนื่องมาจากกากงาขี้ม่อนมีปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูง Kongkaew *et al.* (2015) ได้รายงานว่ามีค่าการต้านอนุมูลอิสระของกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันที่ 20.86 ในขณะที่เมล็ดงาขี้ม่อนสีน้ำตาลมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงถึงร้อยละ 77.83 ทั้งนี้เป็นเพราะเมล็ดงาขี้ม่อนสีน้ำตาลมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สูงกว่าเมล็ดงาขี้ม่อนสีขาว (ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด เบต้าแคโรทีนและอัลฟา-โทโคฟีรอล) Teh and Birch (2014) รายงานว่ากากพืชสกัดน้ำมันแต่ละชนิดแสดงค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน โดยกากเมล็ดแฟลกซ์กากเมล็ดคาโนลาและกากเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับร้อยละ 22.54, 38.56 และ 30.94 ตามลำดับ พวกเขาสรุปว่า ชนิดหรือสายพันธุ์ของพืชที่แตกต่างกันส่งผลให้พืชมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ต่างกันด้วย เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีโครงสร้างและสัณฐานวิทยาที่ต่างกัน

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP) เพื่อหาความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการให้อิเล็กตรอนหรือการรีดิวซ์เหล็กในรูปของเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) จากผลการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ให้ผลดัง Table 5 พบว่า สารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันมีความสามารถในการรีดิวซ์เท่ากับ 10.68 mmol Fe(II)/g DW Kongkaew *et al.* (2015) รายงานว่าเมล็ดงาขี้ม่อนที่มีสีต่างกันจะมีค่า FRAP ต่างกันด้วย โดยเมล็ดงาขี้ม่อนสีขาว (2.26 μ molTrolox/g sample) มีค่า FRAP ต่ำกว่าเมล็ดงาขี้ม่อนสีน้ำตาล (2.46 μ molTrolox/g sample) Teh and Birch (2014) รายงานว่ากากเมล็ดคาโนลา (23.64 μ mol Fe(II)/g sample) มีค่า FRAP สูงที่สุด รองลงมาคือกากเมล็ดถั่วเหลือง (16.74 μ mol Fe(II)/g sample) และกากเมล็ดแฟลกซ์ (8.67 μ mol Fe(II)/g sample) ตามลำดับ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

ของเมล็ดพืชน้ำมันขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ และฤดูกาลในการเก็บเกี่ยว เป็นต้น (Peng *et al.*, 2005) นอกจากนี้ Sargi *et al.* (2013) ได้รายงานว่ามีค่าการต้านออกซิเดชันสูงเมื่อเทียบกับเมล็ดแฟลกซ์ โดยมีค่า FRAP อยู่ที่ 5.24 และ 0.33 mmolTrolox/g sample ตามลำดับ เมล็ดพืชน้ำมันเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ ซึ่งสารเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Shukla *et al.*, 2009) ดังนั้นกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันจึงเป็นแหล่งทางเลือกของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ อีกแหล่งหนึ่งเนื่องจากเป็นเศษเหลือจากการผลิตน้ำมัน ที่สามารถทำหน้าที่เป็นสารให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ หรือจับกับโลหะหนักได้

9. การเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน

การเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันสามารถวิเคราะห์ได้โดยการหาปริมาณของ TBARS รายงานในรูปของ nmol MDA/g FW โดยมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde; MDA) เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชันและใช้ในการประเมินการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) โดยภาวะเครียดออกซิเดชันเกิดจากอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจน (reactive oxygen species) เข้าไปทำลายไขมัน โปรตีน และกรดนิวคลีอิกในเซลล์พืช (Deng *et al.*, 2016) จากการวิเคราะห์ปริมาณ TBARS ของสารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันพบว่า สารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันมีปริมาณ TBARS เท่ากับ 17.36 nmol MDA/g FW (Table 5) Shirvani *et al.* (2016) รายงานว่า เมล็ดดอกคำฝอยมีปริมาณ TBARS เท่ากับ 1060 mol MDA/g sample ซึ่งปริมาณของ TBARS สอดคล้องกับปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในเมล็ด เมล็ดที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงจะเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันหรือมีปริมาณ TBARS ต่ำ (Deng *et al.*, 2016)

10. กิจกรรมการต้านเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลสและเอนไซม์ทริปซิน

อะไมเลสเป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่สามารถย่อยพันธะอัลฟาไกลโคซิดิกในแป้งให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง ทำให้ได้เป็นน้ำตาลมอลโตส กลูโคส และเดกซ์ทริน สารยับยั้งเอนไซม์อะไมเลสจะทำหน้าที่ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส โดยจะช่วยลดปริมาณน้ำตาลที่จะดูดซึมเข้ากระแสเลือดได้ ซึ่งมีความสำคัญมากต่อผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 (Vadivel and Biesalski, 2012) จากการศึกษาผลของสารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันต่อกิจกรรมการต้านเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลสในหลอดทดลอง โดยใช้แป้งเป็นสับสเตรท พบว่า สารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลสได้เท่ากับร้อยละ 37.26 ในขณะที่อะคาร์โบส (acarbose) (ชุดควบคุมเชิงบวก; 1mg/ml) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลสได้ถึงร้อยละ 69.28 (Table 5) ดังนั้นสารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลสจาก *Aspergillus oryzae* เพียงร้อยละ 16.95 ที่ความเข้มข้น 0.75 mg/ml และพวกเขาได้สรุปว่า สารสกัดจากกากงามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลสเพียงเล็กน้อย Hano *et al.* (2013) รายงานว่า สารสกัดจากเมล็ดแฟลกซ์เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลส โดยแสดงค่ากิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลสเท่ากับร้อยละ 45.70 (ความเข้มข้น 0.50mg/ml) Amutha and Godavari (2016) รายงานว่า สารสกัดจากเมล็ดงาคาดูที่ความเข้มข้น 5 mg/ml แสดงค่าการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลสสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 24.95 จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า สารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันสามารถลดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงหลังมื้ออาหาร (postprandial hyperglycemia) โดยการยับยั้งการย่อยของคาร์โบไฮเดรตเป็นผลให้การดูดซึมของน้ำตาลเข้าสู่ร่างกายลดลง

สารต้านโภชนาการ เช่น ทริปซินอินฮิบิเตอร์ (trypsin inhibitor) มีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินที่ใช้อยู่โปรตีนในระบบทางเดินอาหาร

โดยสารต้านโภชนาการมีคุณสมบัติไปทำลาย หรือขัดขวางการดูดซึม และการนำไปใช้ประโยชน์ของสารอาหารโปรตีน (Klomkiao *et al.*, 2011) จากการศึกษาวิเคราะห์กิจกรรมการต้านเอนไซม์ทริปซินของสารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันพบว่า สารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันมีค่าเฉพาะกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน (specific inhibitory activity) เท่ากับ 0.74 units/g protein (Table 5) Wati *et al.* (2010) ได้ศึกษาสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินในเมล็ดถั่ว 3 ชนิดพบว่า เมล็ดถั่วอะชูกิมีค่าเฉพาะกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซินสูงที่สุด (553 units/mg protein) รองลงมาคือ ถั่วขาว (316 units/mg protein) และถั่วแดง (205 units/mg protein) ตามลำดับ Klomkiao *et al.* (2011) รายงานว่า ถั่วเขียวมีค่าเฉพาะกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซินเท่ากับ 11.72 units/mg protein Pesoti *et al.* (2015) รายงานว่า เมล็ดควินัว (quinoa seed) มีค่าเฉพาะกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซินเท่ากับ 8.56 units/mg protein เมื่อเทียบค่าเฉพาะกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซินของสารสกัดจากกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันกับพืชตระกูลถั่วหรือธัญพืชจะเห็นได้ว่า กากงาขี้ม่อนแสดงค่าเฉพาะกิจกรรมยับยั้งเอนไซม์ทริปซินที่ต่ำกว่าพืชเมล็ดถั่ว โดยปริมาณทริปซินอินฮิบิเตอร์ขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ การเจริญเติบโตเต็มที่ของพืช การหมัก และ การใช้ความร้อนร่วม เป็นต้น (Benjakul *et al.*, 2000)

สรุปผลการวิจัย

กากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตกรดอะมิโนที่จำเป็น แร่ธาตุ อีกทั้งยังมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน และกรดไขมันโอเมก้า (โอเมก้า-3 โอเมก้า-6 และโอเมก้า-9) ในปริมาณสูง กากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งระบุโดยปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงอีกด้วย อย่างไรก็ตามพบสารต้านโภชนาการ (ทริปซินอินฮิบิเตอร์) ในระดับหนึ่งดังนั้นกากงาขี้ม่อนสกัดน้ำมันน่าจะเป็นไปได้สูงในการใช้เป็นแหล่งสารอาหารหรือใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2559 และขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงและมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่ให้ความช่วยเหลือและให้ความสะดวกในการติดต่อขอใช้เครื่องมือและอุปกรณ์วิเคราะห์ทดสอบตลอดการดำเนินงานวิจัย

References

- Al Surmi, N.Y., El Dengawy, R.A.H. and Khalifa, A.H. 2016. Chemical and nutritional aspects of some safflower seed varieties. J. Food Process. Technol. 7: 585.
- Amutha, K. and Godavari, A. 2016. In-vitro-antidiabetic activity of n-butanol extract of *Sesamum indicum*. Asian J. Pharm. Clin. Res. 9: 60-62.
- Anwar, F. and Przybylski, R. 2012. Effect of solvents extraction on total phenolics and antioxidant activity of extracts from flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 11: 293-301.
- AOAC. 2000. Official method of analytical chemists. 17th edition. Association of Analytical Communities: Maryland.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis of AOAC international. 18th edition. Association of Analytical Communities: Maryland.
- AOAC. 2010. Official methods of analysis of AOAC international. 18th edition. Association of Analytical Communities: Maryland.
- AOAC. 2011. Official methods of analysis of AOAC international. 18th edition. Association of Analytical Communities: Maryland.
- AOAC. 2012. Official methods of analysis of AOAC international. 19th edition. Association of Analytical Communities: Maryland.
- Benjakul, S., Visessanguan, W. and Thummaratwasik, P. 2000. Isolation and characterization of trypsin inhibitors from some Thai legume seeds. J. Food Biochem. 24: 107-127.
- Benzie, I.F.F. and Strain, J.J. 1999. The ferric reducing ability of plasma as a power: the BRAP assay. Anal. Biochem. 239: 70-76.
- Bhunja, R.K., Chakraborty, A., Kaur, R., Gayatri, T., Bhat, K.V., Basu, A., Maiti, M.K. and Sen, S.K. 2015. Analysis of fatty acid and lignan composition of indiangerm plasm of sesame to evaluate their nutritional merits. J. Am. Oil Chem. Soc. 92: 65-76.
- Bozan, B. and Temelli, F. 2008. Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. Bioresour. Technol. 99: 6354-6359.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Sci. Technol. 28: 25-30.
- Bullerwell, C.N., Collins, S.A., Lall, S.P. and Anderson, D.M. 2016. Growth performance, proximate and histological analysis of rainbow trout fed diets containing *Camelina sativa* seeds, meal (high-oil and

- solvent-extracted) and oil. *Aquaculture*. 452: 342-350.
- Ciftci, O.N., Przybylski, R. and Rudzińska, M. 2012. Lipid components of flax, perilla, and chia seeds. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 114: 794-800.
- Deng, B., Zhang, Y., Yang, K. and Li, Z. 2016. Change in non-enzymatic antioxidant capacity and lipid peroxidation during germination of white, yellow and purple maize seeds. *Pak. J. Bot.* 48: 607-612.
- Department of Medical Science. (2003). *Compendium of Method for Food Analysis*. 1st edition. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards: Bangkok. 2/80-2/81.
- Ha, T.J., Lee, J.H., Lee, M.-H., Lee, B.W., Kwon, H.S., Park, C.-H., Shim, K.-B., Kim, H.-T., Baek, I.-Y. and Jang, D.S. 2012. Isolation and identification of phenolic compounds from the seeds of *Perilla frutescens* (L.) and their inhibitory activities against α -glucosidase and aldose reductase. *Food Chem.* 135: 1397-1403.
- Hano, C., Renouard, S., Molinié, R., Corbin, C., Barakzoy, E., Doussot, J., Lamblin, F. and Lainé, E. 2013. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) extract as well as (+)-secoisolaricresinoldiglucoside and its mammalian derivatives are potent inhibitors of α -amylase activity. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 23: 3007-3012.
- Hojilla-Evangelista, M.P., Evangelista, R.L., Isbell, T.A. and Selling, G.W. 2013. Effects of cold-pressing and seed cooking on functional properties of protein in pennycress (*Thlaspi arvense* L.) seed and press cakes. *Ind. Crops Prod.* 45: 223-229.
- Institute of Medicine of the National Academies. 2005. *Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids (macronutrients)*. National Academy Press: Washington.
- Ishikura, N. 1981. Anthocyanins and flavones in leaves and seeds of perilla plant. *Agric. Biol. Chem.* 45: 1855-1860.
- Khairunnuur, F.A., Zulkhairi, A., Azrina, A., Moklas, M.A.M., Khairullizam, S., Zamree, M.S. and Shahidan, M.A. 2009. Nutritional composition, in vitro antioxidant activity and *Artemia salina* L. lethality of pulp and seed of *Tamarindus indica* L. extracts. *Malays. J. Nutr.* 15: 65-75.
- Kim, D.-O., Jeong, S.W. and Lee, C.Y. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chem.* 81: 321-326.
- Klomkiao, S., Benjakul, S., Kishimura, H. and Chaijan, M. 2011. Extraction, purification and properties of trypsin inhibitor from Thai mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). *Food Chem.* 129: 1348-1354.
- Kongkeaw, S., Riebroy, S. and Chaijan, M. 2015. Comparative studies on chemical composition, phenolic compounds and antioxidant activities of brown and white perilla (*Perilla frutescens*) seeds. *Chiang Mai J. Sci.* 42: 896-906.
- Laemmli, U. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of head of bacteriophage T4. *Nature*. 227: 680-685.
- Lee, J.H., Park, K.H., Lee, M.-H., Kim, H.-T., Seo, W.D., Kim, J.Y., Baek, I.-Y., Jang, D.S. and Ha, T. J. 2013. Identification, characterisation, and quantification of phenolic compounds in the antioxidant activity-containing fraction from the seeds of Korean perilla (*Perilla frutescens*) cultivars. *Food Chem.* 136: 843-852.
- Liu, J.D., Li, Q.Y., Zeng, Z.K., Li, P., Xu, X., Wang, H.L., Zhang, S. and Piao, X.S. 2015. Determination and prediction of the amino acid digestibility of sunflower seed meals in growing pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 28: 86-94.
- Longvah, T. and Deosthale, Y.G. 1991. Chemical and nutritional studies on hanshi (*Perilla frutescens*), a

- traditional oilseed from northeast India. J. Am. Oil Chem. Soc. 68: 781-784.
- Marathe, S.A., Rajalakshmi, V., Jamdar, S.N. and Sharma, A. 2011. Comparative study on antioxidant activity of different varieties of commonly consumed legumes in India. Food Chem. Toxicol. 49: 2005-2012.
- Mathews, C.K. and Holde, K.E. 1990. Biochemistry. The Benjamin/Cummings Publishing: California.
- Mohdaly, A.A.A., Smetanska, I., Ramadan, M.F., Sarhan, M.A. and Mahmoud, A. 2011. Antioxidant potential of sesame (*Sesamum indicum*) cake extract in stabilization of sunflower and soybean oils. Ind. Crops Prod. 34: 952-959.
- Moller, H.J. and Poulsen, J.H. 2002. Staining of glycoproteins/proteoglycans in SDS-gels. In: The protein protocols handbook. J.M. Walker (Ed.), Hu-mana Press Springer-Verlag: Germany.
- Nitta, M., Lee, J.K. and Ohnishi, O. 2003. Asian Perilla crops and their weedy forms: their cultivation, utilization and genetic relationships. Econ. Bot. 57: 245-253.
- Odhav, B., Kandasamy, T., Khumalo, N. and Baijnath, H. 2010. Screening of African traditional vegetables for their alpha-amylase inhibitory effect. J. Med. Plants Res. 4: 1502-1507.
- Peiretti, P.G. 2011. Fatty acid content and chemical composition of vegetative parts of perilla (*Perilla frutescens* L.) after different growth lengths. Res. J. Med. Plant. 5: 72-78.
- Peng, Y., Ye, J. and Kong, J. 2005. Determination of phenolic compounds in *Perilla frutescens* L. by capillary electrophoresis with electrochemical detection. J. Agric. Food Chem. 53: 8141-8147.
- Peschel, W., Dieckmann, W., Sonnenschein, M. and Plescher, A. 2007. High antioxidant potential of pressing residues from evening primrose in comparison to other oilseed cakes and plant antioxidants. Ind. Crops Prod. 25: 44-54.
- Pesoti, A.R., Oliveira, B.M.d., Oliveira, A.C.d., Pompeu, D.G., Gonçalves, D.B., Marangoni, S., Silva, J.A.d. and Granjeiro, P.A. 2015. Extraction, purification and characterization of inhibitor of trypsin from *Chenopodium quinoa* seeds. Food Sci. Technol. (Campinas). 35: 588-597.
- Poveda, T., Vilcacundo, R., Carpio, C. and Carrillo, W. 2016. Analysis of sesame proteins isolate (*Sesamum indicum* L.) with water and salt treatment. Asian J. Pharm. Clin. Res. 9: 404-407.
- Qwele, K., Hugo, A., Oyedemi, S.O., Moyo, B., Masika, P.J. and Muchenje, V. 2013. Chemical composition, fatty acid content and antioxidant potential of meat from goats supplemented with Moringa (*Moringa oleifera*) leaves, sunflower cake and grass hay. Meat Sci. 93: 455-462.
- Rawdkuen, S., Murdayanti, D., Ketnawa, S. and Phongthai, S. 2016. Chemical properties and nutritional factors of pressed-cake from tea and sachainchi seeds. Food Biosci. 15: 64-71.
- Reshma, M.V., Namitha, L.K., Sundaresan, A. and Kiran, C.R. 2012. Total phenol content, antioxidant activities and α -glucosidase inhibition of sesame cake extracts. J. Food Biochem. 22: 1-9.
- Salem, M.Z.M., Ali, H.M., El-Shanhorey, N.A. and Abdel-Megeed, A. 2013. Evaluation of extracts and essential oil from *Callistemon viminalis* leaves: antibacterial and antioxidant activities, total phenolic and flavonoid contents. Asian Pac. J. Trop. Med. 6: 785-791.
- Sargi, S.C., Silva, B.C., Santos, H.M.C., Montanher, P.F., Boeing, J.S., Santos-Junior, O.O., Souza, N.E. and Visentainer, J.V. 2013. Antioxidant capacity and chemical composition in seeds rich in omega-3: chia, flax, and perilla. Food Sci. Technol. (Campinas). 33: 541-548.

- Sathe, S.K., Kshirsagar, H.H. and Sharma, G.M. 2012. Solubilization, fractionation, and electrophoretic characterization of inca peanut (*Plukenetia volubilis* L.) proteins. *Plant Foods Hum. Nutr.* 67: 247-255.
- Shahidi, F. 2000. Antioxidant factors in plant foods and selected oilseeds. *Biofactors.* 13: 179-185.
- Shirvani, A., Jafari, M., Goli, A., Soltani Tehrani, N. and Rahimmalek, M. 2016. The changes in proximate composition, antioxidant activity and fatty acid profile of germinating safflower (*Carthamus tinctorius*) seed. *J. Agric. Sci. Technol.* 18: 1967-1974.
- Shukla, S., Mehta, A., John, J., Singh, S., Mehta, P. and Vyas, S.P. 2009. Antioxidant activity and total phenolic content of ethanolic extract of *Caesalpinia bonducella* seeds. *Food Chem. Toxicol.* 47: 1848-1851.
- Song, L., Gao, H., Chen, H., Mao, J., Zhou, Y., Chen, W. and Jiang, Y. 2009. Effects of short-term anoxic treatment on antioxidant ability and membrane integrity of postharvest kiwifruit during storage. *Food Chem.* 114: 1216-1221.
- Sunil, L., Appaiah, P., Prasanth Kumar, P.K. and Gopala Krishna, A.G. 2015. Preparation of food supplements from oilseed cakes. *J. Food Sci. Technol.* 52: 2998-3005.
- Teh, S.-S. and Birch, E.J. 2014. Effect of ultrasonic treatment on the polyphenol content and antioxidant capacity of extract from defatted hemp, flax and canola seed cakes. *Ultrason. Sonochem.* 21: 346-353.
- Tirgar, M., Silcock, P., Carne, A. and Birch, E.J. 2017. Effect of extraction method on functional properties of flaxseed protein concentrates. *Food Chem.* 215: 417-424.
- Vadivel, V. and Biesalski, H.K. 2012. Total phenolic content, in vitro antioxidant activity and type II diabetes relevant enzyme inhibition properties of methanolic extract of traditionally processed underutilized food legume, *Acacia nilotica* (L.) Willd ex. Delile. *Int. Food Res. J.* 19: 593-601.
- Vishwanath, H.S., Anilakumar, K.R., Harsha, S.N., Khanum, F. and Bawa, A.S. 2012. *In vitro* antioxidant activity of sesamum indicum seeds. *Asian J. Pharm. Clin. Res.* 5: 56-60.
- Wannes, W.A. and Marzouk, B. 2016. Characterization of myrtle seed (*Myrtus communis* var. baetica) as a source of lipids, phenolics, and antioxidant activities. *J. Food Drug Anal.* 24: 316-323.
- Wati, R.K., Theppakorn, T., Benjakul, S. and Rawdkuen, S. 2009. Three phase partitioning of trypsin inhibitor from legume seeds. *Process Biochem.* 44: 1307-1314.
- Wati, R.K., Theppakorn, T., Benjakul, S. and Rawdkuen, S. 2010. Trypsin inhibitor from 3 legume seeds: fractionation and proteolytic inhibition study. *J. Food Sci.* 75: C223-C228.
- Xu, Z., Li, X., Feng, S., Liu, J., Zhou, L., Yuan, M. and Ding, C. 2016. Characteristics and bioactivities of different molecular weight polysaccharides from camellia seed cake. *Int. J. Biol. Macromol.* 91: 1025-1032.
- Yu, H., Qiu, J.-F., Ma, L.-J., Hu, Y.-J., Li, P. and Wan, J.-B. 2017. Phytochemical and phytopharmacological review of *Perilla frutescens* L. (Labiatae), a traditional edible-medicinal herb in China. *Food Chem. Toxicol.* 108: 375-391.
- Zekonis, G., Zekonis, J., Sadzeviciene, R., Simoniene, G. and Kevelaitis, E. 2008. Effect of *Perilla frutescens* aqueous extract on free radical production by human neutrophil leukocytes. *Medicina (Kaunas).* 44: 699-705.
- Zhu, J. and Fu, Q. 2012. Optimization of ultrasound-assisted extraction process of perilla seed meal proteins. *Food Sci. Biotechnol.* 21: 1701-1706.

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในน้ำหมักเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์

ณัฐพร จันทร์ฉาย* และ จุฑารัตน์ สนธิรอด

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่ 54140

บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในสูตรอาหารน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ซึ่งเป็นอาหารต้นทุนต่ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยศึกษาสูตรน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (เปลือก ต้น ชัง และฝุ่นข้าวโพด) ที่ 20% ร่วมกับสูตรอาหารทางเคมี การศึกษาพบว่า สูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดเหมาะสมที่สุดที่จะใช้เป็นอาหารต้นทุนต่ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาโดยให้ค่าอัตราความหนาแน่นของเซลล์ (OD) เฉลี่ยเท่ากับ 0.450 ± 0.006 cell/ml จำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 81.440 ± 0.497 cell/ml อัตราการเจริญจำเพาะ (μ) เฉลี่ยเท่ากับ 2.079 ± 0.001 เซลล์/วัน และปริมาณรงควัตถุแคโรทีนอยด์เฉลี่ยเท่ากับ 79.943 ± 0.043 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักเซลล์แห้ง ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากนั้นทำการศึกษาปริมาณน้ำหมักจากต้นข้าวโพดที่ปริมาณต่าง ๆ คือ 10, 15, 20 และ 25% โดยปริมาตร จากการศึกษาพบว่าน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาณ 20% เป็นสูตรที่ดีที่สุดเนื่องจากมีอัตราความหนาแน่นของเซลล์ (OD) เฉลี่ยเท่ากับ 0.434 ± 0.020 cell/ml จำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 82.594 ± 0.056 cell/ml อัตราการเจริญจำเพาะ (μ) เฉลี่ยเท่ากับ 2.015 ± 0.016 เซลล์/วัน ปริมาณรงควัตถุแคโรทีนอยด์เฉลี่ยเท่ากับ 75.026 ± 0.006 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณโปรตีนเฉลี่ยเท่ากับ $137.288 \pm 0.037\%$ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

คำสำคัญ: สไปรูลินา ข้าวโพดอาหารสัตว์ แคโรทีนอยด์ โปรตีน และ มลภาวะทางอากาศ

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: nuttapornchanchay@gmail.com

Cultivation of *Spirulina platensis* in Fermented Corn Feed Residues

Nuttaporn Chanchay* and Jutarat Sontirod

Program in Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Phrae, 54140, Thailand

Abstract

The cultivation of *Spirulina platensis* in corn feed residue liquid fermentation medium of low cost diet with different ratios was investigated by a completely randomized design; CRD). The study was conducted on fermented water from corn residue (corn husks, corn stalks, and corn dust) at 20% with chemical formula. The study was found that the fermented water from the corn cultivar was the most suitable for use as a low cost medium for culturing *Spirulina* with an average OD of 0.450 ± 0.006 cells/ml., average number of cells was 81.440 ± 0.497 cells/ml., specific growth rate (μ) was 2.079 ± 0.001 cells/day and average carotenoid content was 79.943 ± 0.043 micrograms/g dry cell weight with significant differences were observed ($P < 0.05$). The amount of fermented water from the corn stalks at 10, 15, 20 and 25% was studied. The results were showed that 20% of corn feed was the best formulation because an average OD was 0.434 ± 0.020 cells/ml., the average cell number was 82.594 ± 0.056 cells/ml., the average specific growth rate (μ) was 2.015 ± 0.016 cells/day., the average carotenoid content was 75.026 ± 0.006 micrograms/g.dry cell weight and the average protein content was $137.288 \pm 0.037\%$ had significant differences ($P < 0.05$).

Keywords: *Spirulina platensis*, Corn feed, Carotenoid, Protein and Air pollution

* Corresponding author: E-mail: nuttapornchanchay@gmail.com

ในประเทศไทย สาหร่ายสีโปรลูนาหรือสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) นิยมนำมาใช้เป็นสารเสริมอาหารสำหรับผู้รักสุขภาพ สาหร่ายดังกล่าวเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบมากในน้ำจืด ที่มีคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง มีลักษณะเป็นเส้นเกลียวเจริญเติบโตได้ดีทั้งในน้ำสะอาดและน้ำเสีย (Wongrat, 1996) เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวที่มีโปรตีนสูงมากจึงได้รับความสนใจสูงในด้านของการนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารเสริมโดยผสมในอาหารสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Chanchay, 2004; Tongsir et al., 2012) หรือเพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนที่ได้จากแหล่งอื่น ๆ (Boonsom, 1992) เนื่องจากมีความโดดเด่นในเรื่องของโปรตีนที่มีอยู่ปริมาณสูงถึง 50-70% ของน้ำหนักเซลล์แห้ง และสารสำคัญอื่น ๆ ได้แก่ Phycocyanin, Allophycocyanin, Beta-carotene, Chlorophyll-a และกรดไขมันจำเป็นชนิดไม่อิ่มตัว (Vekatarman, 1983) เนื่องจากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนามีต้นทุนการเพาะเลี้ยงสูงจากการใช้อาหารทางเคมี ดังนั้นเพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปใช้เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์น้ำสำเร็จรูปที่มีกำลังการผลิตสูงกว่าอาหารสัตว์น้ำอื่น ๆ ซึ่งการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไม่มีความยุ่งยากในการเพาะเลี้ยง ไม่ต้องมีการจัดการหรือดูแลมากนัก และที่สำคัญการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนานั้นสามารถลดต้นทุนการเลี้ยงให้ต่ำลงได้โดยการคิดค้นแหล่งอาหารจากธรรมชาติ เช่น น้ำหมักจากมูลสัตว์หรือน้ำหมักจากพืชต่าง ๆ นำมาประยุกต์และปรับปรุงเพื่อเป็นสูตรอาหารต้นทุนต่ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนา

ข้าวโพดเป็นธัญพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่ใช้เป็นอาหารของมนุษย์ และสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ (Maneesawang, 2011; Pongpiachan, 1999) ปัจจุบันความต้องการของข้าวโพดอาหารสัตว์ทั้งตลาดในประเทศและตลาดต่างประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดของเสียจากการเพาะปลูกทั้งซัง เปลือก และฝู่นข้าวโพด การเผาทำลายเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดอาหารสัตว์ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพอากาศ และมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้เพื่อชี้ให้เห็นแนวทางการ

นำเศษเหลือจากข้าวโพดอาหารสัตว์มาประยุกต์ใช้โดยนำเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (เปลือก ซัง ต้น และฝู่นข้าวโพด) มาหมักที่อัตราส่วนต่าง ๆ ร่วมกับสูตรอาหารทางเคมีเพื่อปรับปรุงเป็นสูตรอาหารต้นทุนต่ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนา (*Spirulina platensis*)

ในการศึกษาค้นคว้านี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และจำนวนเซลล์ของสาหร่ายสีโปรลูนาที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารน้ำหมักจากเศษข้าวโพดอาหารสัตว์กับสูตรอาหารทางเคมี ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่มีการใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนาทั้งหมด และสูตรอาหารจากน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ชนิดใดมีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโต ปริมาณแคโรทีนอยด์ จำนวนเซลล์ และการผลิตโปรตีนของสาหร่ายสีโปรลูนาใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับสูตรอาหารทางเคมี ทั้งนี้เพื่อชี้ให้เห็นถึงแนวทางและความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำหมักจากวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรมาประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนาในการลดต้นทุนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไปในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนา *Spirulina platensis* ในสูตรอาหารน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (เปลือก ซัง ลำต้น และฝู่นข้าวโพด) แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนาในสูตรน้ำหมักข้าวโพดอาหารสัตว์แต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร เป็นเวลา 10 วัน โดยให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง (Wongrat, 1996) ทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย ศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss et al., 1984) ค่าความหนาแน่น (OD) จำนวนเซลล์ ($\times 10^7$ cell/ml) แล้วจึงเลือกชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ดีที่สุดเพื่อศึกษาปริมาณของน้ำหมักที่ใช้จากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ในปริมาณแตกต่างกันในการศึกษาต่อไป
2. ศึกษาปริมาณชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยเจือจางน้ำหมักที่อัตราส่วน 10, 15, 20 และ 25% โดยปริมาตรเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนาและวัดการเจริญเติบโตของ

สำหรับศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.*, 1984) ค่าความหนาแน่น (OD) จำนวนเซลล์ ($\times 10^7$ cell/ml) และปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 2000)

โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาสูตรน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ แต่ละการทดลองมี 6 สูตร สูตรละ 3 ซ้ำ และการทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณของน้ำหมักที่เหมาะสม แต่ละการทดลองมี 5 สูตร สูตรละ 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยดำเนินการ ดังนี้

1. การเตรียมหัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา โดยทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในห้องปฏิบัติการด้วยสูตรอาหารทางเคมีและขยายปริมาณหัวเชื้อสาหร่ายไปเรื่อย ๆ ให้ได้ปริมาณมากพอที่จะนำไปใช้ในการทดลอง ทั้งนี้เมื่อวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ (Optical Density; OD) ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร แล้วได้ค่าเท่ากับ 0.8 เป็นต้นไปจึงสามารถนำไปใช้เป็นหัวเชื้อตั้งต้นในการศึกษาต่อไป (Choocherd *et al.*, 2010)

2. การเตรียมน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (เปลือก ชัง ต้น และฟ่อนข้าวโพด) แบ่งการทดลองออกเป็น 6 สูตรๆ ละ 3 ซ้ำ คือ สูตรที่ 1 สูตรควบคุมทางเคมี (ชุดควบคุม) สูตรที่ 2 คือ น้ำหมักจากฟ่อนข้าวโพด 20% โดยปริมาตร สูตรที่ 3 น้ำหมักจากต้นข้าวโพด 20% โดยปริมาตร สูตรที่ 4 น้ำหมักจากชังข้าวโพด 20% โดยปริมาตร สูตรที่ 5 น้ำหมักจากเปลือกข้าวโพด 20% โดยปริมาตร และสูตรที่ 6 น้ำหมักจากฟ่อนข้าวโพด+ต้น+ชัง+เปลือกที่อัตราส่วน 1:1:1 20% โดยปริมาตร โดยแต่ละสูตรนำเศษข้าวโพดอาหารสัตว์มาหมักกับน้ำประปาที่ใส่ออกซิเจนออกแล้วที่อัตราส่วน 1:10 ในถังขนาด 20 ลิตร เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ระหว่างทำการหมักทำการคนน้ำหมักเป็นครั้งคราวหมักเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบางแล้วนำไปต้ม เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ (Choocherd *et al.*, 2010) ก่อนใช้เป็นส่วนประกอบของสูตรอาหารเลี้ยงสาหร่ายในสูตรต่อไป

3. เติมหิวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินาที่ได้จากข้อที่ 1 ในแต่ละสูตร สูตรละ 10% โดยปริมาตร เลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 10 วัน โดยให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง ทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.*, 1984) ความหนาแน่น (OD) และนับจำนวนเซลล์ ($\times 10^7$ cell/ml) และคัดเลือกชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ดีที่สุดเพื่อศึกษาทางด้านปริมาณที่เหมาะสมต่อไป

4. ศึกษาปริมาณชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์จากผลการทดลองข้อที่ 3 ที่ปริมาณที่ต่างกันโดยทำการเจือจางน้ำหมักที่อัตราส่วน 10, 15, 20 และ 25% โดยปริมาตร (ของปริมาณอาหารทางเคมี) เติมหิวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินาที่ได้จากข้อที่ 1 ในแต่ละสูตร สูตรละ 10% ของปริมาณอาหาร เลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 10 วัน โดยให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง ทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.*, 1984) ความหนาแน่น (OD) จำนวนเซลล์ ($\times 10^7$ cell/ml) และปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 2000)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design ; CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 มี 6 สูตร และการทดลองที่ 2 มี 5 สูตร แต่ละสูตรแบ่งออกเป็น 3 ซ้ำ ดังนี้

1. การทดลองที่ 1 การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมโดยเติมน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์

สูตรที่ 1 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร สูตรอาหารทางเคมี คือ

โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือผงฟู (NaHCO_3) 6.0 g/L.

ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต (K_2HPO_4) 0.5 g/L.

โซเดียมไนเตรท (NaNO_3) 1.5 g/L.

ปุ๋ย N:P:K (16:16:16) 0.6 g/L.

สูตรที่ 2 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + น้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (น้ำหมักจากฟ่อนข้าวโพด) 20% โดยปริมาตร

สูตรที่ 3 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + น้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (น้ำหมักจากต้นข้าวโพด) 20% โดยปริมาตร

สูตรที่ 4 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + น้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (น้ำหมักจากซังข้าวโพด) 20% โดยปริมาตร

สูตรที่ 5 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + น้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (น้ำหมักจากเปลือกข้าวโพด) 20% โดยปริมาตร

สูตรที่ 6 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + น้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (น้ำหมักจากฟ่อน+ซัง+ต้น+เปลือก) ที่อัตราส่วน 1:1:1 20% โดยปริมาตร

2. การทดลองที่ 2 การศึกษาปริมาตรของน้ำหมักจากเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ที่เหมาะสมร่วมกับอาหารสังเคราะห์

สูตรที่ 1 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตรสูตรอาหารทางเคมี คือ

โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือผงฟู (NaHCO₃) 6.0 g/L.

ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (K₂HPO₄) 0.5 g/L.

โซเดียมไนเตรท (NaNO₃) 1.5 g/L.

ปุ๋ย N:P:K (16:16:16) 0.6 g/L.

สูตรที่ 2 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + ชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ 10% โดยปริมาตร

สูตรที่ 3 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + ชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ 15% โดยปริมาตร

สูตรที่ 4 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + ชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ 20% โดยปริมาตร

สูตรที่ 5 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + ชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ 25% โดยปริมาตร

นำหัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินาที่มีความหนาแน่นของเซลล์ (OD) ตั้งแต่ 0.8 ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เพาะเลี้ยงในขวดพลาสติกใสขนาด 10 ลิตร โดยใช้หัวเชื้อสาหร่ายต่อสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายอัตราส่วน 1:5 ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 10.0±0.1 ทำการสูบลมเรียงขวดพลาสติกใสแต่ละทรีตเมนต์ให้แสงสว่างจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ตลอด 24 ชั่วโมง และให้ระบบลมอย่างทั่วถึงเพื่อให้เกิดการ

หมนเวียนน้ำและป้องกันการตกตะกอน เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน ตรวจวัดการเจริญและนับจำนวนเซลล์สาหร่ายสไปรูลินา โดยใช้ Haemocytometer และวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ (OD) โดยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร หาค่าปริมาณแคโรทีนอยด์โดยวิธีของ Foss *et al.* (1984) และปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl method (เฉพาะชุดการทดลองที่ 2) คำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินา ดังนี้

อัตราการเจริญจำเพาะ (Specific growth rate; μ) คำนวณได้จาก

$$\mu = \frac{\ln x_2 - \ln x_1}{t_2 - t_1}$$

เมื่อ x คือ จำนวนเซลล์ และ t คือ หน่วยเวลา

วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ ค่าความหนาแน่นของเซลล์ อัตราการเจริญ ปริมาณแคโรทีนอยด์ และโปรตีนที่ได้ในแต่ละสูตร ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance ; ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS/PC

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. การทดลองที่ 1 การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมโดยเติมน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์

การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมของการเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* โดยการเติมน้ำหมักเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาตรแตกต่างกันร่วมกับสูตรอาหารทางเคมี โดยผลการศึกษาชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ดีที่สุดหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 10 วัน โดยให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง แล้วจึงทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญของสาหร่าย วัดปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.*, 1984) วัดค่าความหนาแน่น (OD) และนับจำนวนเซลล์ ($\times 10^7$ cel/ml) ซึ่งผลการทดลองแสดง ดัง Table 1

Table 1 Mean cell numbers, optical density (OD), specific growth rate and carotenoid content of *Spirulina platensis* in liquid fermentation from corn feed residues

Educational factors	Chemical formula	Formula 2	Formula 3	Formula 4	Formula 5	Formula 6
Density(OD)	0.514 ^a ±0.015	0.406 ^f ±0.001	0.450 ^b ±0.006	0.446 ^c ±0.015	0.429 ^d ±0.006	0.422 ^e ±0.010
Cell number (x10 ⁷ cell/ml)	105.350 ^a ±0.010	46.830 ^f ±0.010	81.440 ^b ±0.497	71.083 ^c ±0.401	62.630 ^d ±0.010	51.000 ^e ±0.010
Growth rate (µ; cells/day)	7.900 ^a ±0.001	0.279 ^f ±0.002	2.079 ^b ±0.001	1.779 ^c ±0.001	1.263 ^d ±0.002	1.023 ^e ±0.004
Carotenoids (µg/g cell dry weight)	109.432 ^a ±0.001	62.854 ^f ±0.012	79.943 ^b ±0.043	74.456 ^c ±0.005	71.574 ^d ±0.010	68.124 ^e ±0.004

Note: Similarly, the horizontal alphabet showed no statistically significant difference (P<0.05) at 95% confidence level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) : Supplemented with 20% of fermented corn extracted in the control medium (chemical formula)

Table 1 แสดงค่าความหนาแน่นของเซลล์ (OD) ด้วยสูตรอาหารต้นตุน้ำหมักของเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่าแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ซึ่งสูตรควบคุมให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 0.514±0.015 รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพด 20% มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.450±0.006 และน้ำหมักจากซังข้าวโพด 20% มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.446±0.015 ทั้งนี้สูตรควบคุมซึ่งเป็นสูตรอาหารทางเคมี โดย Promya *et al.* (2009) กล่าวว่าได้มีการเติมธาตุอาหารพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายและเป็นสูตรที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจึงทำให้สูตรควบคุมมีปริมาณความหนาแน่นสูงกว่าสูตรอาหารอื่น ๆ

การศึกษาจำนวนเซลล์ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารต้นตุน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่า แต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยสูตรควบคุมมีจำนวนเซลล์สูงสุดเท่ากับ 105.350±0.010 cell/ml. รองลงมา คือ น้ำหมักต้นตุน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% มีจำนวนเซลล์ เท่ากับ 81.440±0.497 cell/ml. และสูตรอาหารต้นตุน้ำหมักของซังข้าวโพดที่ 20% มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 71.083±0.401 cell/ml. โดยสูตรที่ 2 คือ น้ำหมักจากฝุ่นข้าวโพดมีปริมาณจำนวนเซลล์ของสาหร่ายต่ำที่สุดเท่ากับ 46.830±0.010 cell/ml. ทั้งนี้เนื่องจากสูตรควบคุมเป็น

สูตรอาหารทางเคมีได้มีการเติมธาตุอาหารพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย ที่ประกอบด้วย NaHCO₃, NaNO₃, K₂HPO₄ และมีปุ๋ยเคมี (N:P:K ที่ 16:16:16) โดยองค์ประกอบเหล่านี้ช่วยให้สาหร่ายมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ได้มากขึ้นและเป็นสูตรอาหารที่นิยมใช้ในการเลี้ยงสาหร่าย (Choocherd *et al.*, 2010; Seesooksomwong and Peerapornphisarn, 2007) อีกทั้งในฝุ่นข้าวโพด อาจจะมีปริมาณสารอาหารที่น้อยต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย แต่เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ต้องการศึกษาถึงสูตรอาหารต้นตุน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์จึงพบว่าอาหารต้นตุน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% (ของปริมาณอาหาร) มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอาหารต้นตุน้ำหมักสูตรอื่น ๆ จากน้ำหมักเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ เนื่องจากในลำต้นข้าวโพดมีท่อลำเลียงอาหารทำให้มีธาตุอาหารต่าง ๆ สะสมอยู่ในบริเวณลำต้นมากกว่าส่วน เปลือก ชัง และฝุ่นข้าวโพด (Chairinkum and Mikled, 2013) สอดคล้องกับ Chuenkramon (1987) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำหมักมูลสุกร เช่นเดียวกับ Choocherd *et al.* (2010) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำหมักต้นตุน้ำหมักจากมูลสัตว์ต่าง ๆ และหญ้า โดยน้ำหมักจากมูลสัตว์ได้จากธาตุอาหารจากพืชที่สัตว์กินเข้าไปถูกหมักและย่อยสลายเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย โดยเฉพาะ

มูลไก่ อีกทั้งยังสอดคล้องกับ Seephanomyom *et al.* (2007) เลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*S. platensis*) ในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาแล่เนื่องจากน้ำทิ้งดังกล่าวยังมีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญต่อการเจริญของสาหร่าย

ผลการศึกษ้อัตราการเจริญจำเพาะ (μ) ของอาหารต้นทุนต่ำจากการหมักของเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่าแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรควบคุมมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดเท่ากับ 7.900 ± 0.001 รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% มีอัตราการเจริญเท่ากับ 2.079 ± 0.001 และพบว่าน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ 20% มีอัตราการเจริญต่ำสุดเท่ากับ 0.279 ± 0.002 โดยอัตราการเจริญคำนวณจากจำนวนเซลล์ ซึ่งสูตรน้ำหมักต้นจากต้นข้าวโพดหมักมีจำนวนเซลล์สูงสุด และจึงทำให้มีค่าอัตราการเจริญสูงไปด้วย

การศึกษาค่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารจากน้ำหมักเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่าแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 79.043 ± 0.043 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักเซลล์แห้ง รองลงมา คือ น้ำหมักจากซังข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% มีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 74.456 ± 0.005 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักเซลล์แห้ง และสูตรน้ำหมักจากเปลือกข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% มีปริมาณ แคโรทีนอยด์

เท่ากับ 71.574 ± 0.010 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักเซลล์แห้ง ทั้งนี้สูตรควบคุมซึ่งเป็นสูตรอาหารทางเคมีได้มีการเติมธาตุอาหารพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายในการเพาะเลี้ยงได้มีการให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง ในการเพาะเลี้ยงส่งผลให้สาหร่ายมีปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้น และเนื่องจากจำนวนเซลล์ที่เพิ่มขึ้นมากจึงทำให้มีการสร้างแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับจำนวนเซลล์ที่สูงขึ้นด้วย ถึงแม้ว่าสูตรควบคุมจะมีแคโรทีนอยด์ถึง 109.432 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักเซลล์แห้ง แต่การศึกษานี้ต้องการศึกษาอาหารจากน้ำหมักต้นทุนต่ำดังนั้นเพื่อเป็นการศึกษาปริมาณน้ำหมักที่เหมาะสมในสูตรอาหารต้นทุนต่ำจึงเลือกสูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์หมักมาใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป

2. การทดลองที่ 2 การศึกษาปริมาณของน้ำหมักจากเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ที่เหมาะสมร่วมกับอาหารสังเคราะห์

การศึกษาค่าปริมาณของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทำการเจือจางน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่อัตราส่วน 10, 15, 20 และ 25% โดยปริมาตร (ของปริมาณอาหารทางเคมี) และทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญของสาหร่าย ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.*, 1984) ค่าความหนาแน่น (OD) จำนวนเซลล์ ($\times 10^7$ cell/ml) และปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000) ซึ่งผลการศึกษาแสดงใน Table 2

Table 2 Mean cell numbers, optical density (OD), specific growth rate, carotenoid content and protein content of *Spirulina platensis* in liquid fermentation from corn feed residues

Educational factors	Chemical formula	Fermented water at 10%	Fermented water at 15%	Fermented water at 20%	Fermented water at 25%
Density (OD)	$0.506^a \pm 0.004$	$0.444^b \pm 0.138$	$0.341^d \pm 0.185$	$0.434^{bc} \pm 0.020$	$0.504^a \pm 0.003$
Cell number ($\times 10^7$ cell/ml)	$105.332^a \pm 0.012$	$80.026^c \pm 0.023$	$81.365^{bc} \pm 0.061$	$82.594^b \pm 0.056$	$64.030^e \pm 0.028$
Growth rate (μ ; cells/day)	$8.510^a \pm 0.023$	$0.527^d \pm 0.006$	$1.770^c \pm 0.034$	$2.015^b \pm 0.016$	$0.270^e \pm 0.015$
Carotenoids ($\mu\text{g/g}$ cell dry weight)	$113.964^b \pm 0.002$	$122.021^a \pm 0.003$	$3.486^d \pm 0.005$	$75.026^c \pm 0.006$	$4.178^d \pm 0.007$
Protein (%)	$140.075^a \pm 0.037$	$11.053^d \pm 0.026$	$26.077^c \pm 0.020$	$137.288^b \pm 0.037$	$4.294^e \pm 0.071$

Note: Similarly, the horizontal alphabet showed no statistically significant difference ($P<0.05$) at 95% confidence level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) : Dilution rate of fermented water from 10%, 15%, 20% and 25%

จาก Table 2 การศึกษาค่าความหนาแน่นของเซลล์ (OD) ด้วยสูตรอาหารน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์

พบว่าแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรควบคุมมีความหนาแน่นสูงสุด เท่ากับ

0.506±0.004 รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 25% โดยปริมาตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.504±0.003 และน้ำหมักต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 10% โดยปริมาตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.444±0.138 ทั้งนี้ Seenuansom (2007) กล่าวว่าสูตรควบคุมซึ่งเป็นสูตรอาหารทางเคมี ได้มีการเติมธาตุอาหารพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายและเป็นสูตรที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายซึ่งเหมาะแก่การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสภาวะที่เหมาะสม Promya *et al.* (2009) กล่าวว่าสาหร่าย *S. platensis* เมื่อเพาะเลี้ยงประมาณ 7 วัน จะมีค่า OD เท่ากับ 0.8-1.00

การศึกษาจำนวนเซลล์ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารของน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาตรต่าง ๆ พบว่าแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรควบคุมมีจำนวนเซลล์สูงสุดเท่ากับ 105.332±0.012 cell/ml รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร มีจำนวนเซลล์ เท่ากับ 82.594±0.056 cell/ml และสูตรอาหารน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 15% โดยปริมาตร มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 81.365±0.061 cell/ml Chuenkramon (1987) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารสูตรต่าง ๆ เช่นเดียวกับ Choocherd *et al.* (2010) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำหมักต้นทุ่นดำจากมูลสัตว์และพืชทำให้ได้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายเช่นกัน

การศึกษาอัตราการเจริญจำเพาะ (μ) ด้วยอาหารต้นทุ่นดำของน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์พบว่า แต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรควบคุมมีอัตราการเจริญสูงสุดเท่ากับ 8.510±0.023 รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร มีอัตราการเจริญเท่ากับ 2.015±0.016 สอดคล้องกับ Seenuansom (2007) ซึ่งพบว่า อาหารสูตรชาร์รूपปรับปรุง (อาหารทางเคมี) มีอัตราการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินามากที่สุดและเนื่องจากลำต้นเป็นส่วนสะสมอาหารเพื่อลำเลียงอาหารและกระจายไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของต้นจึงมีอาหารสะสมมากที่สุด ซึ่งบริเวณลำต้นมีการสะสมฟอสฟอรัสสูงสอดคล้องกับงานศึกษาของ Promya *et al.* (2009) กล่าวว่าสาหร่ายดูดซับฟอสฟอรัส

ในรูปของออร์โธฟอสเฟต ได้ดีที่สุด ซึ่งฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟตที่สามารถละลายน้ำได้ดี และสาหร่ายนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ PO_3 , HPO_3^{-4} และ H_2PO_4 สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะมีความต้องการฟอสฟอรัสมากกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่น ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณสารสีชนิด Chlorophyll-a, RNA และ DNA ลดลง มีผลทำให้รูปร่างของเซลล์เปลี่ยนไปจากเดิม

การศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารต้นทุ่นดำของน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์พบว่า แต่ละชุดสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 10% โดยปริมาตร มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 122.021±0.003 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักเซลล์แห้ง รองลงมา คือ น้ำหมักสูตรควบคุมมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 113.964±0.002 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักเซลล์แห้ง และสูตรอาหารน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตรมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 75.026±0.006 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักเซลล์แห้ง ซึ่ง Issa (1999) กล่าวว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *Oscillatoria* sp. MOF-06 เท่ากับ 604±0.44 $\mu\text{g/ml}$. Promya *et al.* (2009) วิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *S. platensis* พบว่ามีปริมาณแคโรทีนอยด์ 187.89 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักเซลล์แห้ง เนื่องจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการสะสมรงควัตถุภายในเซลล์อยู่สูง

การศึกษาปริมาณโปรตีนที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่าแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยสูตรควบคุมมีปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 140.075±0.037% รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 137.288±0.037% และสูตรอาหารน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 15% โดยปริมาตร มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 26.077±0.020% ซึ่ง Seenuansom (2007) ได้วิเคราะห์คุณค่าโภชนาการของสาหร่าย *S. platensis* พบว่ามีโปรตีน 31.94-55.44% เนื่องจากความแตกต่างทางด้านสูตรอาหาร โดยการทดลองนี้ใช้สูตรอาหารชนิดต้นทุ่นดำในการเพาะเลี้ยง

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ในส่วน เปลือก ต้น ชัง และฝุ่นข้าวโพดเป็นสูตรอาหารในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา การทดลองที่ 1 การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมโดยเติมน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์เมื่อพิจารณาการศึกษาที่ได้จะเห็นได้ว่าน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นสูตรที่ดีที่สุดเนื่องจากมีอัตราการความหนาแน่นของเซลล์ (OD) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.450 ± 0.006 cell/ml. จำนวนเซลล์เฉลี่ยสูงสุด 81.440 ± 0.497 cell/ml. อัตราการเจริญจำเพาะ (μ) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.079 ± 0.001 เซลล์/วัน ปริมาณรงควัตถุแคโรทีนอยด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 79.943 ± 0.043 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักเซลล์แห้ง

การทดลองที่ 2 การศึกษาปริมาณของน้ำหมักจากเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ที่เหมาะสมร่วมกับอาหารสังเคราะห์ พบว่า น้ำหมักจากต้นข้าวโพดที่ความเข้มข้น 25% โดยปริมาตร เป็นสูตรที่ดีที่สุดเนื่องจากมีอัตราการความหนาแน่นของเซลล์ (OD) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.504 ± 0.003 cell/ml. สูตรน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาณ 20% มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 82.594 ± 0.056 cell/ml. และมีอัตราการเจริญจำเพาะ (μ) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

2.015 ± 0.016 เซลล์/วัน พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 10% โดยปริมาตร สูงที่สุดเท่ากับ 112.021 ± 0.003 $\mu\text{g/g}$ น้ำหนักเซลล์แห้ง และค่าปริมาณโปรตีนของสูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร สูงที่สุดเท่ากับ $137.288 \pm 0.037\%$ จากการศึกษาก็สามารถสรุปได้ว่าการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาครั้งนี้ควรใช้สูตรอาหารเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาจากน้ำหมักข้าวโพดอาหารสัตว์ในส่วนลำต้นที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร ของอาหารสูตรทางเคมีในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เป็นอาหารต้นทุนต่ำจะดีที่สุด

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาชี้ให้เห็นถึงแนวทางและความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำหมักจากต้นข้าวโพด มาประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ดังนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้สารเคมีซึ่งมีต้นทุนสูงในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย สามารถลดปริมาณของเสียทางการเกษตร และลดปัญหามลพิษทางอากาศจากการเผาเศษเหลือจากการปลูกข้าวโพดอาหารสัตว์ของเกษตรกรซึ่งอาจเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษเหลือทางการเกษตรได้อีกด้วย

References

- AOAC. 2000. Official methods of analysis. 17th edition. The Association of Official Analytical Chemists: Washington D.C.
- Boonsom, J. 1992. Secrets of spirulina. National Research Council of Thailand: Bangkok. 186 pp.
- Chairinkum, S. and Mikled, C. 2013. Nutritive value and optimum level of corn dust from seed milling process in beef cattle feed. Journal of Agriculture. 29(2): 117-125.
- Chanchay, N. 2004. Effect of carotenoid pigments from *Rhodotorula rubra* and *Leucaena leucocephala* on colour change of fancy carp. M.Sc. Thesis, Chiang Mai University.
- Choocherd, S., Seenuansom, K., Patthanakeatcheewin, S., Promya, J., Montean-as, B. and Trichaiyaporn, S. 2010. Cultivation of *Spirulina platensis* in liquid fermentation medium of low cost diet. J. Fish. Tech. Res. 4(2): 26-33.
- Chuenkramon, C. 1987. Comparison of *Spirulina platensis* yield in various formulations. M.Sc. Thesis,

- Srinakharinwirot University. (in Thai).
- Foss, P. Storebakken, T., Schiedt, K., Liaaen, J., Austreg, E. and Steriff, K. 1984. Carotenoids in diets for salmonids: pigmentation of rainbow trout with the individual optical isomers of astaxanthin in comparison with canthaxanthin. *Aquaculture*. 41: 213-226.
- Issa, A.A. 1999. Antibiotic production by the cyanobacteria *Oscillatoria angustissima* and *Calothrix parietina*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 8: 33-37.
- Maneesawang, N. 2011. Digestion and appearance of corn kernels and feed supplementation on goat production. M.Sc. Thesis, Department of Animal Science, Chiang Mai University. (in Thai)
- Pongpiachan, P. 1999. Examination of feed ingredients by microscope and feed microscopy and quality control. Animal Nutrition Division, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University: Chiangmai. 160 pp. (in Thai)
- Promya, J., Seenuansom, K. and Wanakanaphol, A. 2009. *Spirulina platensis* culture in cinder wastewater as a food for kindergarten and fancy carp farming sustainable. Faculty of Fisheries Technology and Water Resources, Maejo University: Chiangmai. 39 pp. (in Thai)
- Seenuansom, K. 2007. Spirulina culture in low cost recipes for aquaculture feeds. Training program on transfer of spirulina algae culture technology in low-cost recipes for ready-to-feed aquatic animals. June 15 and July 17, 2007. 53 pp. (in Thai)
- Seephanomyom, J., Kongsra, A. and Deechoom, V. 2007. *Spirulina platensis* in fish pond effluent. Proceeding of the 3rd National Conference on Algae and Plankton, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok. p 106. (in Thai)
- Seesooksomwong, P. and Peerapornphisarn. 2007. *Spirulina platensis* culture with sludge water in a vortex culture system. Proceeding of the 3rd National Conference on Algae and Plankton, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok. p 56. (in Thai)
- Tongsiri, S., Mengampan, K. and Peerapornphisarn, Y. 2012. A study on the growth and carotenoid content in the flesh of mekong giant catfish fed with spirulina. *KKU Sci. J.* 40(1): 198-207. (in Thai)
- Vekataraman, L.V. 1983. A monograph on *Spirulina platensis*. Central Food Technological Research Institute: Mysore. 100 pp.
- Wongrat, L. 1996. Plankton guide. Department of Fish Biology, Faculty of Fisheries, Kasetsart University: Bangkok. 131 pp. (in Thai)

การคัดเลือกยีสต์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสจากน้ำทิ้งโรงอาหาร: การประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียและผลิตไบโอดีเซล

กฤษมาตี ฐานเจริญ*

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ตำบลตลาด อำเภอเมือง
จังหวัดมหาสารคาม 44000

บทคัดย่อ

การคัดเลือกยีสต์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสจากจากดิน และน้ำทิ้งบริเวณโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันสามารถคัดเลือกเชื้อทั้งหมดจำนวน 74 ไอโซเลต จากการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการเติมน้ำมันมะกอกเป็นแหล่งคาร์บอน และเมื่อทำการคัดกรองเชื้อยีสต์ทั้ง 74 ไอโซเลตในอาหารเลี้ยงเชื้อ Tween agar plate พบว่า มีเชื้อยีสต์ 3 ไอโซเลต ได้แก่ CTWY29, CTWY11 และ CTWY02 ที่สามารถสังเคราะห์เอนไซม์ไลเปสชนิดหลังออกนอกเซลล์สูงสุด โดยพบการสร้างวงใสรอบโคโลนี เท่ากับ 12, 18 และ 6 มิลลิเมตร ตามลำดับ การทดสอบการย่อยไขมันในน้ำทิ้งพบว่า เชื้อยีสต์ CTWY29 ให้ค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปสสูงสุดทั้งในน้ำทิ้งสังเคราะห์และน้ำทิ้งจริงจากโรงอาหารเท่ากับ 1.431 และ 1.261 ยูนิตต่อ มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการย่อย 72.69% ในน้ำทิ้งโรงอาหารหลังจากเวลา 96 ชั่วโมง นอกจากนี้ยีสต์ที่มีความสามารถย่อยไขมันดังกล่าว ยังสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ 3 ชนิดหลัก คือ เมทิลปาล์มมิเตท เมทิลลิโนเลเอท และเมทิลโอเลเอท เท่ากับ 20.46, 5.22 และ 9.30% ตามลำดับ จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า เชื้อยีสต์ CTWY29 มีความน่าสนใจในการเป็นศักยภาพในการผลิตไลเปส เพื่อการผลิตไบโอดีเซลในสภาวะที่เหมาะสมในระดับห้องปฏิบัติการ

คำสำคัญ: การคัดเลือก ไลเปส น้ำทิ้ง ไบโอดีเซล และ ไขมัน

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: Kthancharoen@gmail.com/Tel: 085-7711631

Screening of Lipase-producing Yeasts from Canteen Wastewater: Their Applications in Wastewater Treatment and Biodiesel Production

Kusumawadee Thancharoen *

*Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University,
Maha Sarakham, 44000, Thailand*

Abstract

Total 74 yeast isolates were screened for lipase production from the oil contaminated in soil and water in canteen of Rajabhat Maha Sarakham University using the enrichment medium supplemented with olive oil as a sole carbon source. Three isolates (CTWY29, CTWY11 and CTWY02) were evaluated highest clear zone on Tween agar plate after cultured on the Tween agar plate, gave 12, 8 and 6 mm., respectively. The lipid decomposition testing in synthetic wastewater and canteen wastewater were 1.431 and 1.261 Unit/ml obtained CTWY29 and efficiency lipid digested 72.69% in canteen wastewater after 96 hours, Furthermore lipase-producing yeast can be release 3 methyl ester was found that methyl palmitate, methyl linoleate and methyloleate were 20.46, 5.22 and 9.30%, respectively. The results demonstrate that CTWY29 is interesting for potential of lipase production in order to biodiesel at the optimized for laboratory level.

Keywords: Selection, Lipase, Wastewater, Biodiesel and Lipid

* Corresponding author: E-mail: Kthancharoen@gmail.com/Tel: 085-7711631

เอนไซม์ไลเปส (Triacylglycerol acylhydrolases, EC 3.1.1.3) เป็นเอนไซม์ที่มีแหล่งผลิตหลากหลาย เช่น สัตว์พืช และจุลินทรีย์ ซึ่งสัตว์จะผลิตเอนไซม์ไลเปสได้ที่ตับอ่อน เอนไซม์ไลเปสจากพืชได้จากน้ำยางมะละกอ เมล็ดข้าวโอ๊ต และเมล็ดกะหล่ำ การผลิตเอนไซม์ไลเปสที่สร้างจากจุลินทรีย์มีข้อดีเหนือกว่าเอนไซม์ไลเปสจากพืชและสัตว์ เพราะจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้เร็วและเลี้ยงง่าย นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตได้รวดเร็วโดยวิธีปรับปรุงพันธุกรรมได้ และสามารถปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการผลิตได้ง่าย การแยกจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสสามารถแยกจากแหล่งดินทั่วไป โรงงานเนื้อสัตว์ แหล่งบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และระบบบำบัดน้ำทิ้งตามบ้านเรือน (Pepper and Perlmem, 1976) เอนไซม์ไลเปสมีความน่าสนใจในทางการค้า เนื่องจากสามารถนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรมที่หลากหลาย เช่น โอลีโอเคมี สารซักฟอก อุตสาหกรรมกรดอินทรีย์ อุตสาหกรรมหนังสัตว์ การบริหารจัดการสิ่งแวล้อม เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมน้ำหอม อุตสาหกรรมยาฆ่าแมลง และเชื้อเพลิงชีวภาพ (Rekha *et al.*, 2012) จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส ได้แก่ *Aspergillus niger*, *Bacillus thermoleovorans*, *Burkholderia cepacia*, *Candida antarctica*, *C. cylindracea*, *C. rugosa*, *Chromobacterium viscosum*, *Fusarium heterosporum*, *F. oxysporum*, *Getrichum candidum*, *Humicola lanuginose*, *Oosporalactis lactis*, *Penicillium cyclopium*, *P. roqueforti*, *Pseudomonas aeruginosa*, *P. cepacia*, *P. fluorescens*, *P. putida*, *Rhizomucor miehei*, *Rhizopus arrhizus*, *R. chinensis*, *R. circinans*, *R. delemr*, *R. fusiformis*, *R. japonicas* NR400, *R. oryzae*, *R. stolonifer* NRRL1478, *Rhodotorula rubra*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Staphylococcus hyicus*, *Thermomyces lanuginose* ซึ่งพบว่า *C. antarctica*, *C. rugosa*, *P. cepacia*, *P. fluorescens*, *Rhi. miehei*, *R. chinensis*, *R. oryzae* และ *T. lanuginosa* จุลินทรีย์เหล่านี้มีการผลิตไลเปสที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับปฏิกิริยา ทรานเอสเอสเทอร์-

ฟิเคชัน (Transesterification) (Vasudevan and Briggs, 2008) น้ำมันหรือไขมันที่ปะปนมากับน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมภัตตาคารร้านอาหารบ้านพักอาศัยนับเป็นปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะน้ำเน่าเสียของลำน้ำสาธารณะ เนื่องจากไขมันที่ปะปนออกมานั้นจะเคลือบที่ผิวหน้าของน้ำทิ้งทำให้เกิดความไม่โปร่ง และจะเป็นการปิดกั้นผิวหน้าน้ำไม่ให้อากาศผ่านเข้าไปผสมกับน้ำได้ ซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำการแยกน้ำมันหรือไขมันออกจากน้ำทิ้งสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ การเลือกใช้วิธีการกำจัดไขมันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ปริมาณ สภาพชนิดของน้ำมันหรือไขมัน การกำจัดไขมันด้วยวิธีทางกายภาพเช่น ถังตกไขมันเป็นที่นิยมใช้กันมาก แต่ก็ก่อให้เกิดปัญหาตามมาในเรื่องของกากไขมันที่มาจากกาการแยกไขมันออกจากน้ำทิ้งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ภายหลัง ปัจจุบันระบบบำบัดน้ำทิ้งที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งชุมชนและอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่จะใช้ระบบบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพเป็นระบบที่ใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งทำให้ปริมาณสารต่าง ๆ ลดน้อยลง แต่ในบางครั้งการบำบัดน้ำทิ้งโดยอาศัยจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งเพียงอย่างเดียวก็ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำทิ้งมีสารอินทรีย์หลายชนิด แต่การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความจำเพาะต่อสารอินทรีย์แตกต่างกัน ดังนั้นหากมีการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายน้ำมันหรือไขมันลงไปจะเป็นการช่วยส่งเสริมให้ระบบบำบัดน้ำทิ้งนี้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายน้ำมันหรือไขมันในน้ำทิ้งเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง และได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ (Sombatsomphop *et al.*, 2011) การบำบัดไขมันและน้ำมันด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบันด้วยวิธีการย่อยสลายแบบใช้อากาศ ซึ่งเป็นการอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ผลิตและปลดปล่อยเอนไซม์ไลเปสในการย่อยไขมันและน้ำมันในรูปไตรกลีเซอไรด์ แล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็นกลีเซอรอลกับกรดไขมันที่จุลินทรีย์สามารถดูดซึมเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ผ่านวิถีเบต้าออกซิเดชัน (β -oxidation pathway) เพื่อให้ได้พลังงานออกมาใช้ในการเจริญเติบโต การเลือกใช้จุลินทรีย์กลุ่มยีสต์มีข้อดีหลายประการ คือ ยีสต์มีความสามารถในการรองรับการบำบัดน้ำ

ซึ่งที่มีสารอินทรีย์ความเข้มข้นสูง และองค์ประกอบที่เป็นไขมันและน้ำมันจากอุตสาหกรรมอาหารและอื่น ๆ ได้ โดยสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจะเปลี่ยนไปอยู่รูปชีวมวลของยีสต์ที่มีน้ำหนักเซลล์สูง สามารถตกตะกอนได้เองตามแรงโน้มถ่วง จึงสามารถแยกออกจากน้ำทิ้งได้ง่าย และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อการเป็นอาหารเสริมโปรตีน และวิตามินของสัตว์ได้ (Nonthirach and Puengratsamee, 2011) จากรายงานของ Chigusa *et al.* (1996) ได้คัดแยกยีสต์จากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตน้ำมัน และโรงงานผลิตอาหาร พบว่าสามารถแยกเชื้อยีสต์ได้ 9 ไอโซเลต จากการเจริญบนอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ เมื่อทดสอบความสามารถในการย่อยสลายไขมันในน้ำทิ้งสังเคราะห์ พบว่าเชื้อในรูปผสมสามารถลดปริมาณไขมันได้มากกว่า 94% ภายในเวลา 7 วัน และเมื่อนำเชื้อผสมดังกล่าวมาทดลองศึกษาการย่อยสลายไขมันจากโรงงานผลิตน้ำมันถั่วเหลืองในระดับโรงงานเป็นเวลา 1 ปี พบว่าสามารถลดปริมาณไขมันจาก 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้เหลือเพียง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการคัดเลือกยีสต์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสได้สูงจากน้ำทิ้งโรงงานอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม เพื่อนำมาใช้บำบัดไขมันในน้ำทิ้งและใช้ในการผลิตไบโอดีเซลต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การคัดเลือกเชื้อยีสต์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสขั้นปฐมภูมิ

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อยีสต์ในสูตรอาหาร YM broth (ประกอบด้วย Dextrose 10 กรัมต่อลิตร, Yeast extract 3 กรัมต่อลิตร, Malt extract 5 กรัมต่อลิตร, Peptone 5 กรัมต่อลิตร และน้ำกลั่น 1 ลิตร ปรับ pH เท่ากับ 4 และเติมยาปฏิชีวนะแอมพิซิลิน (ดัดแปลงจาก Thabet *et al.*, 2012) โดยแบ่งใส่ฟลาस्कขนาด 250 มิลลิลิตร (ปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ 90 มิลลิลิตร) เก็บตัวอย่างดินและน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามจำนวน 5 จุด เติมตัวอย่างดิน 10 กรัม และน้ำทิ้ง 10 มิลลิลิตร ลงใน YM broth บ่มบนเครื่องเขย่า อัตราการให้อากาศ 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างหลังการบ่มมา spread บนอาหารเลี้ยงเชื้อ YM agar plate (ประกอบด้วย Yeast extract 3 กรัมต่อลิตร,

Malt extract 5 กรัมต่อลิตร, Peptone 5 กรัมต่อลิตร, Dextrose 10 กรัมต่อลิตร, Agar 20 กรัมต่อลิตร และน้ำกลั่น 1 ลิตร) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการแยกเชื้อเพื่อให้ได้เป็นเชื้อบริสุทธิ์ด้วยเทคนิค Cross streak บน YM agar plate อีกครั้ง บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เก็บโคโลนีเดี่ยว (Single colony) ใน YM agar slant (อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส) เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

2. การคัดเลือกเชื้อยีสต์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสขั้นขั้นทุติยภูมิ

เตรียมหัวเชื้อยีสต์ที่คัดแยกได้ โดยเฉพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ YM broth ปริมาตร 7 มิลลิลิตร บ่มที่เครื่องเขย่าที่มีอัตราการความเร็วรอบการเขย่า 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร (กำหนดค่า OD เริ่มต้นเท่ากับ 1.0) นำกระดาศกรองปลอดเชื้อจุ่มลงเชื้อที่บ่มไว้ แล้วนำไปวางไว้บนจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Tween agar (ประกอบด้วย Tween 80 ปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อลิตร และ agar 25 กรัมต่อลิตร) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เททับด้วยไอโอดีความเข้มข้น 0.1 N บันทึกผลการทดลองโดยการวัดบริเวณใสที่เกิดขึ้น คำนวณความสามารถในการผลิตเอนไซม์ดังนี้ (Supajatturat *et al.*, 2007)

$$\text{ดัชนีเอนไซม์} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางวงใส}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี}}$$

3. การเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างเอนไซม์ไลเปส

3.1 การเตรียมหัวเชื้อยีสต์

เตรียมเชื้อยีสต์ 1 loop ลงในอาหาร YM medium 50 มิลลิลิตร ในฟลาस्कขนาด 250 มิลลิลิตร แล็บบ่มที่เครื่องเขย่าที่มีอัตราการความเร็วรอบการเขย่า 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บ่มเหยียงที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นดึงส่วนใสออกแล้วเติมน้ำกลั่น บ่มเหยียงอีกครั้งเป็นเวลา 10 นาที แล้วเติมน้ำกลั่นอีกครั้ง นำตะกอนที่อยู่ก้นหลอดผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.85% (w/v) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร

(กำหนดค่า OD เริ่มต้น เท่ากับ 1.0) (Nonthirach and Puengratsamee, 2011)

3.2 การทดสอบการย่อยไขมันและการผลิตเอนไซม์ไลเปสในน้ำทิ้งสังเคราะห์

เตรียมน้ำทิ้งสังเคราะห์ (ประกอบด้วย Peptone 0.6 กรัม, Beef extract 0.4 กรัม, Urea 0.1 กรัม, K_2HPO_4 0.1 กรัม, NaCl 0.03 กรัม, $CaCl_2$ 0.014 กรัม, KCl 0.014 กรัม, $MgSO_4$ 0.01 กรัม, น้ำกลั่น 2 ลิตร) นำน้ำเสียสังเคราะห์ 45 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว 5 มิลลิลิตร วัดค่า pH = 7 แล้วเติมหัวเชื้อยีสต์ที่เตรียมในข้อที่ 3.1 จำนวน 5 มิลลิลิตร และทำชุดควบคุมที่มีน้ำทิ้งสังเคราะห์ 90 มิลลิลิตร และน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว 10 มิลลิลิตร แต่ไม่เติมเชื้อยีสต์ บ่มเชื้อบนเครื่องเขย่าที่มีอัตราความเร็วรอบการเขย่า 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างทุก ๆ 0, 24, 48 และ 96 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์เอนไซม์ไลเปสและน้ำหนักรีดไขมัน (Wattanaying *et al.*, n.d.)

3.3 การทดสอบการย่อยไขมันและการผลิตเอนไซม์ไลเปสในน้ำทิ้งจริง

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามปริมาตร 150 มิลลิลิตร วัดค่า pH และอุณหภูมิ เติมหัวเชื้อยีสต์จำนวน 15 มิลลิลิตร และทำชุดควบคุมที่มีน้ำทิ้ง 150 มิลลิลิตร (ไม่เติมเชื้อยีสต์) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แล้วเก็บตัวอย่างทุก ๆ 0, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไขมันที่เหลือน้ำหนักรีดไขมัน และกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส

4. การวิเคราะห์

4.1 การวิเคราะห์กิจกรรมไลเปส

ตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีสับสเตรทปริมาตร 2 มิลลิลิตร (เตรียมน้ำทิ้งโดยใช้นาโตรฟีนิลปาล์มมิเตท 0.03 กรัม ละลายในไดโพรพานอล 10 มิลลิลิตร และโซเดียมดีออกซีโคเลต 0.207 กรัม ผสมกับกัมมอราบิค 0.1 กรัม ละลายในทริสไฮโดรคลอไรด์บัฟเฟอร์ 50 มิลลิโมลาร์ (pH = 8) ปริมาตร 90 มิลลิลิตร) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หยุดปฏิกิริยาด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 0.9 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,500

รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงมาเติมโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณจากสูตรที่ได้จากกราฟมาตรฐานของนาโตรฟีนิลปาล์มมิเตท กำหนดให้ไลเปส 1 ยูนิต หมายถึง ปริมาณของไลเปสที่สามารถผลิตได้ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10 นาที และ pH = 8 (Thabet *et al.*, 2012)

4.2 การวิเคราะห์น้ำหนักรีดไขมัน

ตัวอย่าง (ตะกอน) ลงในภาชนะออลูมิเนียมฟอยล์ที่อบแล้วที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อคำนวณหาปริมาณไขมันของตัวอย่างที่แท้จริงโดยใช้สมการ ดังนี้ (Thabet *et al.*, 2012)

$$\text{น้ำหนักรีดไขมันที่แท้จริง (กรัม)} = (\text{น้ำหนักรีดไขมันก่อนอบ} - \text{น้ำหนักรีดไขมันหลังอบ}) - (\text{น้ำหนักรีดไขมันก่อนอบ} - \text{น้ำหนักรีดไขมันหลังอบ})$$

4.3 การวิเคราะห์ไขมันที่เหลือและประสิทธิภาพการย่อยน้ำทิ้งที่มีไขมัน

วิเคราะห์ไขมันที่เหลือในน้ำทิ้งตามวิธีของ APHA, AWWA, WEF, (2012) เพื่อคำนวณปริมาณไขมันที่ถูกย่อยและประสิทธิภาพในการย่อยไขมันจากเชื้อยีสต์ที่คัดเลือกได้ ประสิทธิภาพในการย่อยไขมันคำนวณได้จากความสามารถในการย่อยไขมันของยีสต์ คำนวณได้จาก

$$At = \{(Bt/B0) - (Ct/C0)\} \times 100$$

เมื่อ At = ความสามารถในการย่อยไขมันของยีสต์ที่เวลาใด ๆ (%)

B0 = ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นไขมันในชุดทดสอบเริ่มต้น (มิลลิเมตร)

Bt = ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นไขมันที่หายไปในช่วงทดสอบที่เวลาใด ๆ (มิลลิเมตร)

C0 = ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นไขมันในชุดควบคุมเริ่มต้น (มิลลิเมตร)

Ct = ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นไขมันที่หายไปในช่วงควบคุมที่เวลาใด ๆ (มิลลิเมตร)

Source: (Jitpirom and Sangaroon, 2012)

5. การผลิตไบโอดีเซล

ดำเนินการผลิตไบโอดีเซลตามคำแนะนำจาก Hongpattarakeeree and Chiensin (2005) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

5.1 การเตรียมเซลล์ยีสต์

เชื้อยีสต์ที่คัดเลือกได้เพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ YM broth ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยใช้ไขมันปาล์ม ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 1% (v/v) เป็นสับสเตรท บ่มบนเครื่องเขย่าต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นับเซลล์ยีสต์ด้วย Haemocytometer (กำหนดความเข้มข้นเชื้อสุดท้ายเท่ากับ 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ถ่ายเชื้อลงในอาหารชนิดเดิม ปริมาตร 200 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าต่อเนื่อง อัตราการให้อากาศ 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นับเซลล์ยีสต์อีกครั้ง (กำหนดความเข้มข้นเชื้อสุดท้ายเท่ากับ 1×10^{10} เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ดูดส่วนใส่ออกให้หมด แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้งเป็นเวลา 2 นาที ดูดส่วนใส่ออก และนำเซลล์ที่ได้ไปใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อสกัดกรดไขมันออกจากตัวอย่างต่อไป

5.2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาสaponification) ปริมาตร 0.5 กรัม ผสมกับเมทานอลปริมาตร 0.054 กรัม (อัตราส่วน 1:3 โมล) รวม 0.554 กรัม เติมนลงใน Microcentrifuge tube ขนาด 2 มิลลิลิตร ที่มีเซลล์ยีสต์เข้มข้น 1×10^{10} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจนกระทั่งเซลล์กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิห้องบนเครื่องเขย่าที่มีอัตราความเร็วรอบการเขย่า 150 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างทุก ๆ 0, 12, 24, 36, 48, 60 และ 72 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography-mass spectrometer (GCMS-QP2010 Shimadzu, Japan)

5.3 วิเคราะห์หาเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี-แมส สเปกโตรมิเตอร์

ทำกราฟมาตรฐานของเมทิลเอสเทอร์มาตรฐานโดยการชั่งน้ำหนักที่แน่นอนนำมาเปรียบเทียบกับเมทิลเอสเทอร์

ที่ผลิตได้ในข้อ 5.2 โดยนำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพด้วยเครื่อง Gas Chromatography-mass spectrometer (GCMS-QP2010 Shimadzu, Japan) โดยใช้คอลัมน์ชนิด Select Biodiesel for Flame, length 30 m., 320 μ m ID, 0.25 μ m film thickness สภาวะที่ใช้ คือ ที่อัตราไหลของแก๊สพาเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที สภาวะตู้อบมีอุณหภูมิเริ่มต้น 210 องศาเซลเซียส คงที่ 12 นาที และเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส คงที่ 8 นาที ตรวจวัดสัญญาณของสารด้วยตัวตรวจวัดชนิด Electron Ionization ผลการทดลองคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟของ peak ซึ่งนำมาหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในตัวอย่างได้ โดยการเทียบจากพื้นที่ใต้กราฟของ peak เมทิลเอสเทอร์มาตรฐานที่ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนในแต่ละความเข้มข้น (Samniang *et al.*, 2014)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการวิจัย

1.1 ผลการคัดเลือกเชื้อยีสต์ที่ผลิตเอโนไซม์ไลเปสชั้นปฐมภูมิ

การคัดแยกยีสต์จากตัวอย่างดินและน้ำที่เก็บจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามบริเวณที่แตกต่างกันจำนวน 5 จุดสามารถคัดแยกยีสต์จำนวนทั้งหมด 74 ไอโซเลต สันฐานวิทยาของเชื้อยีสต์จากน้ำทิ้งและดินที่น้ำทิ้งไหลผ่านโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามพบว่าเชื้อยีสต์มีลักษณะของโคโลนี และรูปร่างเซลล์ที่ต่างกันทั้งหมด 74 ไอโซเลต โดยยีสต์ที่คัดแยกได้ส่วนใหญ่มีรูปแบบโคโลนีกลม (Circular) นูนตรงกลางเล็กน้อย (Undulate) ขอบเรียบ (Entire) สีครีม (Cream) ผิวมีลักษณะเรียบ (Smooth) ความโปร่งแสงเป็นแบบไม่สะท้อนแสง (Dull) และมีรูปร่างเซลล์แบบกลมรี (Ellipsoidal)

1.2 ผลการศึกษาการคัดเลือกเชื้อยีสต์ที่ผลิตเอโนไซม์ไลเปสชั้นทุติยภูมิ

คัดเลือกเชื้อยีสต์ที่มีความสามารถผลิตเอโนไซม์ไลเปส โดยพิจารณาจากความสามารถในการสร้างวงใส บนอาหารสูตร Tween agar (Fig. 1)

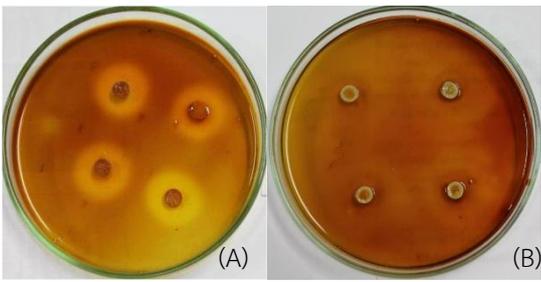


Fig. 1 Clear zone on Tween agar plate (A) lipase producing yeast (B) non-lipase producing yeast

Table 1 Clear zone of lipase producing yeasts

No.	Isolate	Colony size (mm.)	Diameters of clear zone (mm.)	Colony size/diameters of clear zone (mm.)
1	CTWY29	7	19	12
2	CTWY11	5	13	8
3	CTWY02	8	14	6
4	CTWY63	8	13	5
	CTWY51	7	12	5
	CTWY65	7	12	5
	CTWY35	9	14	5
5	CTWY34	7	11	4
	CTWY61	8	12	4
	CTWY49	7	11	4
6	CTWY09	11	14	3
7	CTWY16	9	10	1

จาก Table 1 แสดงให้เห็นว่าเชื้อยีสต์ที่มีความสามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสจำนวน 12 ไอโซเลตจากยีสต์ทั้งหมด 74 ไอโซเลต โดยไอโซเลตที่สามารถผลิตวงใสได้กว้างสูงสุด 3 อันดับแรก คือ รหัส CTWY29, CTWY11 และ CTWY02 มีค่าเท่ากับ 12, 8 และ 6 ตามลำดับ

ยีสต์ที่คัดเลือกได้ทั้ง 3 ไอโซเลตมีรูปแบบสัณฐานวิทยาของโคโลนีบนอาหารแข็งและรูปร่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่แตกต่างกัน ดังนี้

CTWY02 – รูปร่างเซลล์แบบกลมรี ลักษณะโคโลนีขอบเรียบ เนื้อโคโลนีเรียบ นูนตรงกลางเล็กน้อย สีครีม และมีความโปร่งแสง

CTWY11 – รูปร่างเซลล์แบบกลมรี ลักษณะโคโลนีขอบเรียบ เนื้อโคโลนีเรียบ นูนตรงกลางเล็กน้อย สีครีม และไม่สะท้อนแสง

CTWY29 – รูปร่างเซลล์แบบกลมรี ลักษณะโคโลนีขอบเรียบ เนื้อโคโลนีเรียบ นูนตรงกลางเล็กน้อย สีครีม และมีความโปร่งแสง

ลักษณะของสัณฐานวิทยาระหว่างเชื้อยีสต์รหัส CTWY02 และ CTWY29 จะไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ แต่ขนาดของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่า มีความแตกต่าง เนื่องจากยีสต์รหัส CTWY02 มีขนาดของเซลล์ใหญ่กว่า CTWY29 (Fig. 2)

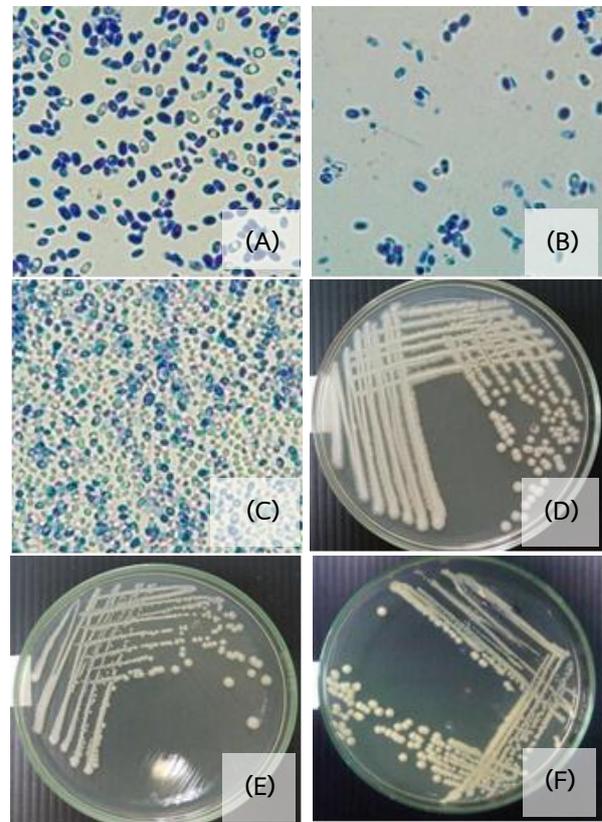


Fig. 2 Cell shape of yeasts under microscope (1000X) (A-C) and colony characteristics on YM agar plate (D-F) of CTWY02, CTWY11 and CTWY29

1.3 การย่อน้ำทิ้งที่มีไขมัน

1) ผลการวิเคราะห์เอนไซม์ไลเปสและน้ำหนักแห้งของเซลล์ยีสต์ในน้ำทิ้งสังเคราะห์

ยีสต์ที่คัดเลือกได้ได้แก่ รหัส CTWY02, CTWY11 และ CTWY29 ที่มีการผลิตวงใสสูงสุด 3 อันดับแรก เปรียบเทียบความสามารถในการผลิตไลเปสในน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วเป็นแหล่งคาร์บอนกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสและน้ำหนักแห้ง (Fig. 3)

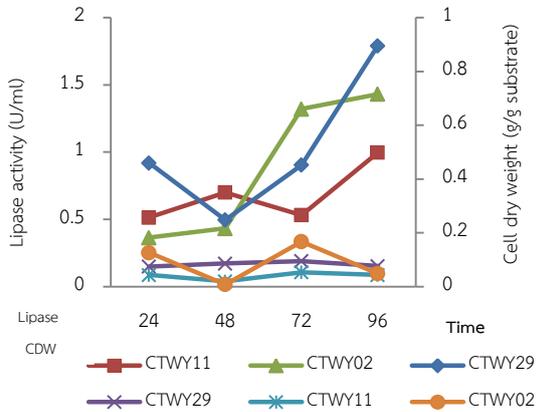


Fig. 3 Lipase activity and cell dry weight of selected yeasts in synthetic waste water

จากผลการทดลอง Fig. 3 ความสามารถในการสร้างกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสในน้ำทิ้งสังเคราะห์ พบว่าเชื้อรหัส CTWY29 มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการสร้างกิจกรรมไลเปส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.43 ยูนิตต่อมิลลิลิตร (ชั่วโมงที่ 96) รองลงมาคือ CTWY11 และ CTWY02 เท่ากับ 0.99 และ 0.89 ยูนิตต่อมิลลิลิตร (ชั่วโมงที่ 96) ตามลำดับเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของเอนไซม์และน้ำหนักแห้งพบว่าสอดคล้องกัน โดยเชื้อรหัส CTW29 มีน้ำหนักแห้งมากที่สุดเท่ากับ 0.16 (ชั่วโมงที่ 72) รองลงมา คือ CTW02 เท่ากับ 0.09 (ชั่วโมงที่ 72) และ CTW11 เท่ากับ 0.05 (ชั่วโมงที่ 72)

2) ผลการวิเคราะห์เอนไซม์ไลเปสและน้ำหนักแห้งของเซลล์ยีสต์ในน้ำทิ้งจริง

จากการคัดเลือกเชื้อยีสต์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสชั้นทุติยภูมิ ได้เชื้อยีสต์รหัส CTWY29, CTWY11 และ CTWY02 ที่มีการผลิตวงใสสูงสุด 3 อันดับแรก มาวิเคราะห์กิจกรรมไลเปสในโดยหมักเชื้อในน้ำเสียจริงผลการทดลองดังแสดงใน Fig. 4

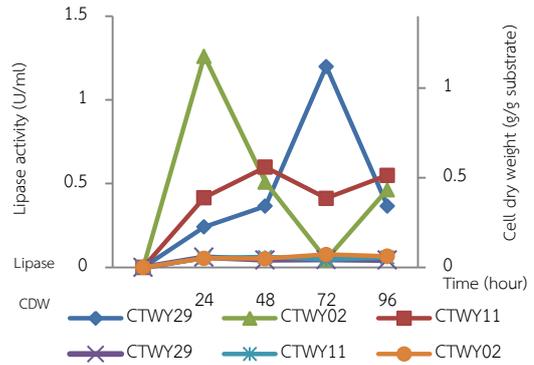


Fig. 4 Lipase activity and cell dry weight of selected yeasts in canteen waste water

จากผลการทดลองใน Fig. 4 ความสามารถในการสร้างกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสในน้ำทิ้งจริง พบว่าเชื้อรหัส CTWY29 มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการสร้างกิจกรรมไลเปส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.26 ยูนิตต่อมิลลิลิตร (ชั่วโมงที่ 24) รองลงมาคือ CTWY02 และ CTWY11 เท่ากับ 1.20 และ 0.55 ยูนิตต่อมิลลิลิตร (ชั่วโมงที่ 72 และ 48) ตามลำดับเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของเอนไซม์และน้ำหนักแห้งพบว่าสอดคล้องกันโดยเชื้อรหัส CTW29 มีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุด เท่ากับ 0.07 (ชั่วโมงที่ 72) รองลงมาคือ CTW02 เท่ากับ 0.05 (ชั่วโมงที่ 24) และ CTW11 เท่ากับ 0.05 (ชั่วโมงที่ 48)

1.4 ผลการวิเคราะห์ไขมันที่เหลือและประสิทธิภาพการย่อยไขมันในน้ำทิ้ง

ในการย่อยไขมันในน้ำทิ้งจริง โดยยีสต์รหัส CTWY02, CTWY11 และ CTWY29 ในชั่วโมงที่ 96 วิเคราะห์ปริมาณไขมันที่เหลือตามวิธีของ APHA, AWWA, WEF, (2012) ผลแสดงใน Table 2

Table 2 Lipid content and lipid efficiency of digestion of waste water

Isolate	Lipid content (mg/L)	Lipid efficiency of digestion (%)
CTWY 02	14.54	23.63
CTWY 11	10.31	45.85
CTWY 29	5.20	72.69

ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยไขมันในน้ำทิ้งจริง (โรงอาหารของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม) ซึ่งมีปริมาณไขมันเท่ากับ 19.04 มิลลิกรัมต่อลิตร (Table 2) พบว่า รหัส CTWY29 มีประสิทธิภาพในการย่อยไขมันสูงสุดที่ 72.69% (ปริมาณไขมันที่เหลือเท่ากับ 5.20 มิลลิกรัมต่อลิตร) รองลงมาได้แก่ เชื้อรหัส CTWY11 และ CTWY02 ซึ่งมีปริมาณไขมันที่เหลือเท่ากับ 10.31 และ 14.54 ตามลำดับ จากผลการทดลองในข้อ ที่ 1.4 ให้ผลที่สอดคล้องกับปริมาณไขมันที่เหลือเนื่องจากพบว่า เชื้อรหัส CTWY29 มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสสูงสุด ซึ่งทำให้สามารถย่อยไขมันในน้ำทิ้งอย่างมีประสิทธิภาพ (72.69%) จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสมีทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา และในปัจจุบันในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มีการนำยีสต์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสมาใช้กันอย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมอาหาร สารซักฟอก ยารักษาโรค เครื่องสำอาง สิ่งทอ ฯลฯ เนื่องจากยีสต์เป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงได้ง่ายและเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้เอนไซม์ไลเปสที่ยีสต์ผลิตได้มีค่ากิจกรรมเอนไซม์ที่สูง (Nuilert, 2013) โดยในการย่อยไขมัน (ไตรกลีเซอไรด์) จะได้กรดไขมันและกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ แต่อาจจะพบ ไตรกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์เป็นสารตัวกลางในปฏิกิริยา

1.5 ผลการผลิตไบโอดีเซล

ในทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เซลล์ยีสต์รหัสเชื้อ CTWY02, CTWY11 และ CTWY29 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ผลการทดลองแสดงใน Fig. 5

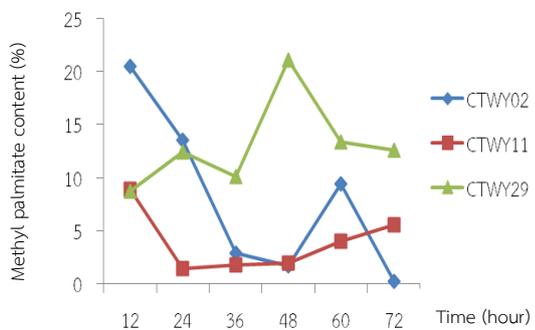


Fig. 5 Methyl palmitate content of CTWY02, CTWY11 andCTWY29

จากผลการทดลองใน Fig. 5 แสดงปริมาณเมทิลปาล์มมิเตท (Methyl palmitate) พบว่า เชื้อรหัส CTWY29 มีปริมาณเมทิลปาล์มมิเตทสูงที่สุดเท่ากับ 21.07% (ชั่วโมงที่ 48) รองลงมาคือ CTWY02 และ CTWY11 เท่ากับ 20.46 % และ 8.19 % (ชั่วโมงที่12) ตามลำดับ

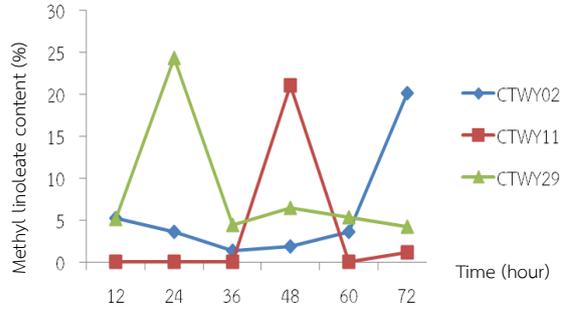


Fig. 6 Methyl linoleate content of CTWY02, CTWY11 and CTWY29

จากผลการทดลองใน Fig. 6 แสดงปริมาณเมทิลลิโนเลอเททพบว่า เชื้อรหัส CTWY29 มีปริมาณเมทิลลิโนเลอเททสูงที่สุดเท่ากับ 24.28% (ชั่วโมงที่ 24) รองลงมา คือ CTWY11 และ CTWY02 เท่ากับ 21.05% และ 20.11% (ชั่วโมงที่ 48 และ 72) ตามลำดับ

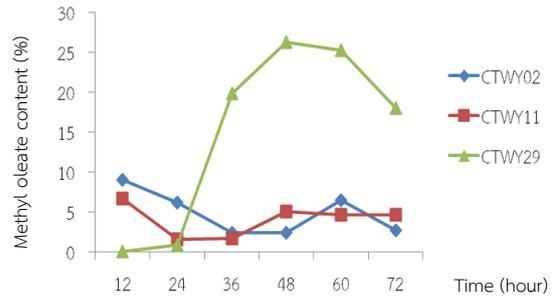


Fig. 7 Methyl oleate content of CTWY02, CTWY11 and CTWY29

จากผลการทดลองใน Fig. 7 แสดงปริมาณเมทิลโอเลอเททพบว่า เชื้อรหัส CTWY29 มีปริมาณเมทิลโอเลอเททสูงที่สุดเท่ากับ 26.05% (ชั่วโมงที่ 48) รองลงมาคือ CTWY02

และ CTWY11 เท่ากับ 9.30% และ 6.67% (ชั่วโมงที่12) ตามลำดับ

2. วิจารณ์ผลการวิจัย

การสร้างเอนไซม์ไลเปสของยีสต์ที่คัดเลือกจากการทดลองพบว่า กิจกรรมของเอนไซม์สูงสุดที่ชั่วโมงที่ 24 โดยค่ากิจกรรมของเอนไซม์สูงสุดวัดได้ระหว่างที่ยีสต์มีการเจริญเข้าสู่ระยะ Stationary phase เนื่องจากพบว่าระยะนี้เป็นระยะหลังจากที่เชื้อมีการใช้สารอาหารอย่างเต็มที่เพื่อเกิดการเจริญสูงสุด และเริ่มมีการผลิตสารเมแทบอไลต์ปฐมภูมิซึ่งเป็นสารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของยีสต์ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ได้แก่ กรดอะมิโน นิวคลีโอไทด์ แอลกอฮอล์ แอซิโตนบิวทานอล และพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นต้น รวมทั้งการผลิตเอนไซม์ไลเปสซึ่งเกิดได้ดีในระยะนี้ โดยที่ชีวมวลเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ (อัตราการเกิดและอัตราการตายสมดุลกัน) ซึ่งปริมาณการผลิตของสารประเภทนี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเติบโตของจุลินทรีย์กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสในน้ำที่สังเคราะห์มีค่าสูงกว่าน้ำที่จริงเนื่องจากในน้ำที่สังเคราะห์มีการควบคุมแหล่งของไขมันเพียงชนิดเดียวคือ น้ำมันปาล์มและแหล่งของสารอื่น ๆ ที่ส่งเสริมการเจริญของยีสต์ ในขณะที่น้ำที่จริงมีแหล่งของไขมันที่หลากหลาย เช่น น้ำมันปาล์มหรือน้ำมันถั่วเหลือง รวมถึงสารอื่น ๆ สารประกอบของเกลือโซเดียม หรือ Cocamidopropyl betaine (CAPB) ในน้ำยาล้างจาน และโปรตีนซึ่งมีผลต่อการย่อยไขมันและการเจริญของยีสต์จากรายงานการวิจัยของ Nonthirach and Puengratsamee (2011) บำบัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีววิทยาโดยอาศัยจุลินทรีย์กลุ่มยีสต์ ได้แก่ *Candida maltose*, *C. tropicalis* และ *Yarrowia lipolytica* พบประสิทธิภาพในการบำบัดไขมันและน้ำมันเท่ากับ 53, 51 และ 82% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า *Y. lipolytica* เป็นยีสต์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย และ Supachatturat et al. (2007) คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสจากตะกอนเร่งของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและโรงงานน้ำมันพืช สามารถแยกเชื้อยีสต์ 5 ไอโซเลต และแบคทีเรีย 1 ไอโซเลต การศึกษาความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสและประสิทธิภาพในการกำจัดไขมัน พบว่า ยีสต์ไอโซเลต

SSB-12 มีความสามารถของการผลิตเอนไซม์ไลเปสและประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันมากที่สุด เท่ากับ 98.5 ยูนิต์ต่อมิลลิลิตร และ 85.76% ตามลำดับ

จากการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยยีสต์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสที่คัดเลือกได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 สายพันธุ์ พบเมทิลเอสเทอร์ที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ เมทิลปาล์มมิเตท เมทิลลิโนเลเอท และเมทิลโอเลเอท (Fig. 5, 6 และ 7) ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ต่างชนิดกันจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันพืชเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ ที่มีกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ถึง 94-96% ของน้ำหนักโมเลกุล ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันมีคุณสมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพเป็นไปตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นเมื่อน้ำมันพืชชนิดนั้น ๆ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะมีสัดส่วนของชนิดเมทิลเอสเทอร์ตามชนิดกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบนั้น ๆ จากรายงานของ Hongpattarakeeree and Chiensin (2005) พบว่า กรดไขมันปาล์มมิติก และโอเลอิกเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันปาล์ม คือ มีอยู่ถึง 36.50 และ 43.68% ตามลำดับ ดังนั้นเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันจึงเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันปาล์มมิติกและโอเลอิกเป็นส่วนใหญ่

สรุปผลการวิจัย

จากการคัดแยกยีสต์จากตัวอย่างน้ำทิ้งโรงอาหารพบเชื้อยีสต์รหัส CTWY29 สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสสูงสุดเท่ากับ 1.26 ยูนิต์ต่อมิลลิลิตร และมีประสิทธิภาพในการย่อยไขมันเท่ากับ 72.69% ที่เวลา 96 ชั่วโมง การผลิตไบโอดีเซลจากยีสต์ที่มีความสามารถสร้างเอนไซม์ไลเปส ตรวจพบไบโอดีเซล (ในรูปของเมทิลเอสเทอร์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล) ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ เมทิลปาล์มมิเตท เมทิลลิโนเลเอท และเมทิลโอเลเอท โดยเชื้อยีสต์รหัส CTWY29 ให้ปริมาณของไบโอดีเซลชนิดเมทิลโอเลเอทสูงสุดเท่ากับ 26.25% (ชั่วโมงที่ 48) แสดงให้เห็นว่า สามารถนำเซลล์ยีสต์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสมาประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลได้ปัจจุบันนักวิจัยมุ่งความสนใจสู่การค้นคว้าวิจัยตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพซึ่งมีข้อดีเหนือตัวเร่ง

ปฏิกิริยาทางเคมีหลายประการ ตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ (Biocatalyst) เช่น ไลเปส เป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่พบได้ในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ โดยเฉพาะจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย รา และยีสต์ การผลิตไบโอดีเซลโดยตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพนับเป็นกระบวนการใหม่ที่สนใจอย่างยิ่ง วิธีการนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่ต้องใช้พลังงานมากมาย เนื่องจากเกิดขึ้นในสภาวะอุณหภูมิปกติทั่วไป ส่วนกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันไม่สร้างปัญหาใด ๆ ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลกลีเซอรินซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเกิดขึ้นจะอยู่ในรูปเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ จึงสามารถแยกออกมาจากไบโอดีเซลได้ง่ายและสามารถใช้ประโยชน์ต่อไป

โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการผลิตโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยนักศึกษาระดับอุดมศึกษา สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2557 ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

References

APHA, AWWA, WEF. 2012. Standard methods for examination of water and wastewater. 22nd edition: American Public Health Association. . Washington. pp.1360.

Chigusa, S., Hasegawa, T., Yamamoto, N. and Watanabe, Y. 1996 Treatment of waste water from oil manufacturing plant by yeasts. Wat. Sci. Tech. 34(11): 51-58.

Hongpattarakeeree, T. and Chiensin, B. 2005. Selection of lipase producing yeast and applied for biodiesel from palm oils. Project under Songklanakarin University. (in Thai)

Jitpirom, K. and Sangaroon, P. 2012. Detection of lipolytic bacteria from environment samples. J. Public Health. 47(2). 3-18. (in Thai)

Nonthirach, A. and Puengratsamee, V. 2011. Waste water treatment with fat composition and lipid by yeasts. Journal of environmental management. 7(2): 1-9. (in Thai)

Nuilert, M. 2013. Lipase production by *Rhodotorula mucilagenosa* and cell for biodiesel production by palm oils. Department of Biotechnology, Songklanakarin University: Songkla. pp. 39-72. (in Thai)

Peppler, H.J. and Perlmem, D. 1976. Fermentation technology. In: Microbial Technology. 2nd edition. Academic Press: Massachusetts. pp. 211-222.

Rekha, C., Poornima, G., Manasa, M., Abhipsa, V., Devi, P.J., Kumar, V.H.T. and Kekuda, T.R.P. 2012. Ascorbic acid, total phenol content and antioxidant activity of fresh juices of four ripe and unripe citrus fruits. Chem. Sci. Trans. 1(2): 303-310.

Samniang, A., Tipachan, C. and Kajorncheappun-ngam, S. 2014. Comparison of biodiesel production from crude Jatropha oil and Krating oil by supercritical methanol transesterification. Renewable Energy. 68. 351-355. (in Thai)

Sombatsomphop, K., Prakansamut, A. and Wittayawiroj, N. 2011. Comparative studies on microorganism efficiency for canteen wastewater treatment in King Mongkut's University of Technology North Bangkok. The Journal of KMUTNB. 21(1): 72-79. (In Thai)

- Supachatturat, S., Kanlayakrit, W., Vanichsiratana, W. and Bhuwapathanapun, S. 2007. Screening of high lipase producing microorganisms from sludge of food industry, Department of Biotechnology, Faculty of Agricultural industry, Kasetsart University: Bangkok. pp. 712-718. (in Thai)
- Thabet, H.M., Pasha, C., Ahmed, Md.M. and Linga, V.R. 2012. Isolation of novel lipase producing *Sporobolomyces salmonicolor* OVS8 from oil mill spillage and enhancement of lipase production. Jordan J. Biol. Sci. 5(4): 301-306.
- Vasudevan, P.T. and Briggs, M. 2008. Biodiesel production current state of the art and challenges. J. Ind. Microbiol. Biotech. 35: 421-430.
- Wattanaying, P., Mingratakul, S. and Akkarapol, S. n.d. Comparison of efficiency on lipid and fat removal in waste water by microorganism. Project of Bodindecha School (Sing Singhasenee), Nonthaburi. (in Thai)

การอบแห้งรังไหมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสม :
 จลนพลศาสตร์การอบแห้ง สมรรถนะเครื่องอบแห้ง และสมบัติเชิงกลของเส้นไหมดิบ

กลยุทธ ดิจริง* และ เอกสิทธิ์ สุทธะพินทุ

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จ. มหาสารคาม 44000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการอบแห้งรังไหมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสม ซึ่งจะพิจารณาจลนพลศาสตร์การอบแห้ง สมรรถนะเครื่องอบแห้งของการอบแห้งรังไหม และสมบัติเชิงกลของเส้นไหมดิบ เครื่องอบแห้งมีส่วนประกอบหลักคือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นร่องรูปตัววี ห้องอบแห้ง และพัดลมใช้บังคับอากาศให้ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์และห้องอบแห้ง ทำการทดลองอบแห้งรังไหมจำนวน 5 kg จากความชื้นรังไหมเริ่มต้นประมาณ 220 %db จนเหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 10 %db ผลการทดลองด้านจลนพลศาสตร์การอบแห้ง พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Midilli Kucuk มีความเหมาะสมในการทำนายการอบแห้ง ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเท่ากับ $9.54 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ด้านสมรรถนะเครื่องอบแห้ง พบว่า ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ประสิทธิภาพการอบแห้ง และประสิทธิภาพรวมของการอบแห้ง เท่ากับ 37.37, 12.01 และ 8.85 % ตามลำดับ ผลการทดสอบสาวไหม พบว่า รังไหมอบแห้งมีเปอร์เซ็นต์การสาวง่ายสูงกว่ารังไหมสด และขนาดเส้นไหมดิบมีค่ามากกว่าเส้นไหมที่สาวได้จากรังไหมสด นอกจากนี้ ค่าความเหนียวและการยืดตัวของเส้นไหมดิบจากรังไหมอบแห้ง มีค่าสูงกว่าเส้นไหมดิบจากรังไหมสด ($p < 0.05$) ดังนั้นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการอบแห้งรังไหมได้

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จลนพลศาสตร์การอบแห้ง รังไหม เส้นไหมดิบ และ สมบัติเชิงกล

*ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: konlatikdee@gmail.com

Cocoon Drying in a Mixed-Mode Solar Dryer : The Drying Kinetics, Dryer Performance and Mechanical Properties of Raw Silk

Konlayut Deejing* and Aekasit Sutthapintu

*Program of Physics, Faculty of Science and Technology,
Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham 44000, Thailand.*

Abstract

The purpose of this research was to study the process of drying cocoon by mixed-mode solar dryer by considering the drying kinetics, performance of the dryer for drying cocoon and mechanical properties of raw silk. The dryer mainly consists of a v-corrugated plate solar collector, drying chamber and a blower was used to force the air throughout the solar collector and the drying chamber. The experiment was done by drying 5 kg of cocoons, with the initial moisture content of 220 %db to the final moisture content of 10 %db. The results from drying kinetics experiment showed that the Midilli Kucuk model was the appropriate model for the prediction of drying process. The moisture diffusion coefficient was $9.54 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. The performance of dryer showed the collector efficiency, drying efficiency and overall drying efficiency of 37.37%, 12.01% and 8.85%, respectively. Also, the experiment of reeling showed that the reelability percentage of dried cocoons were more than that of fresh cocoons and the size of raw silk were more than the silk reeling from fresh cocoon. Besides this, the tenacity and elongation of raw silk from dry cocoon were more than that of raw silk that from fresh cocoon ($p < 0.05$). Therefore, the mixed-mode solar dryer was found as one of the alternatives for cocoon drying.

Keywords: Solar dryer, Drying kinetics, Cocoon, Raw silk, Mechanical property

*Corresponding author: E-mail: konlatikdee@gmail.com

บทนำ

เส้นไหมเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการทอผ้าไหมของไทย เส้นไหมดิบเป็นเส้นใยโปรตีนประกอบด้วย เส้นใยไฟโบริน ประมาณ 75% และเซรีซิน 25% (Jiang *et al.*, 2006) เส้นไหมได้จากการนำรังไหมมาสาวด้วยพวงสาวไหมพื้นบ้าน ซึ่งเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่สืบทอดกันมา ก่อนทำการสาวไหม ต้องทำการคัดเลือกรังไหมเพื่อให้ได้เส้นไหมที่มีขนาดสม่ำเสมอ ซึ่งประเภทของรังไหมที่ไม่นำมาสาวเช่น รังแฝด รังหลวม รังเป็นเชื้อรา และรังเจาะ เป็นต้น รังไหมที่เป็นเชื้อราเกิดจากการอบรังไหมไม่สมบูรณ์ หรือเก็บรังไหมในสถานที่ที่มีความชื้นสูง ส่วนรังเจาะเกิดจากหนอนแมลงวันลายเจริญเติบโตอยู่ภายในแล้วเจาะรัง และสาเหตุหนึ่งเกิดจากเกษตรกรไม่สามารถนำรังไหมที่ผลิตได้จำนวนมากไปสาวไหมให้เสร็จก่อนที่ดักแด้ในรังไหมกลายเป็นผีเสื้อ และเจาะรังไหมเป็นผลให้เส้นไหมขาด จากปัญหาที่เกษตรกรประสบในกระบวนการผลิตเส้นไหมดังกล่าว เกษตรกรจึงนำรังไหมมาตากแดด โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ดักแด้ในรังไหมตายเป็นการป้องกันการเจาะรังไหมและสามารถเก็บรังไหมไว้ได้นานโดยไม่เกิดเชื้อราหรือเน่าเสีย แต่วิธีตากแดดมีข้อด้อยคือ ใช้เวลาอบแห้งนาน เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Rabha *et al.*, 2017)

ปัจจุบันระบบการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถูกออกแบบ พัฒนา และทดสอบ เพื่อเป็นทางเลือกของการอบแห้ง ซึ่งระบบการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีหลายลักษณะเช่น แบบเรือนกระจก รั้งรังสีอาทิตย์โดยตรง รั้งรังสีอาทิตย์โดยอ้อม และรั้งรังสีอาทิตย์แบบผสม (Tripathy and Kumar, 2009) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรั้งรังสีอาทิตย์แบบผสม นำหลักการของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรั้งรังสีอาทิตย์โดยตรง และแบบรั้งรังสีอาทิตย์โดยอ้อมมาประยุกต์รวมกันคือ ห้องอบแห้งมีส่วนทำด้วยวัสดุโปร่งใสเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์โดยตรง และมีแผงรั้งรังสีอาทิตย์ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอาทิตย์เพื่อสร้างความร้อนให้แก่อากาศสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ภายในห้องอบแห้ง (Eltawil *et al.*, 2018; Forson *et al.*, 2007) จากการศึกษาของ Elkhadraoui *et al.* (2015) พบว่าการอบแห้งพริก และองุ่น ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรั้งรังสีอาทิตย์แบบผสมใช้ระยะเวลาอบแห้งที่สั้นกว่าการตากแดดเท่ากับ 7 ชั่วโมง และ 17 ชั่วโมง ตามลำดับ Dejchanchaiwong *et al.* (2016) ศึกษาการอบแห้งยางธรรมชาติด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรั้งรังสีอาทิตย์แบบผสม ซึ่งสามารถลดเวลาการอบแห้งได้ 4 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับแบบรั้งรังสีอาทิตย์โดยอ้อม เมื่อพิจารณากระบวนการไหลเวียนอากาศภายใน

เครื่องอบแห้งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติและแบบบังคับ ระบบการไหลเวียนอากาศแบบบังคับจะช่วยเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องอบแห้ง (Jareanjit, 2012) จากการศึกษาของ Sallam *et al.* (2015) การอบแห้งใบสะระแหน่ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบการไหลเวียนอากาศแบบบังคับมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการอบแห้งรังไหมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรั้งรังสีอาทิตย์แบบผสมระบบการไหลเวียนอากาศแบบบังคับ ที่มีต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง สมรรถนะเครื่องอบแห้ง และคุณภาพของเส้นไหม เพื่อเป็นแนวทางการเพิ่มศักยภาพในกระบวนการผลิตเส้นไหมในระดับวิสาหกิจชุมชน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

คัดเลือกรังไหมพันธุ์เหลืองไฟโรจนที่มีความสมบูรณ์ได้แก่ ไม่เป็นรังเจาะ รังบุง และรังเปื้อน เป็นต้น เก็บรังไหมไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อลดอุณหภูมิภายในรังไหม และช่วยลดการเน่าเสียของรังไหม

2. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรั้งรังสีอาทิตย์แบบผสม มีส่วนประกอบหลักคือ ห้องอบแห้งขนาดกว้าง 1.0 m ยาว 2.8 m และสูง 0.1 m ด้านบนปิดด้วยกระจกใสหนา 5 mm ภาตบรรจุผลิตภัณฑ์ทำด้วยตะแกรงสแตนเลสขนาดกว้าง 0.45 m ยาว 1.0 m จำนวน 6 ภาต ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นร่องรูปตัววี พื้นที่เท่ากับ 1.8 m² ด้านบนปิดด้วยกระจกใสหนา 5 mm ควบคุมการไหลอากาศด้วยพัดลมกำลังขนาด 74.57 W แสดงดัง Fig. 1

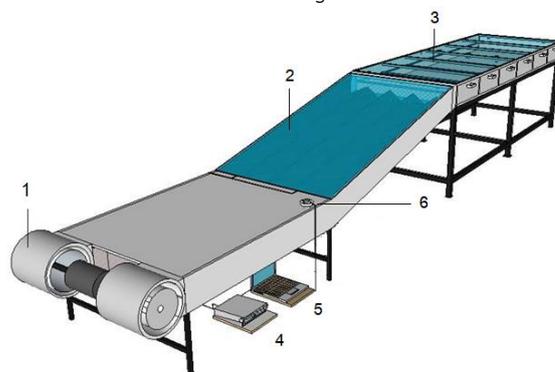


Fig. 1 A schematic diagram of the mixed-mode solar dryer: (1) Blower (2) V-grooved solar collector (3) Drying chamber (4) Data logger (5) Computer and (6) Pyranometer.

3. การอบแห้งรังไหมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ทดลองอบแห้งรังไหมที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม รังไหมจำนวน 5 kg จัดเรียงกระจายบนถาดอบแห้ง และไม่ให้รังไหมวางทับซ้อนกัน เริ่มการทดลองเวลา 09:00 น. จนกระทั่งรังไหมมีความชื้นเท่ากับ 10 %db. ปรับอัตราการไหลอากาศภายในห้องอบแห้งเท่ากับ 0.022 kg/s ระหว่างทำการอบแห้งบันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักระบบดิจิตอลความละเอียด 0.01 g วัดค่ารังสีอาทิตย์ด้วยเครื่อง pyranometer (Kipp & Zonen SP Lite2) เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล (Meteon data logger) วัดอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้า-ออก ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ กลางห้องอบแห้ง ทางออกห้องอบแห้ง และอากาศแวดล้อม ด้วยสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล (Agilent 34972A) และวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมด้วยเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Fluke 1735)

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้ง

ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักระหว่างการอบแห้งวิเคราะห์อยู่ในรูปอัตราส่วนความชื้นที่เวลาใดๆ ดังสมการที่ (1) (Sacilik and Elicin, 2006)

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \tag{1}$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น M_o คือ ความชื้นเริ่มต้น, M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ และ M_e คือ ความชื้นสมดุลการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ค่าความชื้นสมดุลพิจารณาให้มีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อค่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมากเปรียบเทียบกับ M_o และ M_t (Midilli and Kucuk, 2003; Vijayan *et al.*, 2016) และความชื้นสัมพัทธ์อากาศระหว่างการอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Akpinar and Bicer, 2008) ดังนั้นค่าอัตราส่วนความชื้นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$MR = \frac{M_t}{M_o} \tag{2}$$

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาการอบแห้ง ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงดัง Table 1 โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง (non-linear regression) ความสามารถในการทำนายค่าอัตราส่วนความชื้นของแบบจำลองพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) ค่าการลดลงไคกำลังสอง (reduced chi-square, χ^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root

mean square error, RMSE) คำนวณได้ดังสมการ (3)-(5) (Aghbashlo *et al.*, 2009)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pre} - MR_{exp,i})^2} \tag{3}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \tag{4}$$

$$RMSE = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

เมื่อค่า $MR_{exp,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง, $MR_{pre,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของแบบจำลอง, $\overline{MR_{pre}}$ คือ อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยจากการทำนายของแบบจำลอง, N คือ จำนวนข้อมูลจากการทดลอง และ z คือ จำนวนค่าคงที่ของแบบจำลอง

5. การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น

การแพร่ความชื้นบ่งบอกการเคลื่อนที่ของความชื้นในวัสดุระหว่างการอบแห้งในช่วงที่อัตราการอบแห้งลดลง พิจารณาได้จากสมการแพร่ตามกฎข้อที่สองของฟิค (Fick's second law) โดยมีสมมติฐานค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าคงที่ตลอดเวลาการอบแห้ง และสำหรับวัสดุที่มีรูปทรงกระบอกสั้นซึ่งรังไหมมีรูปทรงใกล้เคียงทรงกระบอกสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นได้ดังนี้ (Usub *et al.*, 2010)

$$MR = \left(\frac{8r^2}{l^2} \right) \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda_i^2 \beta_j^2} \exp \left(-(\lambda_i^2 + \beta_j^2) \frac{D_{eff} t}{r^2} \right) \tag{6}$$

เมื่อ D_{eff} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (m^2/s), r คือ รัศมีในแนวรัศมีรังไหม (m), l คือ ความยาวรังไหม (m), t คือ เวลาอบแห้ง (s), λ_i คือ ค่าตอบของฟังก์ชันเบสเซลอันดับที่ศูนย์ (2.405, 5.520, 8.564) และ $i = 1, 2, 3, \dots$

$$\beta_j = \frac{(2j - 1)\pi r}{2l}, j = 1, 2, 3 \tag{7}$$

จากสมการที่ (6) มีจำนวนเทอมที่ไม่มีที่สิ้นสุดการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ระยะเวลายาวนาน ดังนั้นจึงประมาณค่าโดยพิจารณาเฉพาะเทอมแรก (Doymaz, 2004) สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$MR = \frac{32}{\lambda_1^2 \pi^2} \exp\left(-\left(\lambda_1^2 + \beta_1^2\right) \frac{D_{eff} t}{r^2}\right) \quad (8)$$

จากสมการที่ (9) สามารถคำนวณค่า D_{eff} ของรังไหมจากค่าความชันของกราฟเส้นตรง ดังสมการที่ (10) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(MR)$ และเวลาในการอบแห้ง (t)

จากสมการที่ (8) เขียนอยู่ในรูปลอการิทึม ดังสมการที่ (9)

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{32}{\lambda_1^2 \pi^2}\right) - \left(\lambda_1^2 + \beta_1^2\right) \frac{D_{eff} t}{r^2} \quad (9)$$

$$slope = \frac{(5.7831 + \beta_1^2) D_{eff}}{r^2} \quad (10)$$

Table 1 Mathematical models for cocoon drying

Model no.	Model Name	Model	References
1.	Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Kashaninejad <i>et al.</i> (2007)
2.	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Panchariya <i>et al.</i> (2002)
3.	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Akpinar <i>et al.</i> (2003)
4.	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	Togrul and Pehlivan (2002)
5.	Midilli Kucuk	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli <i>et al.</i> (2002)
6.	Two term	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	Yaldiz <i>et al.</i> (2001)
7.	Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	Demir <i>et al.</i> (2007)
8.	Verma <i>et al.</i>	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	Doymaz (2005)
9.	Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Yaldiz and Ertekin (2004)

6. การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของการอบแห้งรังไหม

การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่วนห้องอบแห้งได้รับพลังงานจากรังสีอาทิตย์โดยตรงและได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สามารถคำนวณได้ดังนี้ (Usab *et al.*, 2008; Chowdhury *et al.*, 2011)

ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Collector efficiency) หาได้จากอัตราส่วนพลังงานที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อพลังงานที่ให้กับตัวเก็บรังสี คำนวณได้ดังสมการที่ (11)-(13)

$$IA_{collector} = A_{collector} \int Sr(t) dt \quad (11)$$

เมื่อ $IA_{collector}$ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ให้กับตัวเก็บรังสี (J), $A_{collector}$ คือ พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2) และ $Sr(t)$ คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่เวลาใดๆ (W/m^2)

$$Output_{collector} = \int \dot{m}(t) C_p (T_c - T_i) dt \quad (12)$$

เมื่อ $Output_{collector}$ คือ พลังงานที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (J), $\dot{m}(t)$ คือ อัตราการไหลอากาศที่เวลาใดๆ (kg/s), C_p คือ ความร้อนจำเพาะอากาศ ($kJ/kg^\circ C$), T_i คือ

อุณหภูมิอากาศที่เข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$) และ T_c คือ อุณหภูมิอากาศที่ออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($^\circ C$)

$$\eta_c = \frac{Output_{collector}}{IA_{collector}} \quad (13)$$

ประสิทธิภาพการอบแห้ง (Drying efficiency) หาได้จากอัตราส่วนพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพลังงานที่ส่วนอบแห้งได้รับจากรังสีอาทิตย์ คำนวณได้ดังสมการที่ (14)-(16)

$$IA_{dryer} = A_{dryer} \int Sr(t) dt \quad (14)$$

เมื่อ IA_{dryer} คือ พลังงานที่ห้องอบแห้งได้จากการแผ่รังสีอาทิตย์ (J) และ A_{dryer} คือ พื้นที่ห้องอบแห้ง (m^2)

$$Output_{dryer} = mrL_g \quad (15)$$

เมื่อ $Output_{dryer}$ คือ พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ (J), mr คือ มวลของน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ (kg) และ L_g คือ ค่าความร้อนแฝงที่ในการระเหยน้ำ (J/kg)

$$\eta_d = \frac{\text{Output}_{dryer}}{IA_{dryer} + \text{Output}_{collector}} \quad (16)$$

ประสิทธิภาพรวมของการอบแห้ง (Overall drying efficiency) หาได้จากอัตราส่วนพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพลังงานทั้งหมดที่ให้กับเครื่องอบแห้ง คำนวณได้ดังสมการที่ (17)

$$\eta_{overall} = \frac{\text{Output}_{dryer}}{IA_{collector} + IA_{dryer} + E_{fan}} \quad (17)$$

เมื่อ E_{fan} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ให้กับพัดลม (J)

7. การสาวทดสอบรังไหม

รังไหมที่ได้จากการอบแห้งนำมาสาวทดสอบซึ่งความยากง่ายของการสาวรังไหม พิจารณาจากจำนวนครั้งที่รังไหมร่วงออกจากพวงสาวระหว่างทำการสาวทดสอบ โดยการสาวทดสอบรังไหมจะใช้วิธีการสาวรังไหมแบบกลุ่มโดยใช้เครื่องสาวไหม ซึ่งการสาวแต่ละครั้งใช้รังไหมจำนวน 50 รัง และกำหนดจำนวนรังไหมในพวงสาวเท่ากับ 10 รัง ระหว่างการสาวรังไหมบันทึกจำนวนรังไหมที่ป้อนเข้าในพวงสาว รังไหมสาวไม่ออก และรังไหมที่ขึ้นเครื่องสาวไม่ได้ จากนั้นนำข้อมูลจำนวนรังไหมสาวไม่ออก และรังไหมที่ขึ้นเครื่องสาวไม่ได้ มาจำแนกเป็นชนิดรังหนา รังปานกลาง และรังบาง แล้วคำนวณโดยเปรียบเทียบด้านความยาว จากตัวคุณดังนี้

1 รังหนา = 0.85 รัง , 1 รังปานกลาง = 0.37 รัง และ 1 รังบาง = 0.11 รัง

ค่าเปอร์เซ็นต์การสาวง่าย (Reel ability) คำนวณได้จากสมการที่ (18)

$$\text{reelability} = \frac{NS - UC - UD}{NF - UD} \times 100 \quad (18)$$

เมื่อ NS คือ จำนวนรังไหมที่นำมาสาว, UC คือ จำนวนรังไหมที่สาวไม่ออก, UD คือ จำนวนรังไหมที่ขึ้นเครื่องสาวไม่ได้ และ NF คือ จำนวนครั้งที่ป้อนรังไหม

8. การวิเคราะห์ขนาดเส้นไหมดิบ

การศึกษาคำนี้ขนาดเส้นไหมดิบจะวัดในหน่วยดีเนียร์ (Denier, den) หรือเรียกว่าความหนาแน่นเชิงเส้น ซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์ของมวลเส้นไหมในหน่วย g ต่อความยาวเส้นไหม 9,000 m เส้นไหมดิบที่ได้จากการสาว

ก่อนวิเคราะห์หาขนาดนำมาปรับภาวะเส้นไหมดิบโดยเก็บเส้นไหมดิบในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $65 \pm 4\%$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นไหมดิบทำเป็นเช็ดไหมทดสอบด้วยเครื่องกรอที่มีเส้นรอบวงของระวงเท่ากับ 1.125 m จำนวนรอบการกรอเส้นไหมเท่ากับ 100 รอบ แล้วชั่งมวลเช็ดไหมทดสอบเพื่อหาขนาดเส้นไหม ดังสมการที่ (19)

$$D = \frac{W}{T \times R} \times 9,000 \quad (19)$$

เมื่อ D คือ ขนาดเส้นไหม (den), W คือ มวลเส้นไหม (g) T คือ จำนวนรอบของเช็ดไหมทดสอบ และ R คือ ความยาวเส้นรอบวงระวง (m)

9. การทดสอบสมบัติเชิงกลเส้นไหมดิบ

นำเช็ดไหมมาทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นไหมดิบได้แก่ ค่าความเหนียว และการยืดตัว ณ จุดขาด ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Lloyd LR5k) อัตราเร็วในการดึงคั้งที่เท่ากับ 300 mm/min และระยะทดสอบในการดึง 100 mm ทดสอบภายใต้สภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิ $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $65 \pm 4\%$ คำนวณความเหนียว และการยืดตัว ณ จุดขาด ได้ดังสมการที่ (20)-(21) ตามลำดับ

$$P = \frac{F}{D} \quad (20)$$

$$E = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 \quad (21)$$

เมื่อ P คือ ค่าความเหนียว (g/den), F คือ แรงดึงเส้นไหมสูงสุด (gf), E คือ ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (%), L_o คือ ความยาวเส้นไหมก่อนดึง (mm) และ L_f คือ ความยาวเส้นไหม ณ จุดขาด (mm)

การสาวทดสอบรังไหม การวิเคราะห์ขนาดเส้นไหมและการทดสอบสมบัติเชิงกลเส้นไหมดิบ ทำการทดสอบที่ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ จังหวัดนครราชสีมา

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. คุณลักษณะการอบแห้งรังไหม

จากการอบรังไหมจำนวน 5 kg ด้วยเครื่องพลังงานแสงอาทิตย์ วันที่ 20 เมษายน 2560 เริ่มการทดลองตั้งแต่วันที่ 09:00 น. ถึง 16:30 น. ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 685.32 W/m^2 มีค่าสูงสุดเท่ากับ

847 W/m² ที่เวลาประมาณ 12:00 น. ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดการทดลองเท่ากับ 19.74 MJ/m² ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 19-20 MJ/m² (Janjai *et al.*, 2005) อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งในแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกันมาก อุณหภูมิระหว่างการทดลองอยู่ในช่วงประมาณ 46 °C ถึง 62 °C และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 55.78 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมภายนอกเครื่องประมาณ 20 °C การเปลี่ยนแปลงความชื้นรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งและอุณหภูมิอากาศแวดล้อมขณะทดลองอบแห้งไหมแสดงดัง Fig. 2

การอบแห้งไหมที่มีความชื้นเริ่มต้น 220 %db โดยเริ่มทำการทดลองที่เวลา 09:00 น. การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นรังสีไหมระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการตากแดด แสดงดัง Fig. 3 พบว่า การอบแห้งไหมด้วยเครื่องพลังงานแสงอาทิตย์ รังสีไหมมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 10 %db ใช้เวลาอบแห้งเท่ากับ 440 min ซึ่งตรงกับเวลา 16:20 น. ขณะที่การอบแห้งไหมด้วยวิธีตากแดดใช้เวลาประมาณ 3 วัน (21 ชั่วโมงที่มีแดด)

Fig. 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับอัตราการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งไหมด้วยเครื่องแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ช่วงเริ่มต้นการอบแห้งจะอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อการอบแห้งดำเนินไปจนถึงอัตราส่วนความชื้นประมาณ 0.6 อัตราการอบแห้งจะอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง สอดคล้องกับผลวิจัยของ El-Sebaïi and Shalaby (2013) และ Baniasadi *et al.* (2017) ซึ่งพบว่า การอบแห้ง ใบมินต์ พลัม และ แอปพริคอต อัตราการอบแห้งอยู่ในช่วงอัตราคงที่และลดลง เมื่อเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งรังสีไหมทั้งสองวิธี การแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าวิธีการตากแดดอย่างชัดเจน สอดคล้องกับผลวิจัยของ Fudholi *et al.* (2014)

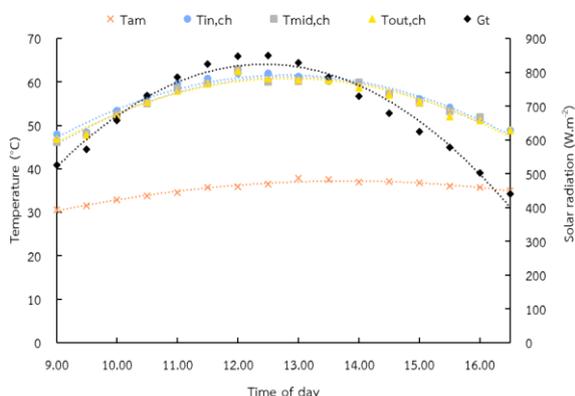


Fig. 2 Variation in solar radiation and temperature versus drying time.

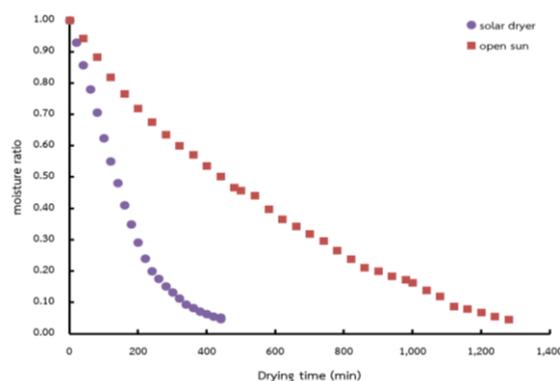


Fig. 3 Variation in moisture ratio versus the duration of drying time.

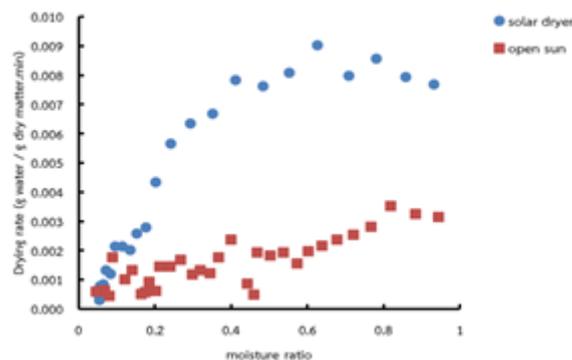


Fig. 4 Variation in drying rate versus moisture ratio.

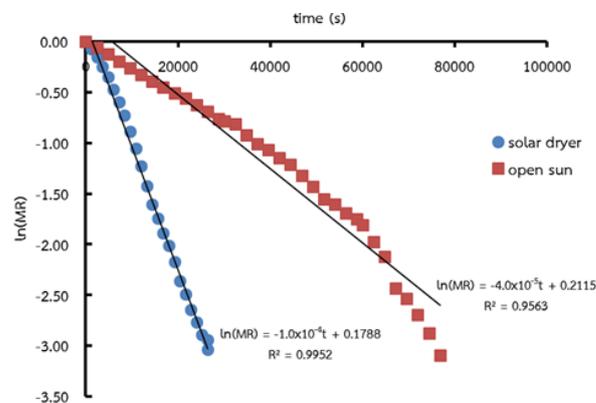


Fig. 5 Linear relationship between ln(MR) and drying time.

2. ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลวิเคราะห์ทางสถิติและค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายค่าอัตราส่วนการอบแห้งจากการทดลอง แสดงดัง Table 2 พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Midilli Kucuk สามารถทำนายค่าอัตราส่วนความชื้นของรังสีไหมระหว่างการอบแห้งได้ดีที่สุด ซึ่งการอบแห้งรังสีไหมด้วยเครื่องพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่า R² สูงสุดเท่ากับ 0.9993 ค่า χ^2 และ RMSE ต่ำสุด เท่ากับ 0.0080

และ 0.00007 ตามลำดับ การอบแห้งรังไหมด้วยการตากแดด มีค่า R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.99941 ค่า χ^2 และ RMSE ต่ำสุด เท่ากับ 0.0066 และ 0.00005 ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลวิจัยของ Usub *et al.* (2010) พบว่าแบบจำลองของ Midilli Kucuk มีความเหมาะสมในการทำนายค่าอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งดักด้ใหม่ด้วยเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นสมการทำนายค่าอัตราส่วนของการอบแห้งรังไหมด้วยเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดด ดังสมการที่ (22)-(23) ตามลำดับ

$$MR=1.00028 \exp(-0.00112t^{1.32197}) + 0.00004t \quad (22)$$

$$MR=1.00614 \exp(-0.00262t^{0.88561}) - 0.00015t \quad (23)$$

3. คำสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น

ค่าความชันของกราฟเส้นตรงของความสัมพัทธ์ระหว่าง $\ln(MR)$ กับ เวลาการอบแห้ง (t) ดัง Fig. 5 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของการอบแห้งรังไหม พบว่าการอบแห้งรังไหมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการตากแดดมีค่าเท่ากับ 9.54×10^{-10} และ $3.82 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ตามลำดับ จากรายงานวิจัยของ Usub *et al.* (2010) การอบแห้งดักด้ใหม่ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 1.86×10^{-10} ถึง $2.77 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$

Table 2 Statistical results of mathematical modeling of drying curves for cocoon.

Model Name	Mixed-mode solar drying				Traditional open sun drying			
	Model constants	R^2	RMSE	χ^2	Model constants	R^2	RMSE	χ^2
Lewis	k=0.00590	0.9793	0.0439	0.00201	k=0.00171	0.9871	0.0310	0.00099
Page	k=0.00125 n=1.29372	0.9989	0.0100	0.00011	k=0.00069 n=1.14120	0.9933	0.0223	0.00053
Henderson and Pabis	a=1.08343 k=0.00638	0.9874	0.0343	0.00128	a=1.03052 k=0.00177	0.9885	0.0292	0.00091
Logarithmic	a=1.15023 c=-0.09627 k=0.00514	0.9874	0.0343	0.00141	a=1.19993 c=-0.21254 k=0.00119	0.9989	0.0092	0.00009
Midilli Kucuk	a=1.00028 n=1.32197 k=0.00112 b=0.00004	0.9993	0.0080	0.00007	a=1.00614 n=0.88561 k=0.00262 b=-0.00015	0.9994	0.0066	0.00005
Two-term	a=0.54176 k ₀ =0.00638 b=0.54165 k ₁ =0.00638	0.9931	0.0254	0.00073	a=0.51112 k ₀ =0.51923 b=0.00177 k ₁ =0.00177	0.9885	0.0292	0.00091
Diffusion approach	a=-1.28835 b=0.63040 k=0.01441	0.9992	0.0085	0.00008	a=-1.47543 b=0.76412 k=0.00314	0.9941	0.0209	0.00048
Verma <i>et al.</i>	a=-1.49430 g=0.00344 k=0.00236	0.9912	0.0286	0.00093	a=-2.03045 g=0.00248 k=0.00307	0.9942	0.0208	0.00048
Wang and Singh	a=-0.00451 b=0.00001	0.9970	0.0168	0.00030	a=-0.00132 b=0.00001	0.9956	0.0180	0.00035

4. สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะทำการอบรังไหม 5 kg จนกระทั่งมีความชื้นเท่ากับ 10 %db. ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.022 kg/s ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดัง Table 3 พบว่า ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ประสิทธิภาพการอบแห้ง และประสิทธิภาพรวมของการอบแห้ง เท่ากับ 37.37, 12.01 และ 8.85 % ตามลำดับ ซึ่งการอบรังไหมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมรังไหมที่อยู่ภายในห้องอบแห้งได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (13.28 MJ) และพลังงานที่รังสีอาทิตย์ส่งผ่านเข้ามาในห้องอบแห้งโดยตรง สามารถลดเวลาอบแห้งจากการตากแดดตามธรรมชาติได้โดยประมาณ 2 วัน ผลการวิจัยของ Singh (2011) ได้ศึกษาอบรังไหมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์โดยอ้อม อุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งอยู่ในช่วง 50 °C ถึง 80 °C พบว่า เวลาอบรังไหมเท่ากับ 16 ถึง 19 ชั่วโมง

Table 3 Collector efficiency, drying efficiency and overall efficiency.

Parameter	Value
Solar collector	
Energy input (MJ)	35.53
Energy output (MJ)	13.28
Collector Efficiency (%)	37.37
Drying section	
Energy input (MJ)	55.26
Energy output (MJ)	8.23
Drying efficiency (%)	12.01
Overall drying efficiency (%)	8.85

5. ผลการสาวทดสอบรังไหม

ความยากง่ายการสาวไหมวิเคราะห์จากผลการสาวทดสอบรังไหมที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการตากแดด ซึ่งมีความชื้นเท่ากับ 10 %db เปรียบเทียบกับรังไหมสดที่มีความชื้นเท่ากับ 220 %db ค่าเปอร์เซ็นต์การสาวง่ายแสดงดัง Table 4 พบว่า รังไหมอบแห้งทั้งสองวิธีมีค่าเปอร์เซ็นต์การสาวง่ายมากกว่ารังไหมสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการสาวรังไหมอบแห้งนั้นเส้นไหมไม่ขาดง่ายคล้ายตัวออกมาได้ดี และรังไหมหลุดร่วงออกมาจากพงสาวมีจำนวนน้อยกว่ารังไหมสด

6. ขนาดเส้นไหมดิบ

จากการสาวไหมที่กำหนดจำนวนรังไหมในพงสาวเท่ากับ 10 รัง ดังนั้นเส้นไหมดิบประกอบด้วยเส้นใยไหมที่สาวได้จากรังไหม 10 รัง โดยทำเกลียวให้รวมเป็นเส้นเดียวกันในขั้นตอนการสาวไหม มีกาวไหม(เซรีซิน)ประสานเส้นใยไหมรวมเป็นเส้นไหมเดียวกัน จาก Fig. 6 แสดงลักษณะเส้นไหมดิบ เห็นได้ว่าการสาวไหมจากรังไหมอบแห้งจะได้เส้นไหมดิบที่เล็กกว่ารังไหมสด เมื่อวิเคราะห์ขนาดเส้นไหมในหน่วยดีเนียร์ พบว่า เส้นไหมดิบที่ได้จากการสาวรังไหมที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และวิธีการตากแดดมีขนาดเส้นไหมดิบไม่แตกต่างกัน($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.66 den และ 18.32 den ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นไหมดิบจากรังไหมสดพบว่า เส้นไหมดิบจากรังไหมอบแห้งมีขนาดมากกว่าเส้นไหมดิบจากรังไหมสดอย่างมีนัยสำคัญ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าเส้นไหมดิบที่สาวได้จากรังไหมอบแห้งจะมีลักษณะเส้นที่เล็กแต่มีมวลและความหนาแน่นเชิงเส้นมากกว่าเส้นไหมดิบจากรังไหมสด

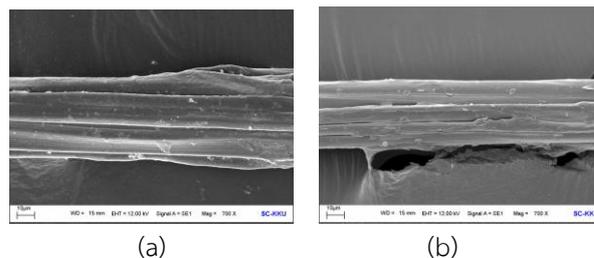


Fig. 6 Morphologies of cocoon silk: (a) Fresh cocoon and (b) Dry cocoon.

7. สมบัติเชิงกลของเส้นไหมดิบ

รังไหมที่ผ่านการอบแห้งนำมาสาวเพื่อให้ได้เส้นไหมดิบ จากนั้นนำเส้นไหมดิบมาทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ ความเหนียว และการยืดตัว ณ จุดขาด เป็นการศึกษาพฤติกรรมของเส้นไหมภายใต้ความเค้น โดยดึงเส้นไหมให้ยืดยาวออกจนถึงจุดที่เส้นไหมเกิดการเสียหายและขาดออกจากกัน ผลการทดสอบแสดงดัง Table 4 รังไหมที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ตากแดด และรังไหมสด เส้นไหมดิบมีค่าแรงดึงที่จุดขาดเท่ากับ 68.39, 64.89 และ 51.32 cN ตามลำดับ และค่าความเหนียวของเส้นไหมดิบเท่ากับ 3.73, 3.61 และ 3.44 g/den ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกถึงเส้นไหมดิบจากรังไหมอบแห้งเส้นใยไหมมีการยึดเกาะกันสูงขึ้น และสามารถต่อต้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดีกว่าเส้นไหมดิบจากรังไหมสด นอกจากนี้เส้นไหมดิบจากรังไหมอบแห้งมีค่าการยืดตัวมากกว่าเส้นไหมดิบจากรังไหมสดประมาณ 4.0-5.0 %

Table 4 Result of reeling and mechanical properties of silk.

Drying method	Reeling results		Mechanical properties		
	Reelability (%)	Size of raw silk (den)	Force (cN)	Tenacity (g/den)	Elongation (%)
Mixed-mode Solar dryer	92.20±1.78 ^a	18.66±0.86 ^a	68.39±5.53 ^a	3.73±0.19 ^a	27.41±1.49 ^a
Traditional open sun drying	90.60±1.14 ^a	18.32±0.76 ^a	64.89±4.21 ^a	3.61±0.22 ^a	28.50±2.55 ^a
Control (Fresh cocoon)	77.67±1.24 ^b	15.20±1.06 ^b	51.32±6.81 ^b	3.44±0.31 ^b	23.45±1.86 ^b

Values followed by different superscripted letters in the same column were significantly different at $p < 0.05$ (Duncan test).

สรุปผลการวิจัย

1. การอบแห้งรังไหมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบจำลอง Midilli Kucuk สามารถทำนายค่าอัตราส่วนความชื้น และเวลาในการอบแห้งรังไหมได้ดีที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเท่ากับ $9.54 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ และมากกว่าการตากแดด 5.13 เท่า

2. สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสมในการอบแห้งรังไหม สามารถลดระยะเวลาอบแห้งได้ 2 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีตากแดด ประสิทธิภาพการอบแห้ง และประสิทธิภาพรวมของการอบแห้ง เท่ากับ 12.01% และ 8.85% ตามลำดับ

3. รังไหมอบแห้งมีค่าการสาวง่ายมากกว่ารังไหมสด และขนาดเส้นไหมดิบมีค่ามากกว่าเส้นไหมจากรังไหมสด นอกจากนี้สมบัติเชิงกลของเส้นไหมดิบในด้าน ความเหนียว และการยืดตัว มีค่าสูงกว่าเส้นไหมดิบจากรังไหมสด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามที่สนับสนุนงบประมาณวิจัย ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ จังหวัดนครราชสีมา ที่ให้คำแนะนำ และอนุเคราะห์เครื่องมือในการทดสอบคุณภาพรังไหม รวมทั้งขอขอบคุณหลักสูตรฟิสิกส์ ฟิสิกส์ประยุกต์ และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้

References

- Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H. and Arabhosseini, A. 2009. Modeling of thin-layer drying of potato slices in length of continuous band dryer. *Energy Convers. Manage.* 50:1348–1355.
- Akpinar, E.K. and Bicer, Y. 2008. Mathematical modelling of thin layer drying process of long green pepper in solar dryer and under open sun. *Energy Convers. Manage.* 88(49):1367–1375.
- Akpinar, E.K., Bicer, Y., and Yildiz, C. 2003. Thin layer drying of red pepper. *J. Food Eng.* 59:99–104.
- Baniasadi, E., Ranjbar, S. and Boostanipour, O. 2017. Experimental investigation of the performance of a mixed-mode solar dryer with thermal energy storage. *Renew. Energy.* 112:143-150.
- Chowdhury, M.M.I., Bala, B.K. and Haque, M.A. 2011. Energy and exergy analysis of the solar drying of jackfruit leather. *Biosyst. Eng.* 110:222-229.
- Dejchanchaiwong, R., Arkasuwat, A., Kumar, A. and Tekasakul, P. 2016. Mathematical modeling and performance investigation of mixed-mode and indirect solar dryers for natural rubber sheet drying. *Energy Sustainable Dev.* 34:44–53.
- Demir, V., Gunhan, T. and Yagcioglu, A.K. 2007. Mathematical modelling of convection drying of green table olives. *Biosyst. Eng.* 98:47–53.
- Doymaz, I. 2004. Pretreatment effect on sun drying of mulberry fruits (*Morus alba* L.). *J. Food Eng.* 65:205–209.
- Doymaz, I. 2005. Sun drying of figs: an experimental study. *J. Food Eng.* 71:403–407.
- El-Sebaei, A.A. and Shalaby, S.M. 2013. Experimental investigation of an indirect-mode forced convection solar dryer for drying thymus and mint. *Energy Convers. Manage.* 74:109–116.
- Elkhadraoui, A., Kooli, S., Hamdi, I. and Farhat, A. 2015. Experimental investigation and economic evaluation of a new mixed mode solar greenhouse dryer for drying of red pepper and grape. *Renew. Energy.* 77:1-8.
- Eltawil, M.A., Azam, M.M. and Alghannam, A.O. 2018. Solar PV powered mixed-mode tunnel dryer for drying potato chips. *Renew. Energy.* 116:594-605.
- Forson, F.K., Nazha, M.A.A. and Rajakaruna, H. 2007. Modelling and experimental studies on a mixed-mode natural convection solar crop-dryer. *Sol. Energy.* 81:346–357.
- Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M.H., Yazdi M.H., Gabbasa, M. and Kazem, H.A. 2014. Performance analysis of solar drying system for red chili. *Sol. Energy.* 99:47–54.
- Janjai, S., Laksanaboonsong, J., Nunez, M. and Thongsathitya, A. 2005. Development of a method for generating operational solar radiation maps from satellite data for a tropical environment. *Sol. Energy.* 78:739–751

- Jareanjit, J. 2012. A Solar Dryer Technology and Its Development. *KKU Res. J.* 17(1):110-124. (in thai)
- Jiang, P., Liu, H., Wang, C., Wu, L., Huang, J. and Guo, C. 2006. Tensile behavior and morphology of differently degummed silkworm (*Bombyx mori*) cocoon silk fibres. *Mater. Lett.* 60:919–925.
- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A. and Tabil, L.G. 2007. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *J. Food Eng.* 78:98–108
- Midilli, A. and Kucuk, H. 2003. Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. *Energy Convers. Manage.* 44(7):1111–1122.
- Midilli, A., Kucuk, H., and Yapar, Z. 2002. A new model for single layer drying. *Dry.Techno.* 20(7):1503–1513.
- Panchariya, P.C., Popovic, D. and Sharma, A.L. 2002. Thin-layer modelling of black tea drying process. *J. Food Eng.* 52:349–357.
- Rabha, D.K., Muthukumar, P. and Somayaji, C. 2017. Experimental investigation of thin layer drying kinetics of ghost chilli pepper (*Capsicum Chinense Jacq.*) dried in a forced convection solar tunnel dryer. *Renew. Energy.* 105:583-589.
- Sacilik, K. and Elicin, A.K. 2006. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *J. Food Eng.* 73: 281–289.
- Sallam, Y.I., Aly, M.H., Nassar, A.F. and Mohamed, E.A. 2015. Solar drying of whole mint plant under natural and forced convection. *J. Adv. Res.* 6(2):171-178.
- Singh, P.L. 2011. Silk cocoon drying in forced convection type solar dryer. *Appl. Energy.* 88:1720–1726.
- Togrul, I. T. and Pehlivan, D. 2002. Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. *J. Food Eng.* 55:209–216.
- Tripathy., P.P. and Kumar, S. 2009. Modeling of heat transfer and energy analysis of potato slices and cylinders during solar drying. *Appl. Therm. Eng.* 29:884-891.
- Usub, T., Lertsatitthanakorn, C., Poomsa-ad, N., Wiset, L., Yang, L. and Siriamornpun, S. 2008. Experimental performance of solar tunnel dryer for drying silkworm pupae. *Biosyst. Eng.* 101:2209–2216.
- Usub, T., Lertsatitthanakorn, C., Poomsa-ad, N., Wiset, L., Yang, L., Siriamornpun, S. and Soponronnaritc, S. 2010. Thin layer solar drying characteristics of silkworm pupae. *Food Bioprod. Process.* 88:149–160.
- Vijayan, S., Arjunana, T.V. and Kumar, A. 2016. Mathematical modeling and performance analysis of thin layer drying of bitter melon in sensible storage based indirect solar dryer. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.* 36:59–67.
- Yaldiz, O., and Ertekin, C. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying

model. J. Food Eng. 63:349–359.

Yaldiz, O., Ertekin, C. and Uzun, H.I. 2001. Mathematical modelling of thin layer solar drying of sultana grapes. Energy. 26:457-465.

การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกข้าวตอก

จาริณี จงปลื้มปิติ* และ พลเทพ เวงสูงเนิน

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

บทคัดย่อ

เครื่องคัดแยกข้าวตอกเพื่อให้ได้ข้าวตอกขนาดใหญ่สำหรับทำกระยาสารที่มีหลักการทำงานเป็นตะแกรงโยก 3 ชั้น มีมิติ 600 mm x 1600 mm x 530 mm ประกอบด้วยชั้นที่ 1 เป็นตะแกรงรูกกลมขนาด 6 mm ข้าวตอกที่มีขนาดใหญ่จะไหลบนตะแกรงชั้นนี้แล้วออกไปยังช่องทางออก แต่ข้าวตอกที่มีขนาดเล็กกว่าจะร่วงลงสู่ตะแกรงชั้นที่ 2 ข้าวตอกหักและสิ่งเจือปนขนาดเล็กกว่า 5 mm จะไหลผ่านรูตะแกรงตกลงยังถาดรอง ชุดตะแกรงโยกนี้ยึดสายพานกับโครงเครื่องขนาด 1000 mm x 1600 mm x 1000 mm ส่งกำลังโดยมอเตอร์ขนาด 746 W ปัจจัยที่ใช้ทดลองได้แก่ ความเร็วตะแกรงโยก 5.80 m/s, 6.08 m/s และ 6.83 m/s และมุมเอียงของตะแกรงโยก 7 deg, 15 deg. และ 30 deg จากผลการทดลองพบว่าที่ความเร็วตะแกรงโยก 6.83 m/s มุมเอียง 30 deg ได้สัดส่วนการคัดแยกข้าวตอกชั้นที่ 1, 2 เศษฝุ่นรวมสิ่งเจือปนและปริมาณการสูญเสีย คือ 92%, 3.52%, 4.65% และ 0.33% ตามลำดับ มีความสามารถในการคัดแยกต่ำกว่าการทดลองอื่น ๆ คือ 1.26 kg/hr แต่มีอัตราส่วนประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ยสูง คือ 65.09%

คำสำคัญ: การคัดแยก ตะแกรงโยก ข้าวตอก และ กระยาสาร

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: jarinee.jo@rmuti.ac.th

Design and Build of Popped Rice Separate Machine

Jarinee Jongpluempiti* and Ponthep Vengsungle

Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

Abstract

The lot of big popped rice is ingredient in Kayasart which sort by separator that consist of 3 layers' sieve dimension 600 mm x 1600 mm x 530 mm. The first layer is 6 mm of hole circle sieve which can move the big popped rice on the surface to exit channel but the thing less than 6 mm will though on the second layer that has 5 mm of hole circle sieve. The small popped rice and dust are separated pass to on the last layer.to on the last layer. The sieve set are fixed on the frame's dimension 1000 mm x 1600 mm x 1000 mm by belt that can transmission power by motor of 746 W. The variables of this study are sieve speeds; 5.80 m/s 6.08 m/s and 6.83 m/s, and the sieve inclines; 7 deg, 25 deg and 30 deg. It was found that, the variables are 6.83 m/s of sieve speed and incline of the sieve is 30 deg, which have popped proportions on the first layer, the second layer, impurities and loss amount around 92%, 3.52% 4.65% and 0.33%, respectively. In addition, the separation capacity of these variables is lower than other tests around 126 kg/hr but it has high efficiency is 65.09%.

Keywords: Separation, Sieve, Popped rice and Kayasart

* Corresponding author: E-mail: jarinee.jo@rmuti.ac.th

บทนำ

ข้าวตอกเป็นผลิตภัณฑ์การแปรรูปข้าวด้วยการคั่วข้าวเปลือกที่แห้งสนิทแล้ว เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้ส่วนของแป้งที่อยู่ภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแป้งสุกและเกิดแรงดันให้เปลือกแตกแล้วเมล็ดข้าวสีขาวจะบาน (Wattanukul *et al.*, 2013) เป็นภูมิปัญญาที่จะแปรรูปข้าวให้เก็บรักษาได้นานขึ้น และยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงเนื่องจากมีเยื่อหุ้มเมล็ดยังคงติดอยู่ในเมล็ดข้าวส่งผลให้ใยอาหารสูงกว่าธัญพืชชนิดอื่น 2-5 เท่า นอกจากนี้ยังมีโปรตีนไขมัน และเกลือแร่ปนอยู่ ภายในส่วนของเอนโดสเปิร์มจะเป็นแป้งที่สุกด้วยความร้อน สามารถย่อยและดูดซึมได้ง่าย การใช้ประโยชน์จากข้าวตอก ได้แก่ การถวายพระในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคมของชาวจังหวัด ขนมห่วงน้ำกะทิ ขนมห่วงข้าวตอกโบราณ เป็นต้น ในปัจจุบันเกษตรกรที่แปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวตอกได้ทำการคั่วข้าวเปลือกโดยใช้กระทะใบใหญ่ ๆ คนกลับไปมาจนกระทั่งเมล็ดข้าวบานออกแล้วจึงตักออกจากกระทะรอให้เย็นแล้วบรรจุลงถุง แล้วส่งต่อไปยังโรงงานกระยาสารในกิโลกรัมละ 40 บาท ซึ่งข้าวตอกที่ในถุงไม่มีการทำความสะอาดและคัดแยกขนาดก่อน แต่สำหรับโรงงานกระยาสารจะใช้ขนาดของข้าวตอกที่มีขนาดดอกโตเท่านั้นเนื่องจากจะทำให้กระยาสารทongsวย นำรับประทาน ดังนั้นเกษตรกรจึงต้องทำการคัดด้วยมือตามที่ต้องการของโรงงาน แต่อย่างไรก็ตามมาตรฐานการคัดแยกด้วยคนยังไม่ได้มาตรฐานและสิ้นเปลืองเวลา รวมถึงต้องใช้แรงงานคนอีกจำนวนหนึ่ง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น

ผลิตภัณฑ์ที่ถูกพัฒนามาจากข้าวมีหลายผลิตภัณฑ์ ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือข้าวพอง (Puffed rice) และข้าวตอก (Popped rice) โดยกรรมวิธีในการทำข้าวตอกและข้าวพองมีขั้นตอนที่แตกต่างกันทำให้คุณลักษณะแตกต่างกันด้วย ข้าวพองจะใช้วิธีการแช่ข้าวแล้วนำไปทอด ส่วนข้าวตอกจะให้ความร้อนโดยการคั่วข้าวเปลือกเพื่อให้ข้าวภายในเกิดการแตกตัวขึ้น (Wikhow, 2017) หรืออาจใช้ไมโครเวฟในการทำให้ข้าวแตกก็ได้ (Swarnakar *et al.*, 2014) ในการทำข้าวตอกนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวที่นำมาใช้ในการทำ ประเทศไทยมักนำเอาข้าวเหนียวมาใช้ในการทำข้าวตอก ส่วนต่างประเทศมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของการขยายตัวของข้าวตอกต่อสายพันธุ์ของข้าว Bhatupadya *et al.*

(2008) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของข้าวตอกที่มาจากข้าวเปลือกต่างสายพันธุ์กัน ซึ่งแต่ละสายพันธุ์ให้สัดส่วนของการแตก และการขยายตัวที่แตกต่างกัน สาเหตุหนึ่งที่สำคัญที่ส่งผลต่อการขยายตัวของข้าวตอกคือความชื้น (Song and Eckhoff, 1994) งานวิจัยของ Shimoni *et al.* (2002) แสดงให้เห็นว่าหากปริมาณความชื้นสูงจะทำให้ปริมาตรการขยายตัวของข้าวตอกมีค่าต่ำ ซึ่งในการขยายตัวนั้นจะยังคงเหลือเปลือกข้าว และข้าวที่มีอนุภาคขนาดเล็กซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ได้อยู่ เกษตรกรจึงจำเป็นต้องมีการคัดแยกเอาสิ่งเหล่านี้ออกก่อนการจำหน่ายหรือบริโภค หากไม่มีการคัดแยกเสียก่อนจะส่งผลให้ราคาจำหน่ายต่ำกว่าข้าวตอกที่มีการคัดขนาดอยู่ 40%

ดังนั้นจากเหตุผลที่ผ่านมาจึงเป็นที่มาของแนวคิด ออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกขนาดข้าวตอกเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าวตอกให้สูงขึ้นและตรงกับการใช้งานของการแปรรูปแต่ละชนิด อีกทั้งยังเป็นการลดเวลาและแรงงานคนในการคัดแยกอีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีวิธีดำเนินการวิจัยหลัก 3 ส่วนคือ การศึกษาคุณลักษณะของข้าวตอก การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกข้าวตอก และการออกแบบการทดลอง โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียด ดังนี้

1. การศึกษาคุณลักษณะของข้าวตอก

การศึกษาคุณลักษณะของข้าวตอกจะนำข้าวตอกมาจากโรงงานผลิตกระยาสารที่คัดแยกมาแล้วตามขนาดของแต่ละชั้น สุ่มตัวอย่างข้าวตอกแต่ละชั้นจำนวนชั้นละ 100 เมล็ด มาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คือ มวล ความกว้าง ความยาว และความหนา โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่ออธิบายค่าของตัวแปรต่าง ๆ ทั้งหมด (Peck *et al.*, 2016)

2. การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกข้าวตอก

หลักการทำงานของเครื่องคล้ายกับการทำงานของเครื่องทำความสะอาดข้าวเปลือกแบบตะแกรงโยก (Plansifter) (Wimberly, 1983) โดยอาศัยหลักการของการสั่นสะเทือนเพื่อให้อนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกันแยกออกจาก

กันในแต่ละชั้น (Bhattacharya and Ali, 2015) ซึ่งจะมีทั้งแบบแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กไปสู่อนุภาคขนาดใหญ่โดยเรียงจากบนลงล่าง (Sultanbawa *et al.*, 2001) และแบบแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ไปสู่อนุภาคขนาดเล็กโดยเรียงจากบนลงล่าง (Al-Mogahwi and Baker, 2008) สมการที่ใช้ในการทำนายสมมูลมวลของตะแกรงโยกแบบนี้สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$I = O + T \quad (1)$$

โดยที่

- I = Input flow rate to the sieve kg/s
- O = Overtails flow rate kg/s
- T = Undertails flow rate of through kg/s

ในงานวิจัยนี้ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังเชื่อมต่อกับเพลลา ซึ่งบนเพลลายึดกับชุดลูกเบี้ยว (Eccentric sheave) ที่ยึดกับแขนส่งกำลังที่ติดกับตะแกรง ซึ่งเป็นชุดที่ทำให้เกิดการโยกของตะแกรงโดยอาศัยหลักการเอียงศูนย์ (Stephenson, 2013) ชุดตะแกรงประกอบด้วย ชั้นแรกทำการคัดแยกข้าวตอกที่มีขนาดใหญ่หรือดอกโต ชั้นที่สองคัดแยกขนาดของข้าวตอกที่เล็กกว่า และชั้นที่สามเป็นถาดรองเศษข้าวตอกที่หักและสิ่งเจือปนขนาดเล็ก แสดงดัง Fig. 1 ตำแหน่งที่ 1 คือถังใส่ข้าวตอกและมีลิ้นเปิดปิดให้ข้าวตอกไหลมาตำแหน่งที่ 2 ซึ่งเป็นชุดตะแกรงโยก เมื่อชุดต้นกำลังที่ตำแหน่งที่ 3 ทำงานโดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง วัสดุทั้งหมดก็จะเคลื่อนที่ออกไปยังช่องทางออกในตำแหน่งที่ 4

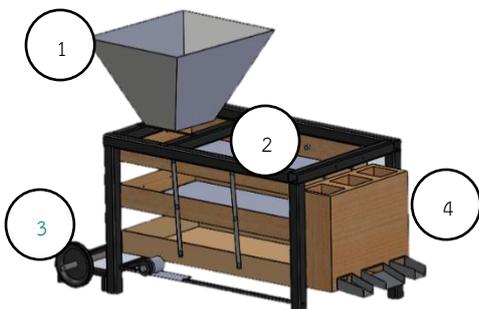


Fig. 1 Popped rice separator

1) การออกแบเพลลาจะใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและไม่คิดความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่จะเกิดขึ้น

บนเพลลาซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิติศาสตร์ ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาใน Fig. 2

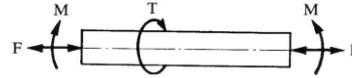


Fig. 2 Force on shaft

เพลลาเป็นแบบเพลลาตันจะได้รับความเค้นดึงหรือกด ความเค้นดัด และความเค้นเฉือนดังสมการที่ (2), (3) และ (4) ตามลำดับ (Budynas and Nisbett, 2011)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

$$\sigma_b = \frac{M_c}{I} \quad (3)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\tau_r}{J} \quad (4)$$

โดยที่

- σ = Stress Pa
- σ_{max} = Maximum bending stress Pa
- τ_{max} = Maximum shear stress Pa
- F = Load N
- A = Area m^2
- M = Moment N.m
- c = Distance from the neutral axis m
- I = Second-area moment m^4
- T = Torque N.m
- r = Radius m
- J = Polar second moment of area m^4

2) การหากำลังของมอเตอร์เพื่อเป็นต้นกำลังในการเคลื่อนที่หาได้จากสมการที่ (5)

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot n}{60 \times 1000} \quad (5)$$

3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลาแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ สำหรับเพลลารับความเค้นดัด สำหรับเพลลารับความ

เค้นเนียน และสำหรับเพลารับความเค้นตัดและเนียน ดังสมการที่ (6), (7) และ (8) ตามลำดับ

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M \cdot \alpha_b}{\pi \cdot \alpha_d}} \quad (6)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T \cdot \alpha_t}{\pi \cdot \tau_d}} \quad (7)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot \tau_d} \cdot \left[(M \cdot \alpha_b)^2 + (T \cdot \alpha_t)^2 \right]^{1/2}} \quad (8)$$

4) ตะแกรงโยกทำหน้าที่ในการคัดแยกวัสดุที่มีขนาดต่าง ๆ โดยทั่วไปชุดตะแกรงจะประกอบด้วยหลาย ๆ ชั้น โดยถูกติดตั้งเข้ากับข้อเหวี่ยงทำให้ตะแกรงเคลื่อนที่ไปมาทำให้เกิดความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ของตะแกรงโยกและทำให้วัสดุเกิดการเคลื่อนที่ในขณะเดียวกันก็ช่วยให้วัสดุกระจายตัวลงสู่ตะแกรงอย่างสม่ำเสมอ

5) มุมเอียงตะแกรง ทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ในการหา มุมเอียงแบบสถิตในการหาการไหลของเมล็ดข้าวตอกโดยใช้วัสดุพื้นผิวสัมผัสคือแผ่นเหล็กทึบ

3. การออกแบบการทดลอง

การทดลองเครื่องคัดแยกข้าวตอกจะนำข้าวตอกมาจากโรงงานผลิตกระยาสารที่ยังไม่ได้คัดแยกมาแบ่งเป็นตัวอย่างละ 3 ข้ำ แล้วทำการคัดแยกตามขนาดของแต่ละชั้นด้วยแรงงานคน ต่อไปจึงนำตัวอย่างที่คัดแยกด้วยคนไปทำการคัดแยกด้วยเครื่องอีกครั้ง โดยมีตัวแปรที่ทดลองคือความเร็วตะแกรงโยกของมอเตอร์และมุมเอียงของตะแกรงโยกแสดงดัง Fig. 3 เก็บข้อมูลของตัวแปรตามคือเวลาการคัดแยกและมวลที่ผ่านตะแกรงแต่ละชั้น หลังจากนั้นคำนวณออกมาเป็นค่าชี้วัดคือความสามารถในการคัดแยกดังสมการที่ (9) และอัตราส่วนประสิทธิผลของการคัดแยกดังสมการที่ (10)

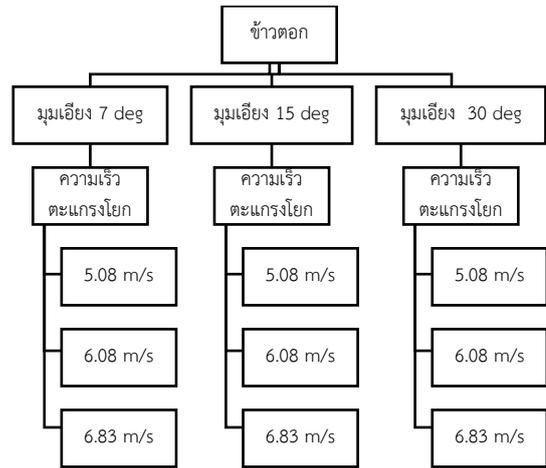


Fig. 3 Experimental plan of popped rice separation

$$cap_{sep} = \frac{m_{sep}}{t_{sep}} \quad (9)$$

$$eff_{sep} = \frac{machine_{sep}}{labor_{sep}} \times 100 \quad (10)$$

โดยที่

- cap_{sep} = machine capacity kg/hr
- m_{sep} = Total mass of separation kg
- t_{sep} = Time of separation hr
- eff_{sep} = Efficiency of separation %
- labor_{sep} = Mass of labor separation kg
- mach_{sep} = Mass of machine separation kg

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาประกอบด้วย ผลคุณลักษณะของข้าวตอก ผลการสร้างเครื่องคัดแยกข้าวตอก ผลการคัดแยกข้าวตอกด้วยแรงงานคน และผลการคัดแยกข้าวตอกด้วยเครื่องโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 ผลคุณลักษณะของข้าวตอก

การวัดลักษณะของข้าวตอกโดยใช้เวอร์เนียร์ ซึ่งมวลด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล และหามุมเอียงด้วยการไหลลงแผ่นเหล็ก จากการสุ่มตัวอย่าง 100 เมล็ดได้ผลดัง Table 1 จะเห็นได้ว่าขนาดของข้าวตอกชั้นที่ 1 หรือข้าวตอกดอกโต ดัง Fig. 4 และ ชั้นที่ 2 หรือข้าวตอกตกเกรดดัง Fig. 5 ซึ่งมี

ขนาดต่างกันไม่มากนัก ส่วนใหญ่แล้วข้าวตอกชั้นที่ 1 จะเป็นข้าวตอกที่ตอกบานเต็มที่เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งสังเกตได้ว่าเป็นตอกที่มีความหนาแน่นของเมล็ดต่ำกว่าชั้นที่ 2 ที่มีส่วนที่ยังบานไม่เต็มที่และบางส่วนยังมีแกลบติดมากับข้าวตอกด้วย ซึ่งชาวบ้านเรียกข้าวตอกชนิดนี้ว่า “คาบตอก” มีลักษณะแสดงดัง Fig. 6

Table 1 Properties of popped rice

Popped rice	Mass (g)	Length (mm)	Thicknes s (mm)	Width (mm)	Incline (deg)
Layer 1	18.40	11.48	3.95	7.20	31.05
Layer 2	19.54	10.49	4.13	5.38	



Fig. 4 Big popped rice that passed the firsts sieve



Fig. 5 Fell grade of popped rice or passed the second sieve



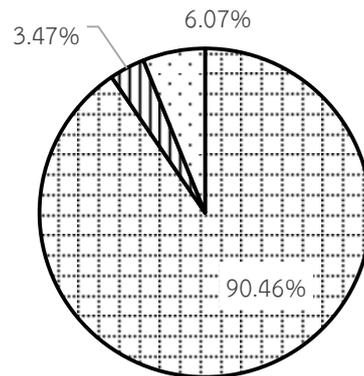
Fig. 6 Popped rice with husk

1.2 ผลการสร้างเครื่องคัดแยกข้าวตอก

ตะแกรงโยกมีขนาดความกว้าง 600 mm ยาว 1600 mm และสูง 530 mm ชั้นที่ 1 นับจากชั้นบนเป็นตะแกรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรง 6 mm ชั้นที่ 2 เป็นตะแกรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm และชั้นล่างสุดเป็นถาดรอง โดยที่ผนังของแต่ละชั้นทำด้วยแผ่นไม้หนา 3 mm ส่วนโครงตะแกรงทำจากเหล็กฉาก 25.4 mm x 25.4 mm หนา 2 mm โครงสร้างเครื่องมีมิติด้านกว้าง 1000 mm ยาว 1600 mm และสูง 1000 mm โดยใช้เหล็กกล่อง 38 mm x 38 mm หนา 3 mm เป็นโครงสร้างหลัง ถังป้อน มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 650 x 850 x 400 mm มุมเอียงของถังประมาณ 54.30 deg และบริเวณช่องปล่อยข้าวตอกมีขนาด 8 x 8 mm และมีลิ้นปิดเปิดควบคุมอัตราการไหล ชุดต้นกำลังประกอบด้วย ลูกเบี้ยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm ระยะแขน 300 mm แกนเพลลาต่อเข้ากับพูลเลย์ขนาด 356 mm ซึ่งส่งกำลังผ่านสายพานด้วยมอเตอร์ขนาด 746 W

1.3 ผลการคัดแยกข้าวตอกด้วยแรงงานคน

เป็นการสู่มข้าวตอกที่ซื้อมาจากเกษตรกรเพื่อนำมาคัดแยกด้วยมือเพื่อเลือกขนาดตอกโตสำหรับทำกระยาสารท โดยการใช้แรงงานคนคัดแยกด้วยมือพบว่าข้าวตอกตอกโตมีสัดส่วน 90.46% ข้าวตอกตอกเกรด 3.47% นอกจากนี้ยังมีข้าวตอกคาบตอก เศษฝุ่นและสิ่งเจือปนในสัดส่วน 6.07% แสดงดัง Fig. 7



▣ ข้าวตอกตอกโต ▣ ข้าวตอกตอกเกรด ▣ เศษฝุ่นและสิ่งเจือปน

Fig. 7 Separation popped rice by labor

1.4 ผลการคัดแยกข้าวตอกด้วยเครื่องคัดแยก

การคัดแยกข้าวตอกด้วยเครื่องศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตะแกรงโยกและมุมเอียงของตะแกรงจากชั้นที่ 1 พบว่าที่มุมเอียง 30 deg สำหรับทุกความเร็วตะแกรงโยกสามารถคัดแยกได้สัดส่วนข้าวตอกดอกโต 85% - 93% แสดงดัง

Fig. 8 แต่สำหรับความเร็วตะแกรงโยก 6.83 m/s ไม่เหมาะสมกับมุมเอียงของตะแกรงที่มีค่าน้อย เนื่องจากไม่สามารถทำให้ข้าวตอกเคลื่อนที่ไปทางช่องออกได้จึงเหลือที่ติดค้างอยู่บนตะแกรงจำนวนมาก สำหรับข้าวตอกตกเกรดหรือข้าวตอกที่ไหลผ่านรูตะแกรงกลม 6 mm ลงมาสู่ตะแกรงชั้นที่ 2 ซึ่งจะเป็นสัดส่วนที่แปรตามสัดส่วนชั้นที่ 1 กล่าวคือหากที่ตะแกรงชั้นที่ 1 มีข้าวตอกไหลออกที่ช่องทางออกมาก จำนวนข้าวตอกตกเกรดก็จะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งผลที่ได้จากการคัดแยกอยู่ในช่วงประมาณ 2% - 4%

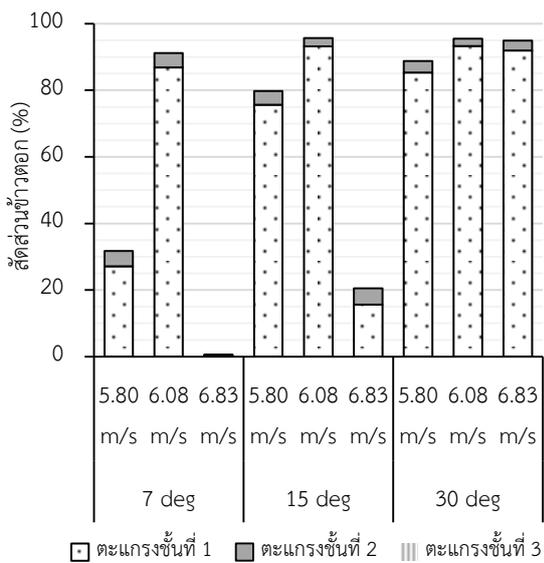


Fig. 8 Proportion of popped rice

ในส่วน of ข้าวตอกที่แตกหักและสิ่งเจือปนจะตกสู่ถาดรองชั้นที่ 3 ซึ่งมีค่าน้อยมาก สำหรับความเร็วตะแกรงโยก 6.83 m/s ที่มุมเอียง 7 deg เนื่องจากความเร็วตะแกรงโยกมีค่าน้อยมาก จึงส่งผลให้ไม่มีการไหลของข้าวตอกและติดอยู่กับเครื่องจำนวนมาก ดัง

Fig. 9 แต่สำหรับมุมเอียง 30 deg ทุกความเร็วของตะแกรงโยกสามารถคัดแยกสิ่งเจือปนได้ดี

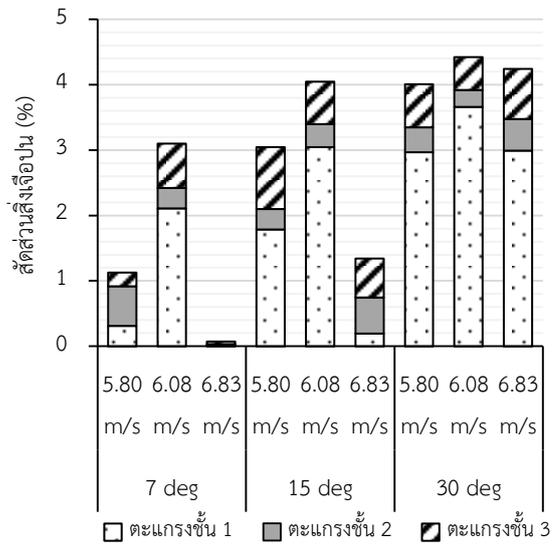


Fig. 9 Proportion of impurity

ค่าปริมาณการสูญเสียหมายถึง ปริมาณข้าวตอกที่ไม่สามารถคัดแยกออกมาได้หรือเป็นข้าวตอกที่ตกค้างบนตะแกรงและติดที่รูตะแกรง ในการคัดแยกข้าวตอกจะเห็นว่าที่มุมเอียง 7 deg ทุก ๆ ความเร็วตะแกรงโยกจะมีค่ามากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ เนื่องจากความเร็วของตะแกรงโยกและมุมเอียงไม่สัมพันธ์กัน แต่แนวโน้มของมุมเอียง 7 deg และ 15 deg มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือ ที่ความเร็วตะแกรงโยก 6.08 m/s จะมีสัดส่วนปริมาณสูญเสียที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับความเร็วตะแกรงโยกอื่น ๆ ในขณะเดียวกันที่มุมเอียง 30 องศา มีแนวโน้มการสูญเสียลดลงเมื่อความเร็วตะแกรงโยกเพิ่มกั้ดัง Table 2 เมื่อพิจารณาความสามารถในการคัดแยกข้าวตอกดัง Table 2 จะเห็นได้ว่า ความสามารถในการคัดแยกสูงสุดที่ความเร็วตะแกรงโยก 1161 m/s มุมเอียง 15 deg ประมาณ 6 kg/hr ซึ่งความสามารถของการคัดแยกที่มุมเอียง 30 deg มีความสามารถต่ำเนื่องจากว่าใช้เวลาในการคัดแยกนานกว่า เพราะข้าวตอกยังมีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง แต่ที่มุมเอียง 7 deg ไม่มีการเคลื่อนที่ของข้าวตอกจึงต้องหยุดเวลาในการทดลองเร็วกว่าจึงทำให้ความสามารถสูงเมื่อเทียบกับปริมาณข้าวตอกที่เท่ากัน

Table 2 Loss and separation capacity

Incline (deg)	Sieve velocity (m/s)	Loss (%)	Separation capacity (kg/hr)
7	5.80	67.19	0.29
	6.08	5.78	0.99
	6.83	99.37	0.02
15	5.80	17.17	1.82
	6.08	0.24	5.58
	6.83	78.15	0.22
30	5.80	7.19	4.67
	6.08	0.12	0.61
	6.83	0.33	1.26

อัตราส่วนประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ยของเครื่องได้ทำการเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างการคัดแยกด้วยเครื่องกับการคัดแยกด้วยแรงงานคน จะเห็นได้ว่าที่มุมเอียง 30 deg สำหรับทุกความเร็วตะแกรงโยกมีประสิทธิภาพการคัดแยกใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 60% -65% แต่ประสิทธิภาพสูงสุดของการทดลองชุดนี้คือที่ความเร็วตะแกรงโยก 6.08 m/s มุมเอียง 7 deg ซึ่งมีค่า 65.31% (Table 3)

Table 3 Separation efficiency ratio

Incline (deg)	Sieve velocity (m/s)	Efficiency ratio (%)		
		layer 1	layer 2	average
7	5.80	29.93	37.35	33.64
	6.08	96.01	34.62	65.31
	6.83	0.48	0.94	0.71
15	5.80	83.60	33.73	58.66
	6.08	103.02	20.45	61.74
	6.83	17.22	40.02	28.62
30	5.80	94.29	28.43	61.36
	6.08	103.06	18.1	60.58
	6.83	101.59	28.59	65.09

2. วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาเกี่ยวกับการทำความสะอาดและการคัดแยกข้าวตอก ความสัมพันธ์ของความเร็วการโยกของตะแกรงและมุมเอียงของตะแกรงต้องมีความสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม อีกทั้งยังคงต้องศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการป้อนของข้าวตอกด้วยเพื่อให้ผลการทำความสะอาดและคัดแยกได้ผลดี นอกจากนี้หากมีการนำระบบของไซโคลอนมาช่วยดักฝุ่นอาจทำให้ผลการคัดแยกดีขึ้นได้

สรุปผลการวิจัย

การคัดแยกข้าวตอกขนาดใหญ่สำหรับการทำกระยาสารด้วยการคัดแยกด้วยเครื่องได้ผลของประสิทธิภาพในการคัดแยกน้อยกว่าการคัดแยกด้วยแรงงานคน ซึ่งเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ของความเร็วตะแกรงโยกและมุมเอียงของตะแกรงโยก ซึ่งความสัมพันธ์ที่ดีสำหรับการทดลองนี้คือที่ความเร็วตะแกรงโยก 6.83 m/s มุมเอียง 30 degrees สามารถคัดแยกข้าวตอกชั้นที่ 1 ได้ค่อนข้างสูงคือ 91% และมีอัตราส่วนประสิทธิภาพของการคัดแยกเฉลี่ย 65% อย่างไรก็ตาม ค่าที่เหมาะสมนี้ยังคงต้องมีการทดลองต่อ ในกรณีที่มีการไหลของความตอกอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตะแกรงโยกและมุมเอียงที่เหมาะสมต่อการทำงานจริง นอกจากนี้ยังคงต้องศึกษาอัตราการป้อนที่เหมาะสมและมีความสัมพันธ์กับความเร็วยกและมุมเอียงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องซึ่งขอขอบพระคุณโครงการ ทาเลนทิมอบิลิตี้ (Talent Mobility) ที่กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ทุนสนับสนุน ขอขอบพระคุณ บริษัท ปรานีฟู้ด 2017 จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดลอง

References

- Al-Mogahwi, H. and Baker, C.G. 2008. Performance evaluation of mills and separators in a commercial flour mill. *Food Bioprod. Process.* 83(1): 25-35.
- Bhattacharya, K.R. and Ali, S.Z. 2015. *An introduction to rice-grain technology.* CRC Press: New Delhi.
- Bhatupadya, V.G., Bhat, R.S., Shenoy, V.V. and Salimath, P.M. 2008. Physico-chemical characterization of popping - special rice accessions. *Karnataka J. Agric. Sci.* 21(2): 184-186.
- Budynas, R.G. and Nisbett, J.K. 2011. *Shigley's mechanical engineering design.* The McGraw-Hill Companies, Inc: New York.
- Peck, R., Olsen, C. and Devore, J.L. 2016. *Introduction to statistics and data analysis.* Cengage Learning: Massachusetts.
- Shimoni, E., Dirks, E.M. and Labuza, T.P. 2002. The relation between final popped volume of popcorn and thermal physical parameters. *Food Sci. Technol.* 34: 93-98.
- Song, A. and Eckhoff, S.R. 1994. Optimum popping moisture content. *Cereal Chem.* 71: 458-460.
- Stephenson, J.H. 2013. *Fram engines and how to run them.* Skyhorse Publishing, Inc: New York.
- Sultanbawa, F.M., Owens, W. and Pandiella, S. 2001. A new approach to the prediction of particle separation by sieving in flour milling. *Food Bioprod. Process.* 79(4): 211-218.
- Swarnakar, A.K., Devi, M.K. and Das, S.K. 2014. Popping characteristics of paddy using microwave energy and optimization of process parameters. *Int. J. Food Studies.* 3: 45-59.
- Wattanukul, U., Sai, S. and Khoabaht, W. 2013. Effect of temperature on roast of Sungyod Phatthalung popped rice to nutritional values. *Proceeding of the 5th Rajamangala University of Technology National Conference.* July 15-16, 2013. Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok.
- Wikihow. 2017. Wiki how to make puffed rice [online]. [Accessed October 10, 2016]. Available from: URL: <http://www.wikihow.com/Make-Puffed-Rice>.
- Wimberly, J.E. 1983. *Technical handbook for the paddy rice postharvest industry in developing countries.* International Rice Research Institute: Laguna.

ศักยภาพเครื่องปฏิกรณ์กวนชีวภาพแบบฟลูอิดไรซ์เบดตัวกลางถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

รัฐพล สุขสมบูรณ์* และ ชัยยันต์ จันทศิริ

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเครื่องปฏิกรณ์กวนชีวภาพแบบฟลูอิดไรซ์เบดตัวกลางถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Moving fluidized bed bioreactor - granular activated carbon, MFBBR- GAC) MFBBR- GAC ทำจากอะคริลิกทรงกระบอกตั้งสูงมีทิศการไหลขึ้นแบบเกลียวเชื่อมต่อกับถังรวบน้ำเสียพบว่าความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของ 2 ตัวแปร คือ น้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) ของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (GAC) เท่ากับ 4 กก. ความสูงเริ่มต้นของชั้นกรองอิมตัว (h_0) เท่ากับ 0.55 ม. กับอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) ระหว่าง 10-15 ลิตร/นาที เข้ากระแทกชุดกอล้อหัวฉีดน้ำแบบติดตาย (Impact nozzle jet water of Wheel fixed) จากการศึกษพบว่าอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) ตั้งแต่ 13 ถึง 15 ลิตร/นาที มีค่า%กระจายตัวของชั้นกรอง (Percentage distribution of bed, DB%) มากกว่า 90 ค่าชี้ผลการเคลื่อนที่ คือ ความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement height of bed: h_b) เท่ากับ 0.115, 0.124, 0.132 ม. เวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement time of bed: t_b) เท่ากับ 12.06, 11.79, 11.55 วินาทีมุมองศาการหมุนของชั้นกรอง (Movement Degrees of bed: θ_b) เท่ากับ 44.13, 42.66, 41.80 และความเร็วรอบของชั้นกรอง (Stirrer speed of bed: N_b) เท่ากับ 25, 28, 31 รอบ/นาที การกำจัดค่าซีโอดีได้มากกว่า 95% ของน้ำเสียชุมชนคือน้ำเสียชักล้างใช้เวลากักเก็บการหมุนเวียน (HReT) เท่ากับ 2 ชั่วโมง และ MFBBR- GAC บำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ทางการเกษตรได้

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด และ เครื่องปฏิกรณ์กวนชีวภาพแบบฟลูอิดไรซ์เบดตัวกลางถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: Rpol9@hotmail.com

The Performance of Moving Fluidized Bed Bioreactor - Granular Activated Carbon, MFBBR- GAC

Rattapol Suksomboon* and Chaiyan Junsiri

Department of Agricultural Engineering, Khon Kaen University, Muang, Khon Kaen, 40002, Thailand

Abstract

The objective of this study was to study the moving fluidized bed bioreactor – granular activated carbon (GAC). The result of using MFBBR – GAC, a highly cylindrical acrylic tank with spiral flow connected with waste water reactor, found that the optimal correlation of these variables are as follows: a dry weight (W_{Dry}) of GAC was 4 kg., the initial height of bed (h_0) was 0.55 m., the percentage distribution of bed (DB%) of a flow rate of recirculation between 10 to 15 L/min impact nozzle jet water of Wheel fixed. The results showed that the flow rate (Q_{Re}) from 13 to 15 L/min had the percentage distribution of bed (DB%), higher than 90 percent. The indicators of moving bed were the movement height of bed (h_B) equaled 0.115, 0.124, 0.132 m., the movement time of bed (t_B) equaled 12.06, 11.79, 11.55 sec., the movement degrees of bed (θ_B) equaled 44.13, 42.66, 41.80 degree, and the bed's the stirrer speed equaled 25, 28, 31 rpm. This system can remove COD removal efficiency, higher than 95% of domestic wastewater that is wash water, and the hydraulic recirculation time (HReT) was 2 hrs and MFBBR – GAC purposely managed to utilize the treated wastewater for agricultural use.

Keywords: Granular activated carbon (GAC) and Moving fluidized bed bioreactor - granular activated carbon (MFBBR- GAC)

* Corresponding author: E-mail: Rpol9@hotmail.com

บทนำ

บ้านเรือนจัดเป็นแหล่งที่มาของมลพิษทางน้ำที่มีสารหรือสิ่งปนเปื้อนที่ไม่พึงปรารถนาปนอยู่ การปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเหล่านี้ทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจนอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ กิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ประกอบไปด้วย น้ำเสียจากการซักล้าง น้ำเสียจากครัวเรือนและจากสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ซึ่งในเกือบทุกหลังคาเรือนยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียซักล้างยังคงระบายลงสู่แหล่งน้ำหรือสิ่งแวดล้อมทำให้แหล่งน้ำนั้นกลายเป็นแหล่งน้ำที่มีสภาพเสื่อมโทรมหรือน้ำเน่าเสียมีสีดำและส่งกลิ่นเหม็น (Pollution Control Department, 2012) เพื่อนำน้ำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรต่อไป จึงควรบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีที่เหมาะสม หากบำบัดน้ำเสียนั้นสามารถกำจัดความน่ารังเกียจก็สามารถมีประโยชน์และคุณค่าขึ้นมาได้ (Roongvisai, 2004; Sensai, 2004)

เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิดไอซ์เบด (Fluidized bed bioreactor, FBBR) คือลักษณะการเคลื่อนที่การไหลตามกันไปในแนวตั้งระหว่างของเหลวและของแข็งถูกใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนมานานกว่า 20 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเดิมเช่น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบโปรยกรอง (Trickling filter: TF) และระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนที่ใช้งาน (Activated sludge: AS) FBBR มีข้อได้เปรียบกว่าข้ออื่น ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียที่กล่าวมา (Sutton *et al.*, 1981; Hare *et al.*, 1988; Sutton and Mishra, 1994) ตัวกลางที่เหมาะสมกับ FBBR ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon, GAC) ทราย เปอร์ไลต์ ซีโอไลต์ และ หินลาวา (Yu and Luo, 2002; Fernandez *et al.*, 2007; Sowmeyan and Swaminathan, 2008) โดย GAC เป็นที่นิยมเพราะสามารถให้แผ่นฟิล์มจุลชีพเกาะผิวตัวกลางหนาเพิ่มขึ้นและการสะสมของชีวภาพที่ดีเนื่องจากชั้นกรองมี Specific biofilm surface area ราว ๆ 1,600-2,000 ตร.ม./ลบ.ม. (Qasim *et al.*, 2000) และสามารถรับโพลีสารอินทรีย์ปริมาณมากได้ จากรายงานวิจัยพบว่าการเพิ่มอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) โดยการเพิ่มจำนวนรอบหมุนเวียน (Recirculation ratio, R) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย (Xing *et al.*, 2010; Zafarzadeh *et al.*, 2010) และ

%การกระจายตัวของชั้นกรอง (Percentage distribution of bed, DB%) มากกว่า 90 โดยความเร็วรอบใบกวนชั้นกรอง (N) ในกวนผสมตัวกลางกับน้ำเสียมีการถ่ายเทออกซิเจนได้สม่ำเสมอ (Zafarzadeh *et al.*, 2010)

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีแนวความคิดพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิดไอซ์เบด (Fluidized bed biofilm reactors: FBBR) คือ ลักษณะการเคลื่อนที่การไหลตามกันไปในแนวตั้งระหว่างของเหลวและของแข็งถูกใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนพัฒนาเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบเครื่องปฏิกรณ์กวนชีวภาพแบบฟลูอิดไอซ์เบดตัวกลางถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Moving fluidized bed bioreactor – Granular activated carbon: MFBBR-GAC) เพื่อหาความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปรที่เหมาะสม ได้แก่ น้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) ของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon: GAC) โดยอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) ประกอบค่าชี้ผลการเคลื่อนที่คือ %การกระจายตัวของชั้นกรอง (Percentage distribution of bed: DB%) มีค่ามากกว่า 90% กับความเร็วรอบของชั้นกรอง (Stirrer speed of bed: N_b) สำหรับบำบัดน้ำซักล้างจากน้ำเสียชุมชนเพื่อนำน้ำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

วิธีดำเนินการวิจัย

MFBBR-GAC เป็นระบบที่ไม่มี ความซับซ้อนในการทำงานสามารถบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีดูดซับกับการย่อยสลายทางชีวภาพ (Fig.1) ทิศทางการไหลของ MFBBR-GAC (Fig. 2) มีลักษณะคล้ายกับถังกวนผสมบูรณมีการกระจายตัวของชั้นกรองในสารอินทรีย์เป็นเนื้อเดียวกันภายในถังกวนหมุนเวียนเท่า ๆ กันทั่วถัง (Metcalf, 1991)

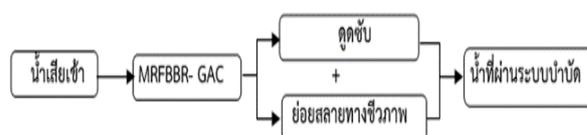


Fig. 1 Processes of MFBBR- GAC system

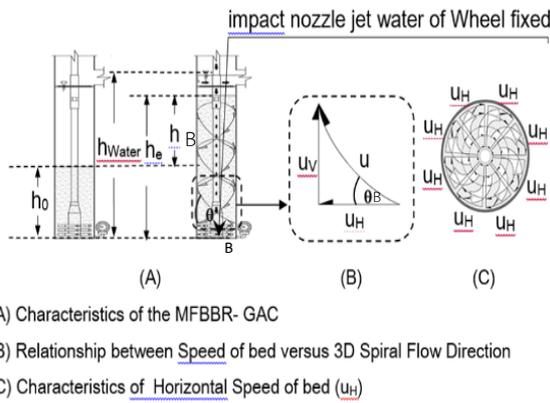


Fig. 2 Hydraulic characteristics MFBBR- GAC

Fig. 2 (A) แสดงการเคลื่อนที่แบบกวนของน้ำเสียกับชั้นกรองจากความสูงเริ่มต้นของชั้นกรองอิมตัว (Initial height of bed: h_0) ถูกความเร็วของน้ำจากอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) กระแทกชุดกอล้อหัวฉีดน้ำแบบติดตาย (Impact nozzle jet water of Wheel fixed) มีทิศการไหลขึ้นแบบเกลียวทำให้ชั้นกรองถูกยกลอยตัวขึ้นเป็นความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement height of bed: h_b) ผลรวมของความสูงทั้งสองคือความสูงการขยายตัวสูงสุด (Height of the expanded bed: h_e) คิดเป็น%กระจายตัวของชั้นกรอง (Percentage distribution of bed, DB%) เทียบกับความสูงระดับน้ำล้น (h_{Water}) ดังแสดงในสมการที่ 1

$$\% DB = \frac{h_e}{h_{Water}} \times 100 \quad (1)$$

Fig. 2 (B) แสดงถึงความสัมพันธ์ความเร็วหมุนของชั้นกรองมีทิศทาง 3 มิติ ประกอบไปด้วย Fig. 2 (C) ความเร็วแนวราบของชั้นกรอง (u_H) ทำมุม 90 องศา กับความเร็วแนวตั้งของชั้นกรอง (u_V) มีค่าเท่ากับความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (h) ทหารด้วยเวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement time of bed: t_B) มีทิศการไหลขึ้นมุม 90 องศา ได้ความเร็วลัพท์ (u) ซึ่งทำมุมองศาการหมุนของชั้นกรอง (Movement degrees of bed: θ_B) กับความเร็วแนวราบของชั้นกรอง (u_H) (Vennard and Street, 1982) แสดงความสัมพันธ์ความเร็วลัพท์ของชั้นกรอง (u) กับความเร็วแนวตั้งของชั้นกรอง (u_V) ดังแสดงในสมการที่ 2

$$\frac{u}{\sin 90} = \frac{u_V}{\sin(\theta_B)} \quad (2)$$

จัดรูปความเร็วลัพท์ (u) ในรูปความเร็วเชิงมุม (ω) ของชั้นกรอง (Daugherty and Franzini, 1989) ดังแสดงในสมการที่ 3

$$u = \omega r = \omega \frac{D_R}{2} = \frac{u_V}{\sin(\theta_B)} \quad (3)$$

จัดรูปสมการที่ 3 ในรูปความเร็วเชิงมุมของชั้นกรอง (ω) ดังแสดงในสมการที่ 4

$$\omega = \frac{2u_V}{D_R \sin(\theta_B)} \quad (4)$$

สร้างสมการความเร็วเชิงมุมของชั้นกรอง (ω) ในเทอมของความเร็วรอบของชั้นกรอง (Stirrer speed of bed: N_B) ดังแสดงในสมการที่ 5

$$\omega = \frac{N_B \pi D_R}{60} \quad (5)$$

นำสมการที่ 4 เท่ากับสมการที่ 5 ดังแสดงในสมการที่ 6

$$\frac{N_B \pi D_R}{60} = \frac{2u_V}{D_R \sin(\theta_B)} \quad (6)$$

จัดรูปสมการในเทอมของความเร็วรอบของชั้นกรอง (Stirrer speed of bed: N_B) ดังแสดงในสมการที่ 7

$$N_B = \frac{30u_V}{A_R \sin(\theta_B)} \quad (7)$$

จากความเร็วแนวตั้ง (u_V) มีค่าซึ่งผลคือความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement height of bed: h_b) ทหารด้วยเวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement time of bed: t_B) แทนในสมการที่ 7 ได้สมการความเร็วรอบของชั้นกรอง (Stirrer speed of bed: N_B) ดังแสดงในสมการที่ 8

$$N_B = \frac{30h_B}{A_R(t_B) \sin(\theta_B)} \quad (8)$$

เมื่อ N_B คือความเร็วรอบของชั้นกรอง (รอบ/นาที) t_B คือ เวลาเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (วินาที) A_R คือ พื้นที่ของถังปฏิกรณ์ (ตร.ม.) θ_B คือ มุมองศาการหมุนของชั้นกรอง (องศา)

1. การศึกษาการเคลื่อนที่ของระบบ MFBBR- GAC

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เพื่อหาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของ 2 ตัวแปรได้แก่ น้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) ของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (GAC) ขนาดอนุภาค (d_p) เท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกัน 7 ระดับ คือ 1, 1.5, 2, 2.5, 3.5 และ 4 กก. บ่มน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในทรงกระบอกตั้งสูง 1 เมตร ทำจากอะคริลิคความสูงเริ่มต้นของชั้นกรองอิมตัว (Initial height of bed: h_0) ในทรงกระบอก กับอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) มีความแตกต่างกัน 6 ระดับคือ 10, 11, 12, 13, 14 และ 15 ลิตร/นาที ทำการเปิดปั๊มปล่อยน้ำเสีย (Feeding pump) และปั๊มน้ำเสียไหลเวียน (Recirculation pump) กระแทกชุดกอล้อหัวฉีดน้ำแบบติดตาย (Impact nozzle jet water of Wheel fixed) (Fig. 3) เพื่อศึกษาผลของการเคลื่อนที่ดังสมการที่ 8 คือ ความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement height of bed: h_B) เวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement time of bed: t_B) และมุมองศาการหมุนของชั้นกรอง (Movement degrees of bed: θ_B) ใช้ประกอบการคำนวณ%การกระจายตัวของชั้นกรอง (Percentage Distribution of Bed, DB%) กับความเร็วรอบของชั้นกรอง (Stirrer speed of bed: N_B)

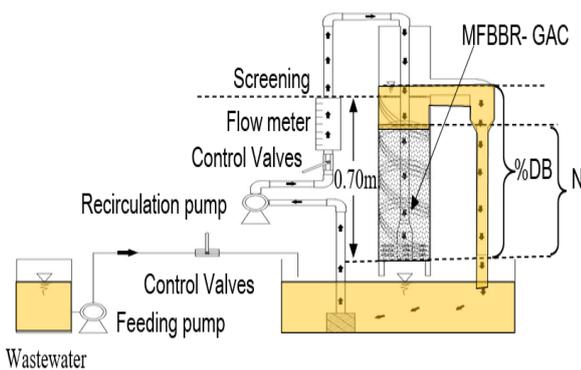


Fig. 3 Experimental set-up of MFBBR- GAC system

1.1 ศึกษาความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (movement height of bed: h_B)

เพื่อหาความสัมพันธ์ความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement height of bed: h_B) กับน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) และอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) ปรับเทียบ 6 สมการด้วยค่าความชันคงที่ (Slope constant: a) และค่าคงที่ยกกำลัง (Exponent constant: b)

1.2 ศึกษาเวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement time of bed: t_B)

เพื่อหาความสัมพันธ์เวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement time of bed: t_B) กับน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) และอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) ปรับเทียบ 6 สมการด้วยค่าความชันคงที่ (Slope constant: a) และค่าคงที่ยกกำลัง (Exponent constant: b)

1.3 ศึกษามุมองศาการหมุนของชั้นกรอง (Movement degrees of bed: θ_B)

เพื่อหาความสัมพันธ์มุมองศาการหมุนของชั้นกรอง (Movement degrees of bed: θ_B) กับน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) และอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) ปรับเทียบ 6 สมการด้วยค่าความชันคงที่ (Slope constant: a) และค่าคงที่ยกกำลัง (Exponent constant: b)

1.4 การคำนวณการเคลื่อนที่ของระบบ MFBBR- GAC

ในการคำนวณการเคลื่อนที่โดยใช้น้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) เท่ากับ 4 กก. เนื่องจากการดูดซับและย่อยสลายทางชีวภาพมากที่สุดกับอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) มีความแตกต่างกัน 6 ระดับคือ 10, 11, 12, 13, 14 และ 15 ลิตร/นาที ทำการคัดเลือก%การกระจายตัวของชั้นกรอง (Percentage distribution of bed, DB%) ที่มากกว่า 90 จากสมการที่ 1 และ แสดงค่าชี้ผล คือ ความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement height of bed: h_B) เวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement time of bed: t_B) และมุมองศาการหมุนของชั้นกรอง (Movement degrees of bed: θ_B) ในการหาความเร็วรอบของชั้นกรอง (Stirrer speed of bed: N_B) จากสมการที่ 8

2. การทดสอบด้านคุณภาพน้ำของระบบ MFBBR- GAC

ทดสอบด้านคุณภาพน้ำของระบบ MFBBR- GAC บำบัดน้ำเสียชุมชนคือน้ำเสียซักล้างมีค่าชี้ผลทางด้านคุณภาพน้ำคือค่า ซีโอดี บรรจุความเหมาะสมของน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) ในถังอะคริลิค ใช้ช่วงอัตราการไหลหมุนเวียน

(Q_{Re}) ด้วยปั๊มน้ำเปล่าไหลเวียน (Recirculation pump) และเปิดปั๊มปล่อยน้ำเสีย (Feeding pump) น้ำเสียซักล้างเข้า (Q_{In}) เท่ากับ 20 ลิตร/วิน ในถังรวบน้ำเสีย (Wastewater reactor) ซึ่งความบรรจุน้ำเสียซัก-ล้าง 20 ลิตร (Pollution control department, 2012) ใช้เวลาเก็บเก็บหมุนเวียน (HReT) เท่ากับ 2 ชั่วโมง (Kim *et al.*, 2007)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการเคลื่อนที่ของระบบ MFBBR- GAC

จากความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปรที่เหมาะสม ได้แก่ น้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) ของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon) กับอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) คำนวณค่าชี้ผลการเคลื่อนที่คือ ความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement height of bed: h_B) เวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement time of bed: t_B) และมุมมองการหมุนของชั้นกรอง (Movement degrees of bed: θ_B) ใช้ประกอบการคำนวณ%การกระจายตัวของชั้นกรอง (Percentage distribution of bed, DB%) ที่มากกว่า 90 กับความเร็วรอบของชั้นกรอง (Stirrer speed of bed: N_B) มีผลการศึกษา ดังนี้

1.1 ผลการศึกษาความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement height of bed: h_B)

จากการศึกษาพบว่าความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement height of bed: h_B) แปรผันตรงกับน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) และอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) จากการวิเคราะห์ (Fig. 4) ได้ 6 สมการยกกำลังความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement height of bed: h_B) เท่ากับ ค่าความชันคงที่ a (Slope constant, a) คูณน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) ยกกำลังค่าคงที่ b (Exponent constant, b) 0.671 ดังแสดงในสมการที่ 9

$$h_B = aW_{Dry}^{0.671} \tag{9}$$

เปรียบเทียบ 6 สมการด้วยค่าความชันคงที่ a (Slope constant, a) (Fig. 5) ได้สมการความสูงการเคลื่อนที่ของ

ชั้นกรอง (Movement height of bed: h_B) ดังแสดงในสมการที่ 10

$$h_B = 0.004Q_{Re}^{0.948}W_{Dry}^{0.671} \tag{10}$$

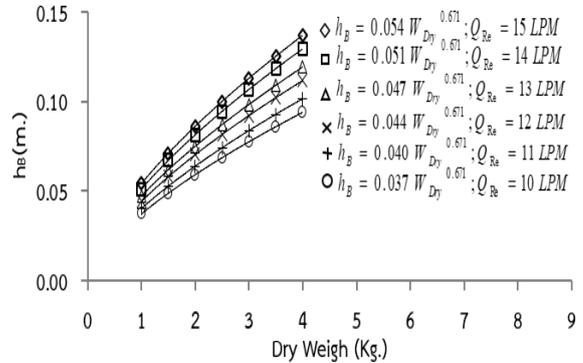


Fig. 4 Relationship between the movement height of bed (h_B) versus dry weight of activated carbon granular (W_{Dry})

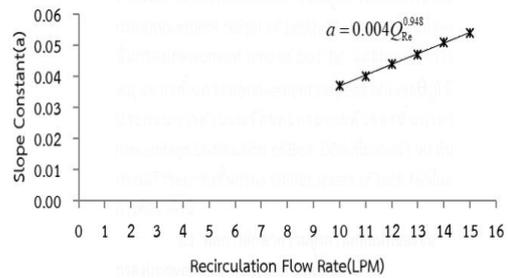


Fig. 5 Relationship between slope constant (a) versus recirculation flow rate (Q_{Re})

1.2 ผลการศึกษาเวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement time of bed: t_B)

จากการศึกษาพบว่าเวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement time of bed: t_B) แปรผกผันกับน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) และอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) จากการวิเคราะห์ (Fig. 6) ได้ 6 สมการยกกำลังเวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (t) เท่ากับค่าความชันคงที่ a (Slope constant, a) คูณน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) ยกกำลังค่าคงที่ b (Exponent constant, b) 0.218 ดังแสดงในสมการที่ 11

$$t_B = aW_{Dry}^{0.218} \tag{11}$$

$$\theta_B = aW_{Dry}^b \quad (13)$$

เปรียบเทียบ 6 สมการด้วยค่าความชันคงที่ (Slope constant, a) (Fig. 7) ได้สมการเวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement time of bed: t_B) ดังแสดงในสมการที่ 12

$$t_B = 19.24Q_{Re}^{-0.30}W_{Dry}^{0.218} \quad (12)$$

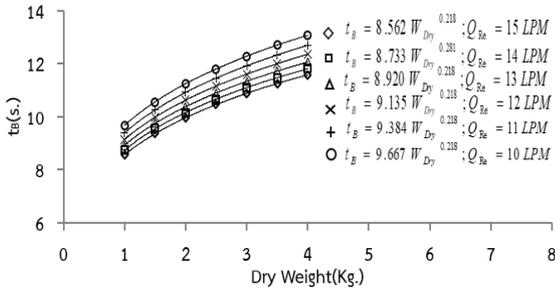


Fig. 6 Relationship between time of the moving bed (t) versus dry weight of activated carbon granular (W_{Dry})

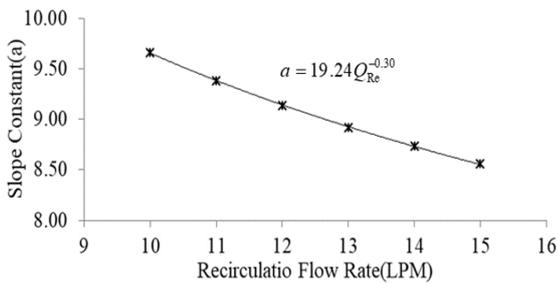


Fig. 7 Relationship between slope constant (a) versus recirculation flow rate (Q_{Re})

1.3 ผลการศึกษามุมมองการหมุนของชั้นกรอง (Movement degrees of bed: θ_B)

จากการศึกษาพบว่าพหุนามองศาการหมุนของชั้นกรอง (Movement degrees of bed: θ_B) แปรผันตรงกับน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) และแปรผกผันกับอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) จากการวิเคราะห์ (Fig.8) ได้ 6 สมการยกกำลังมุมมองการหมุนของชั้นกรอง (Movement degrees of bed: θ_B) เท่ากับค่าความชันคงที่ a (Slope constant, a) คูณน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) ยกกำลังค่าคงที่ b (Exponent constant, b) ดังแสดงในสมการที่ 13

เปรียบเทียบ 6 สมการด้วยค่าความชันคงที่ (Slope constant, a) (Fig. 9) และค่าคงที่เลขยกกำลัง (Exponent constant, b) (Fig. 10) ดังแสดงในสมการที่ 14

$$\theta_B = 4431.35Q_{Re}^{-2.59}W_{Dry}^{0.11}Q_{Re}^{1.01} \quad (14)$$

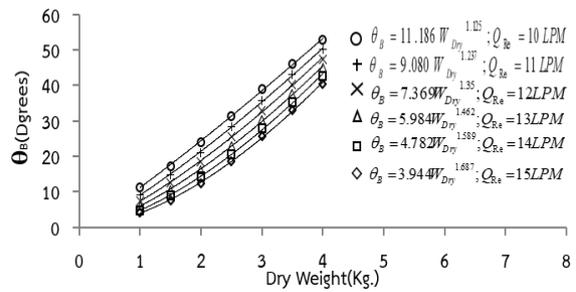


Fig. 8 Relationship between degrees of the movement degrees of bed (θ_B) versus dry weight of activated carbon granular (W_{Dry})

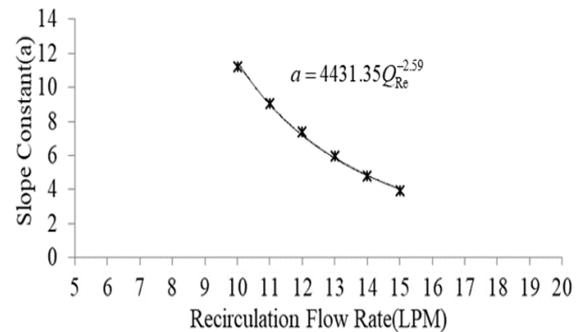


Fig. 9 Relationship between Slope constant (a) versus Recirculation Flow Rate (Q_{Re})

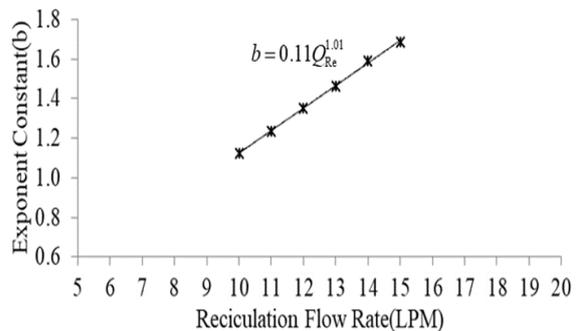


Fig. 10 Relationship between exponent constant (b) versus recirculation flow rate (Q_{Re})

1.4 ผลการการคำนวณการเคลื่อนที่ของระบบ MFBBR- GAC

จากข้อมูลใน Table 1 ระบบ MFBBR- GAC มีพื้นที่ของถังปฏิกรณ์ (A_R) เท่ากับ 0.0165 ตร.ม. ผลการทดสอบน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) เท่ากับ 4 กก. พบว่า ความสูงเริ่มต้นของชั้นกรองอิมตัว (Initial height of bed: h_0) เท่ากับ 0.55 ม. กับอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) ระหว่าง 10-15 ลิตร/นาที เข้ากระแทกชุดกึ่งล้อหัวฉีดน้ำแบบติดตาย (Impact nozzle jet water of Wheel fixed) จากการศึกษาพบว่าอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) ตั้งแต่ 13 ถึง 15 ลิตร/นาที มีค่า%การกระจายตัวของชั้นกรอง

(Percentage distribution of bed, DB%) มากกว่า 90 ค่าซึ่งผลการเคลื่อนที่ คือ ความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement height of bed: h_B) เท่ากับ 0.115, 0.124, 0.132 ม. เวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (movement time of bed: t_B) เท่ากับ 12.06, 11.79, 11.55 วินาที มุมองศาการหมุนของชั้นกรอง (Movement degrees of bed: θ_B) เท่ากับ 44.13, 42.66, 41.80 และความเร็วรอบของชั้นกรอง (Stirrer speed of bed: N_B) เท่ากับ 25, 28, 31 รอบ/นาที

Table 1 Performance moving fluidized bed bioreactor - granular activated carbon

W_{Dry} (kg)	Q_{Re} (Lpm)	h_0 (m)	h_B (m)	t_B (s)	θ_B (degree)	h_e (m)	h_{Water} (m)	DB (%)	N_B (rpm)
4	10	0.55	0.090	13.05	54.22	0.64	0.725	88.27	16
4	11	0.55	0.098	12.68	49.60	0.648	0.73	89.04	19
4	12	0.55	0.107	12.35	46.36	0.657	0.735	89.80	22
4	13	0.55	0.115	12.06	44.13	0.665	0.74	90.54	25
4	14	0.55	0.124	11.79	42.66	0.674	0.745	91.28	28
4	15	0.55	0.132	11.55	41.80	0.682	0.75	92.00	31

2. ผลการทดสอบทางด้านคุณภาพน้ำของระบบ MFBBR- GAC

นำผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของระบบ MFBBR- GAC นำน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) เท่ากับ 4 กก. กับอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) 13, 14 และ 15 ลิตร/นาที (Fig. 11) ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนคือน้ำเสียซักล้างมีค่าเริ่มต้นซีโอดี 3,893 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า กำจัดค่าซีโอดีได้มากกว่า 95% ของน้ำเสียชุมชนคือน้ำเสียซักล้างใช้เวลาที่เก็บการหมุนเวียน (HReT) เท่ากับ 2 ชั่วโมง ดังแสดงใน Table 2 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ทางการเกษตรน้ำที่ถูกปรับปรุงจากน้ำเสีย (Roongvisai, 2004; Sensai, 2004) ที่ค่าเริ่มต้นบีโอดีเข้า (BOD_{in}) 60 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ MFBBR- GAC ลดค่าบีโอดี (BOD) ได้ถึง 3 มิลลิกรัม/ลิตร จึงนำไปใช้ทางการเกษตรได้

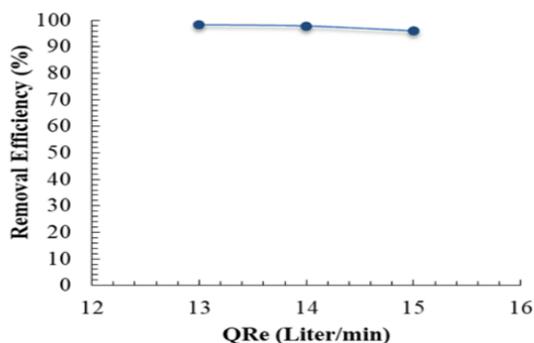


Fig. 11 Performance comparison of MFBBR- GAC with different flow rate of recirculation

Table 2 Performance and standard deviations of the COD removals activity comparison of MFBBR- GAC at different flow rate of recirculation

Q _{Re} (Lpm)	Waste water COD (mg/L) Removal efficiency (%) activity	
	Washing	(%)
0	3,893	0
13	69	98.23
14	85	97.82
15	154	96.04

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาระบบ MFBBR-GAC พบว่าความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของ 2 ตัวแปร คือน้ำหนักแห้ง (W_{Dry}) ของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon, GAC) เท่ากับ 4 กก. ที่ความสูงเริ่มต้นของชั้นกรองอิมตัว (h_0) เท่ากับ 0.55 ม. กับอัตราการไหลหมุนเวียน (Q_{Re}) ตั้งแต่ 13 ถึง 15 ลิตร/นาที มีค่า%การกระจายตัวของชั้น

กรอง (Percentage distribution of bed, DB%) มากกว่า 90 ค่าชี้ผลการเคลื่อนที่คือ ความสูงการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement height of bed: h_b) เท่ากับ 0.115, 0.124, 0.132 ม. เวลาการเคลื่อนที่ของชั้นกรอง (Movement time of bed: t_b) เท่ากับ 12.06, 11.79, 11.55 วินาทีมุมองศาการหมุนของชั้นกรอง (Movement degrees of bed: θ_b) เท่ากับ 44.13, 42.66, 41.80 และความเร็วยรอบของชั้นกรอง (Stirrer speed of bed: N_b) เท่ากับ 25, 28, 31 รอบ/นาที สามารถการกำจัดค่าซีโอดีได้มากกว่า 95% ของน้ำเสียชุมชนคือ น้ำเสียซักล้างใช้เวลากักเก็บการหมุนเวียน (HReT) เท่ากับ 2 ชั่วโมง และ MFBBR-GAC บำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ทางการเกษตรได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

References

Daugherty, R.L. and Franzini, J.B. 1989. Fluid mechanics with engineering applications, SI metric edition. McGraw-Hill: New York.

Fernandez, N., Montalvo, S., Guerrero, L., Sanchez, E., Cortes, I. and Travieso, L. 2007. Anaerobic fluidized bed reactor application totropical fruit wine effluent. Water Sci. Tech. 56: 33–38.

Hare, R.W., Sutton, P.M., Mishra, P.N. and Potochnik, K.F. 1988. Utilization of fluidized bed biological treatment at general motors facilities: pilot and full scale results. Proceeding of the Industrial Waste Symposia, Water Pollution Control Federation: Texas.

Kim, S.W., Park, J.B. and Choi, E. 2007. Possibility of sewage and combined sewer overflow reuse with biological aerated filters. Water Sci. Tech. 55(1-2): 1-8.

Metcalf, E. 1991. Wastewater Engineering. 3rd edition. McGraw – Hill: New York.

Pollution Control Department. 2012. Manual management waste water for households. Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment: Bangkok.

- Qasim, S.R., Motley, E.M. and Zhu, G. 2000. Water works engineering: planning, design and operation. Prentice Hall PTR: New Jersey.
- Roongvisai, P. 2004. Mathematical modeling of constructed wetlands domestic wastewater treatment for agricultural use. M.E. Thesis in Environmental Engineering, Graduate School, Khon Kaen University.
- Sensai, P. 2004. Water quality modeling in improvement of community wastewater ponding areas. M.E. Thesis in Environmental Engineering, Graduate School, Khon Kaen University.
- Sowmeyan, R. and Swaminathan, G. 2008. Evaluation of inverse anaerobic fluidized bed reactor for treating high strength organic waste water. *Bioresour. Technol.* 99: 3877–3880.
- Sutton, P.M. and Mishra, P.N. 1994. Activated carbon based biological fluidized beds for contaminated water and wastewater treatment: a state-of-the-art review. *Water Sci. Tech.* 29(10–11): 309–317.
- Sutton, P.M., Shieh, W.K., Kos, P. and Dunning, P.R. 1981. Dorr-oliver's oxitron system™ fluidized-bed water and wastewater treatment process. In: *Biological fluidized bed treatment of water and wastewater*. P.E. Cooper and B. Atkinson (Eds.), Ellis Horwood: London.
- Vennard, J.K. and Street, R.L. 1982. *Elementary fluid Mechanics*. 6th edition. John Wiley: New York.
- Xing, W., Ngo, H.H., Guo, W.S., Wu, Z.Q., Nguyen, T.T., Cullum, P., Listowski, A. and Yang, N. 2010. Enhancement of the performance of anaerobic fluidized bed bioreactors (AFBBRs) by a new starch based flocculant. *Sep. Purif. Technol.* 72: 140–146.
- Yu, P. and Luo, Y. 2002. Novel water treatment process-combined cationic ionexchange bed and degasifier in a three-phase fluidized bed. *Desalination*. 151: 145–152.
- Zafarzadeh, A., Bina, B., Nikaeen, M., Movahedian Attar, H. and Hajian nejad, M. 2010. Performance of moving bed biofilm reactors for biological nitrogen compounds removal from wastewater nitrification-denitrification process. *Environ. Iran J. Health Sci. Eng.* 7(4): 353-364.

Effect of Various Oil Sources on *in vitro* Gas Production, Digestibility and Fermentation Metabolites in Thai Friesian Crossbred

Naphongphot Suphrap¹, Chalong Wachirapakorn^{1*}, Chiyapat Thamrongyoswittayakul²
and Chantira Wongnen¹

¹Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

²Department of Veterinary Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

Abstract

This investigation aims to study the effect of various oil sources on gas production, digestibility and fermentation metabolites in Thai Friesian crossbred by using *in vitro* gas production technique. The oil treatments included saturated fatty acid (SFA) contained tallow (TA), palm oil (PO) and polyunsaturated fatty acid (PUFA) included soybean oil (SBO), sunflower oil (SFO) which added at 4 %DM in the diet. The diet contained concentrate mixed with rice straw at the ratio 50:50. Gas productions (GP) and *in vitro* fermentation metabolites were recorded and calculated after incubation. At 24 and 48 hours of incubation time, the 5 bottles of inoculum were stopped and determined for *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) and *in vitro* organic matter digestibility (IVOMD). The results revealed that IVDMD and IVOMD were not different among treatments ($P>0.05$). However, the rate of gas production (c) in SFO was lower than other treatments ($P<0.05$). Furthermore, the effective gas production potentials (EP) and cumulative gas production at 96 hours (GP96) of SFA were higher than PUFA treatments ($P<0.01$). Supplementation of PO was higher *in vitro* fermentation metabolites such as GP and short chain fatty acid (SCFA) than other treatments ($P<0.05$), while ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) concentration was higher by supplementation SFO in the diet. Results indicated that PUFA i.e. SFO inhibited cumulative gas production, the rate of gas production and *in vitro* fermentation metabolites. Supplementation of SFA i.e. PO seems more effective to increase cumulative gas production and *in vitro* rumen fermentation metabolites than other treatments.

Keywords: Oil, Gas production, Digestibility, Fermentation metabolites and *in vitro* technique

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: chal_wch@kku.ac.th

ผลของแหล่งน้ำมันต่อการผลิตแก๊สในหลอดทดลอง การย่อยได้ และผลผลิตจากกระบวนการหมัก ในโคนมลูกผสมไทยพรีเซียน

ณพงศ์พนธ์ สุภาพ¹, ฉลอง วชิราภากร^{1*}, ไชยพัทธ์ อารังยศวิทยากุล² และ จันทิรา วงศ์เณร¹

¹ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

²ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแหล่งของน้ำมันที่มีผลต่อการผลิตแก๊ส การย่อยได้และผลผลิตจากกระบวนการหมักในโคนมลูกผสมไทยพรีเซียนโดยใช้เทคนิคการวัดผลิตแก๊สในหลอดทดลอง โดยน้ำมันที่ใช้ในการศึกษาได้แก่กรดไขมันอิ่มตัว (SFA) ประกอบด้วยไขมันสัตว์ (TA) น้ำมันปาล์ม (PO) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (PUFA) ประกอบด้วยน้ำมันถั่วเหลือง (SBO) น้ำมันทานตะวัน (SFO) ซึ่งเสริมที่ระดับ 4 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบในอาหาร โดยอาหารทดลองมีสัดส่วนอาหารชั้นผสมกับฟางข้าวในอัตราส่วน 50:50 ค่าการผลิตแก๊ส (GP) และผลผลิตจากกระบวนการหมักในหลอดทดลองจะถูกบันทึกและนำไปคำนวณหลังจากทำการบ่ม เมื่อเวลาในการบ่มที่ 24 และ 48 ชั่วโมง สารตั้งต้นหัวเชื้อจำนวน 5 ขวดจะถูกหยุดและนำไปคำนวณหาค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในหลอดทดลอง (IVDMD) และการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในหลอดทดลอง (IVOMD) ผลการศึกษาพบว่าค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบและการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามอัตราการผลิตแก๊ส (c) ในน้ำมันทานตะวันมีค่าต่ำกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ ($P<0.05$) นอกจากนี้ค่าประสิทธิภาพการผลิตแก๊ส (EP) และการผลิตแก๊สสะสมที่ 96 ชั่วโมง (GP96) ของกรดไขมันอิ่มตัวมีค่าสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว ($P<0.01$) การเสริมน้ำมันปาล์มทำให้ผลผลิตแก๊สในหลอดทดลอง (GP) และกรดไขมันสายสั้น (SCFA) มีค่ามากกว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ ($P<0.05$) ในขณะที่การเสริมน้ำมันทานตะวันในอาหารทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) มีค่าสูงสุด ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวได้แก่น้ำมันทานตะวันยับยั้งการผลิตแก๊สสะสม ลดอัตราการผลิตแก๊สและลดผลผลิตจากกระบวนการหมักในหลอดทดลอง การเสริมกรดไขมันอิ่มตัวได้แก่น้ำมันปาล์มช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สสะสมและผลผลิตจากกระบวนการหมักในหลอดทดลองมากกว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ

คำสำคัญ: น้ำมัน การผลิตแก๊ส การย่อยได้ ผลผลิตจากกระบวนการหมัก และ เทคนิคในหลอดทดลอง

* Corresponding author: E-mail: chal_wch@kku.ac.th

Introduction

Lipid was very important to supply dietary energy to ruminants and they can modify the fatty acid composition in ruminant products (Chilliard *et al.*, 2000). Normally, lipid supplementation in the ruminant diet includes saturated fatty acid (SFA) such as tallow (TA), palm oil (PO); and polyunsaturated fatty acids (PUFA) such as soybean oil (SBO), sunflower oil (SFO). Jenkins (1993); NRC (2001) who suggested that total dietary lipids could not exceed 6 to 7 %dry matter basis (DM) in the total diet. In addition, high intake of dietary lipids were affected to reduce rumen fermentation efficiency and fiber digestibility (Palmquist, 1988). Consistent with, Van Soest (1994) who reported that high proportions of PUFA can manipulate rumen fermentation by inhibiting activity and the growth of rumen microorganism. Correspondingly, Wanapat *et al.* (2011) who reported that high level of lipids at 6% DM in the ruminant diet was an adverse effect to decrease cellulolytic bacteria in the rumen. Moreover, the different source of oil supplementation in ruminant diets showed the effect on rumen fermentation (Wachirapakorn, 1988). Supplementation of SBO at 4.3% DM in the diet was decreased dry matter intake (DMI) (Piamphon, 2007). Similarly, Van Cleef *et al.* (2016) who reported that supplemented SBO at 6% DM in the total mixed ration diet (TMR) resulting in a lower fiber digestibility. In addition, Zhao *et al.* (2016) suggested that added of SFO at 40 g/kg DM in the diet decreased feed intake, total volatile fatty acid (TVFAs) and inhibited fiber degradation. Never the less, Abubakr *et al.* (2013) found that supplementation of PO at 5% DM in diet enhanced feed intake and ether extract

digestibility (EED). Moreover, Hollmann and Beede (2012) supplemented animal fat blend at 5% DM infeed reduced DMI and fiber digestibility. Therefore, the effects of lipids on rumen fermentation and fiber digestion are related to the lipid's chemicals and the levels of lipid in the diet (Jenkins and McGuire, 2006). However, there is a limited study of comparative effects of various oil sources supplementation in dairy cows.

Hence, the objective of this experiment was to investigate the effect of the SFA i.e. TA and PO and the PUFA i.e. SBO and SFO supplementation on gas production, *in vitro* digestibility and rumen fermentation metabolites in Thai Friesian crossbred by using *in vitro* gas production technique.

Materials and Methods

1. *In vitro* gas production technique

The experiment was conducted using an *in vitro* gas production technique at various incubation time intervals. The experimental design was a completely randomized design (CRD) with five replications per treatment. The saturated fatty acids (SFA) i.e. tallow (TA), palm oil (PO) and the PUFA i.e. soybean oil (SBO), sunflower oil (SFO) were supplemented at 4% DM in the diets. The substrates consisted of 0.1 g rice straw (R) and 0.1 g concentrate (C) on the dry matter basis (R:C ration 50:50). The concentrate diet contained 12% crude protein (CP) and 2.9 Mcal ME/kg DM, meanwhile rice straw contained 1.28 %CP and 1.70 Mcal/kg DM. Feed samples were dried at 60 °C and ground to pass through the 1-mm screen (Cyclotech Mill, Tecator, Sweden) for chemical analysis. The substrate (200 mg) was added to 50 ml bottles and supplemented with different oil

sources. Feed samples were chemically analyzed DM, OM, CP, EE and Ash use the standard methods (AOAC, 1990), NDF, ADF and ADL according to Van Soest *et al.* (1991). Chemical compositions were shown in Table 1.

In vitro gas production technique was carried out according to the procedure of Makkar *et al.* (1995). Two rumen fistulated crossbred Holstein Friesian cows (Thai Friesian) were used as rumen fluid donors. Rumen fluid (1,000 ml) was collected from cows fed with basal diet (14.0% CP and 2.4 Mcal/kg, dry matter basis). The rumen fluid was filtered through four layers of cheese cloth into pre-warmed thermos flasks and added with artificial saliva was prepared according to Menke and Steingass (1988). The fluid was made by the ratio of artificial saliva: rumen fluid at 2:1. The bottles with the mixture of substrate treatments were pre-warmed in a hot air oven at 39 °C for 24 h before filling with 30 ml of rumen inoculums mixture. During the incubation, the gas production was recorded after incubating for 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42, 48, 60, 72 and 96 hours. Cumulative gas production data were fitted into the model of Orskov and McDonal (1979) as follows:

$$y = a + b(1 - e^{-ct})$$

Where a = the gas production from the immediately soluble fraction, b = the gas production from the insoluble fraction, c = the gas production rate constant for the insoluble fraction (b), t = incubation time, (a+b) = the potential extent of gas production and y = gas produced at a time "t".

2. The determination of *In vitro* digestibility

The 5 bottles inoculum from 24 and 48 h of incubation were collected from the fermentation condition. The content of the bottle was transferred and filtered through pre-weighed Gooch's crucibles. The DM of the residue was weighed then measured ash before calculating for *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) and *in vitro* organic matter digestibility (IVOMD) according to Tilley and Terry (1963).

3. Statistical analysis

Data were analyzed according to Completely Randomized Design (CRD) by using the General Linear Models (GLM) procedures (SAS, 1996). The means of all data were compared by using Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) according to Steel and Torrie (1980).

Results and Discussion

1. Chemical composition of the diets

The chemical composition of the concentrate diet consisted of 90.16% dry matter (DM), 11.94% crude protein (CP), 2.00% ether extract (EE), 19.55% neutral detergent fiber (NDF) and 10.96% acid detergent fiber (ADF). Moreover, rice straw contained 94.50% DM, 2.67% CP, 1.28% EE, 75.00% NDF and 49.17% ADF (Table 1). The results of the roughage chemical analysis were showed that rice straw contained 2.67% CP dry matter basis. This result corresponded to Napasirth *et al.* (2012) who reported the untreated rice straw contained CP 3.8% dry matter basis. Furthermore, forage fiber analysis of this experiment found that the rice straw contained 75.0% NDF. Correspond with Togtokhbayar *et al.*

(2015) who found that wheat straw had more than 70% NDF on a dry matter basis.

2. Kinetics of cumulative gas production

Cumulative gas production was shown in Fig. 1 and Table 2. Cumulative gas production adding SFA (PO) at 4% DM in the diet was significantly higher than other groups (P<0.01). The rate of gas production (c) supplemented with PUFA (SFO) was lower than those SFA (TA and PO) treatments (P<0.05). Furthermore, effective gas production potentials (EP) of the SFA were

significantly higher than PUFA group (P<0.05) (Table 2). This kinetics of cumulative gas production might due to SBO and SFO contain a high level of PUFA when compared with TA and PO (Bauman *et al*, 2003). In accordance with Palmquist and Jenkins (1980) who reported that the level of PUFA had more effect on rumen fermentation than SFA. In addition, Van Soest (1994) reported that PUFA could affect the permeability of the microbial membrane and inhibited the growth of microorganisms.

Table 1 Chemical composition analysis of the concentrate diet and roughage used *in vitro* substrate

Items	Concentrate	Rice Straw	Concentrate			
			TA	PO	SBO	SFO
Dry matter (DM, %)	90.16	94.50	95.50	95.50	95.50	95.50
Chemical composition (% DM basis)						
OM	91.75	88.75	92.75	92.25	92.75	92.25
CP	11.94	2.67	11.57	11.47	11.47	11.53
EE	2.00	1.28	6.00	6.09	6.87	6.07
NDF	19.55	75.00	23.00	23.33	24.16	22.5
ADF	10.96	49.17	11.00	10.83	11.67	11.67
ADL	5.00	5.00	4.53	4.17	5.00	4.33
Ash	8.25	11.25	7.55	7.75	7.25	7.75
TDN ¹ (%)	79.93	47.10	79.88	80.07	79.13	79.13
ME ¹ (Mcal/Kg)	2.89	1.70	2.88	2.89	2.86	2.86

¹ NRC (2001), ² Harris et al., (1972)

TA= Tallow, PO = palm oil, SBO = soybean oil, SFO = sunflower oil, OM = organic matter, CP = crude protein, EE = ether extract,

NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber, ADL = acid detergent lignin, TDN = total digestible nutrient and ME = metabolizable energy

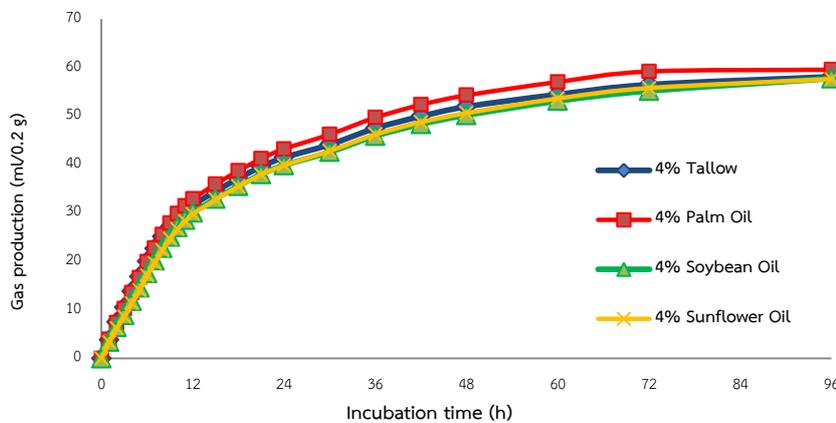


Fig.1 Effect of various oil sources on cumulative gas production

3. *In vitro* digestibility (IVDMD and IVOMD)

The effects of various oil supplementations on IVDMD and IVOMD were shown in Table 3. Supplemented various oils at 4% DM in the diet had no negative effect on the coefficient of IVDMD, IVOMD, metabolizable energy (ME) and total digestible nutrients (TDN) ($P>0.05$). Wanapat (1990) and Wachira pakorn (1998) who reported that the optimum of oil to the diet ranged from 2 to 5% DM. In accordance with Jenkins (1993) and NRC (2001) who suggested that whole dietary lipids could not exceed 6 to 7% DM of the diet. In addition, Shingfield *et al.* (2011) who reported that adding oil at 3% DM in the diet had no effect on the coefficient of digestibility. However, when adding oil higher than 5% in the concentrate diet decreased dry matter digestibility (DMD) and organic matter digestibility (OMD). Furthermore, supplementation oil at 4.3% DM in the diet slightly decreased dry matter intake (DMI) (Piamphon, 2007). Adding oil higher than 4% might decrease the coefficient of DMD and OMD.

4. *In vitro* rumen fermentation metabolites

The results in Table 4 were showed that at 48 h after incubation, the concentration of $\text{NH}_3\text{-N}$ by adding SFO was significantly higher than other treatments ($P<0.01$). In the present study, higher rumen $\text{NH}_3\text{-N}$ concentrations in SFO than other treatments due to the toxicity of PUFA on bacteria, which bacteria use less $\text{NH}_3\text{-N}$ for growing in the rumen. Preston and Leng (1987) who revealed that the appropriate concentration of rumen $\text{NH}_3\text{-N}$ for conveying the growth of microorganisms ranging from 5 to 25 mg%. Similarly, Veen (1986) who suggested that the concentration of $\text{NH}_3\text{-N}$ in the rumen fluid reduced since the production of maximum microbial protein synthesis. However, the average

concentrations of GP and SCFA from SFA (PO and TA) was significantly higher than PUFA (SBO and SFO) ($P<0.05$). Particularly, the GP and SCFA of PO treatment were higher than TA, SFO and SBO treatments respectively ($P<0.05$). High GP and SCFA concentrations in the PO and TA (SFA) due to the PO and TA contained a low proportion of PUFA (Bauman *et al.*, 2003). Polyunsaturated fatty acid was more toxic to rumen bacteria than SFA (Palmquist and Jenkins, 1980; Van Soest, 1994). Moreover, PUFA could inhibit activity and growth of bacteria, protozoa and fungi in the rumen (Nagaraja *et al.*, 1997). Additionally, in SFA group, the PO was greater than TA since PO more enriched with linoleic acid (C18:2, LA) than TA (Bauman *et al.*, 2003). The LA contained glycerol-3-phosphate (G3P), this G3P used by bacteria for the source of the glycerol backbone to produce phospholipid (cardiolipin); the bacteria used cardiolipin for producing lipid cell membrane, dividing cell and growing (Moser *et al.*, 2014).

Conclusion

The results could be summarized that the addition of different oil sources at 4% DM in the diet of an *in vitro* study had no effect on IVDMD, IVOMD, ME, TDN, PF and MCP. Supplementation of PO was showed high cumulative total gas production (GP96), EP, GP and SCFA. However, supplementation of SFO had a low rate of gas production (c) meanwhile rumen concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$ was high. The utilization of oil containing high SFA such as PO and TA has a positive impact on rumen fermentation rather than oil containing high PUFA such as SBO and SFO. The use of PO in the diet has a more positive effect on rumen fermentation than other oil sources.

Acknowledgements

The author would like to express sincerest thanks to the Higher Education Research Promotion and National Research University

Project of Thailand, Office of the Higher Education Commission, through the Food and Functional Food Research Cluster of Khon Kaen University for the financial support.

Table 2 Effect of various oil sources on gas production kinetics in Thai Friesian crossbred

Items	SFA	PUFA	SEM	P-Value	SFA				SEM	P-Value
					TA	PO	SBO	SFO		
Fermentation kinetic values										
a	1.97	1.37	0.11	0.09	2.24	1.95	1.42	1.32	0.40	0.34
b	53.23	53.30	0.51	0.95	51.93	54.31	53.09	53.46	0.79	0.23
c	0.064	0.060	0.003	0.42	0.065 ^a	0.063 ^a	0.061 ^{ab}	0.059 ^b	0.001	0.02
d (a+b)	55.20	54.61	0.40	0.54	54.17	56.26	54.51	54.78	0.72	0.15
Cumulative gas production (mL/0.2g)										
CG 96 h	58.87 ^a	57.71 ^b	0.24	0.02	58.13 ^b	59.59 ^a	57.77 ^b	57.65 ^b	0.26	<0.01
EP	32.01 ^a	30.24 ^b	0.10	0.01	31.92 ^a	32.10 ^a	30.41 ^b	30.07 ^b	0.15	<0.01

^{ab} Means in the same row with different superscript differ (P<0.05), SEM = standard error of the mean, SFA= saturated fatty acid, PUFA = polyunsaturated fatty acid, TA = tallow, PO = palm oil, SBO = soybean oil, SFO = sunflower oil, a = the soluble fraction, b = the fermentation of the insoluble, c = rate of gas production, d = the potential extent of gas production, CG96 h= Cumulative gas production 96 hour and EP = effective gas production potential
 Effective gas production potential (EP) = a + [bc/(c+k)] where k = the rumen outflow rate of 0.05 per hour [Orskov and McDonald, 1979]

Table 3 Effect of various oil sources on *in vitro* digestibility in Thai Friesian crossbred

Items	SFA	PUFA	SEM	P-Value	SFA				SEM	P-Value
					TA	PO	SBO	SFO		
<i>In vitro</i> dry matter digestibility (%)										
24 h	58.62	55.91	1.16	0.15	58.56	58.69	57.61	54.18	1.58	0.20
48 h	62.77	64.25	1.39	0.25	66.85	66.69	66.38	62.13	1.88	0.56
<i>In vitro</i> organic matter digestibility (%)										
24 h	58.35	58.10	0.14	0.27	58.23	58.48	58.15	58.06	0.23	0.65
48 h	64.21	63.64	0.42	0.38	63.72	64.71	63.69	63.60	0.64	0.61
Metabolizable energy (MJ/kg DM)										
24 h	2.24	2.24	0.004	1.00	2.23	2.24	2.23	2.24	0.01	0.56
48 h	2.24	2.24	0.003	0.42	2.24	2.24	2.24	2.23	0.01	0.54
Total digestible nutrient (%)										
24 h	60.30	60.30	0.02	1.00	60.27	60.32	60.28	60.31	0.01	0.66
48 h	60.32	60.29	0.001	0.17	60.33	60.31	60.30	60.28	0.04	0.61

^{ab} Means in the same row with different superscript differ (P<0.05), SEM = standard error of the mean, SFA= saturated fatty acid, PUFA = polyunsaturated fatty acid, TA = tallow, PO = palm oil, SBO = soybean oil, SFO = sunflower oil, Metabolizable energy (ME) = 2.20+0.136GP (mL/0.2g DM) +0.057CP (g/kg DM) [Menke *et al.*, 1979], Total digestible nutrient (TDN, %) = (ME+0.45)/0.0445309 [NRC, 2001]

Table 4 Effect of various oil sources supplementation on rumen fermentation metabolites in Thai Friesian crossbred

Items	SFA	PUFA	SEM	P-Value	SFA		PUFA		SEM	P-Value
					TA	PO	SBO	SFO		
Ammonia nitrogen (NH ₃ -N), mg%										
24 h	12.46	13.98	0.69	0.17	12.16	12.76	13.37	14.59	1.10	0.52
48 h	16.41 ^a	20.66 ^b	1.24	0.05	17.02 ^b	15.80 ^b	18.23 ^b	23.09 ^a	1.22	0.05
The partitioning factor (PF), mg DMD/ mL Gas										
24 h	1.95 ^a	1.89 ^b	0.04	0.05	1.95	1.96	1.92	1.87	0.03	0.21
48 h	2.12	2.09	0.05	0.18	2.12	2.11	2.10	2.09	0.02	0.56
Gas production (GP), mL gas/ g DMD										
24 h	388.94	376.22	8.21	0.11	383.31	394.56	371.02	381.43	6.36	0.22
48 h	448.21 ^a	430.00 ^b	10.19	0.04	437.73 ^b	458.69 ^a	426.42 ^b	433.59 ^b	3.49	0.01
Short chain fatty acid concentrations (SCFA), mmol/g DM										
24 h	4.32	4.17	0.05	0.11	4.25	4.38	4.12	4.23	0.07	0.21
48 h	4.97 ^a	4.77 ^b	0.05	0.04	4.86 ^b	5.09 ^a	4.74 ^b	4.81 ^b	0.04	0.01
Microbial crude protein biomass production (MCP), mg / g DM										
24 h	147.59	145.43	2.41	0.55	149.25	145.94	148.71	142.16	3.28	0.49
48 h	161.39	163.99	1.71	0.32	164.04	158.74	165.32	162.67	2.10	0.28

^{ab} Means in the same row with different superscript differ (P<0.05), SEM=standard of the mean, SFA=saturated fatty acid, PUFA=polyunsaturated fatty acid, TA=tallow, PO=palm oil, SBO=soybean oil, SFO=sunflower oil. The partitioning factor (PF) =IVDMD (mg)/GP72 (mL) [Blümmel *et al.*, 1997], Gas production (GP) =Gas (mL/g DM)/DMD (g) [Salem *et al.*, 2015]
 Short chain fatty acid concentrations (SCFA, mmol/ 200 mg DM) =0.0222GP-0.00425 [Getachew *et al.*, 2002]
 Microbial crude protein biomass production (MCP, mg/g DM) =DMD (mg)-Gas (mL) x 2.2 (mg/mL) [Blümmel *et al.*, 1997]

References

- Abubakr, A.R., Alimon, A.R., Yaakub, H., Abdullah, N. and Ivan, M. 2013. Digestibility, rumen protozoa and ruminal fermentation in goats receiving dietary palm oil by-products. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 12: 147–154.
- AOAC. 1990. Official Method of Analysis. 15th Ed., Association of Official Agriculture Chemicals, Washington, DC, 771 pp.
- Bauman, D.E., Perfield, J.W. II., De Veth, M.J. and Lock, A.L. 2003. New perspectives on lipid digestion and metabolism in ruminants. *Proceedings. Cornell Nutrition Conference.* pp. 175-189.
- Blümmel, M., Makkar, H.P.S. and Becker, K. 1997. *In vitro* gas production: a technique revisited. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 77: 24-34.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R.M. and Doreau, M. 2000. Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, *trans* and conjugated fatty acids. *Annales de Zootechnie* 49: 181–205.
- Getachew, G., Makkar, H.P.S. and Becker, K. 2002. Tropical browses: Contents of phenolic compounds, *in vitro* gas production and stoichiometric relationship between short chain fatty acid and *in vitro* gas production. *Journal of Agricultural Science* 139: 341–352.
- Harris, L.E., Kears, L.C. and Fonnesebeck, P.V. 1972. Use of regression equations in predicting availability of energy and protein. *Journal Animal Science* 35: 658-680.
- Hollmann, M. and Beede, D.K. 2012. Comparison of effects of dietary coconut oil and animal fat blend on lactational performance of Holstein cows fed a high-starch diet. *Journal Dairy Science* 95: 1484–1499.
- Jenkins, T.C. 1993. Lipids metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science.* 76: 3851-3863.
- Jenkins, T.C. and McGuire, M.A. 2006. Major advance in nutrition: impact on milk composition. *Journal Dairy Science* 89: 1302-1310.
- Kim, D.H., Mizingab, K.M., Kube, J.C., Friesen, K.G., McLeod, K.R. and Harmon, D.L. 2014. Influence of monensin and lauric acid distillate or palm oil on *in vitro* fermentation kinetics and metabolites produced using forage and high concentrate substrates. *Animal Feed Science and Technology* 189: 19– 29.
- Makkar, H.P.S., Blümmel, M. and Becker, K. 1995. Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycols and tannins, and their implication in gas production and true digestibility in *in vitro* techniques. *British Journal of Nutrition.* 73: 897-913.
- Menke, K.H. and Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development* 28: 7–55.
- Menke, K.H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D. and Schneider, W. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *Journal of Agricultural Science* 93: 217-222.
- Miller, W.F., Shirley, J.E., Titgemeyer, E.C. and Brouk, M.J. 2009. Comparison of full-fat corn germ, whole cottonseed, and tallow as fat sources for lactating dairy cattle. *Journal Dairy Science* 92(7): 3386–3391.
- Moser, R., Aktas, M., Fritz, C. and Narberhaus, F. 2014. Discovery of a bifunctional cardiolipin/phosphatidylethanolamine synthase in bacteria. *Molecular Microbiology.* 92: 959-972.

- Nagaraja, T.G., Newbold, C.J., Van Nevel, C.J. and Demeyer, D.I. 1997. Manipulation of rumen fermentation. In: The rumen microbial ecosystem. P. N. Hobson and C. S. Stewart, ed. Chapman and Hall, London, UK. pp. 523-632.
- Napasirith, V., Wanapat, M. and Berg, J. 2012. Assessment of urea and/or lime treatment on rice straw quality using *in vitro* gas fermentation technique. Journal of Animal and Veterinary Advances. 11: 295-299.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington DC. 408 pp.
- Orskov, E.R. and McDonald, I. 1979. The Estimation of Protein Degradability in the Rumen from Incubation Measurements Weighted According to Rate of Passage. Journal of Agricultural Science 92: 499-503.
- Palmquist, D.L. 1988. The feeding value of fats. In Feed science (ed. ER Orskov), Elsevier Science Publisher, Amsterdam, Netherlands. pp. 293-311.
- Palmquist, D.L. and Jenkins, T.C. 1980. Fat in lactation rations: Review. Journal Dairy Science 63: 1-14.
- Piamphon, N. 2007. Enhancing Conjugated Linoleic acid (CLA) Concentration in Dairy Cow's Milk. Doctor of Philosophy Thesis in Animal Science, Graduate School, Khon Kaen University. Khon Kaen, Thailand.
- Preston, T.R. and Leng, R.A. 1987. Matching ruminant production systems with available resources in the tropics and sub-tropics. Penambul Books, Armidale: Australia.
- Salem, A.Z.M., Buendía-Rodríguez, G., Elghandour, M.M.Y., Berasain, M.A.M., Jiménez, F.J.P., Pliego, A.P., Chagoyán, J.C.V., Cerrillo, M.A. and Rodríguez, M.A. 2015. Effects of cellulase and xylanase enzymes mixed with increasing doses of *Salix babylonica* extract on *in vitro* rumen gas production kinetics of a mixture of corn silage with concentrate. Journal of Integrative Agriculture 14: 131-139.
- SAS. 1996. User's Guide: Statistic. Version 6. 4th ed Cary, NC: SAS. Inst., 846 pp.
- Shingfield, K.J., Lee, M.R.F., Humphries, D.J., Scollan, N.D., Toivonen, V., Beever, D.E. and Reynolds, C.K. 2011. Effect of linseed oil and fish oil alone or as an equal mixture on ruminal fatty acid metabolism in growing steers fed maize silage based diets. Journal Animal Science 89: 3728-3741.
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. Principles and Procedure of Statistics. New York: McGraw-Hill Book Co., U.S.A., 633 pp.
- Tilley, J.M.A. and Terry, R.A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. Journal of the British Grassland Society 18: 104-111.
- Togtokhbayar, N., Cerrillo, M.A., Rodríguez, G.B., Elghandour, M.M.M.Y., Salem, A.Z.M., Urankhaic, C.h., Jigjidpurev, S., Odongo, N.E. and Kholif, A.E. 2015. Effect of exogenous xylanase on rumen *in vitro* gas production and degradability of wheat straw. Animal Science Journal. 86: 765-771.
- Van Cleef, F.O.S., Ezequiel, J.M.B., D'Aurea, A.P., Almeida, M.T.C., Perezand, H.L. and van Cleef, E.H.C.B. 2016. Feeding behavior, nutrient digestibility, feedlot performance, carcass traits, and meat characteristics of crossbred lambs fed high levels of yellow grease or soybean oil. Small Ruminant Research 137: 151-156.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal Dairy Science 74: 3583-3597.
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd Edition. Cornell University. Press, USA. 488 pp.
- Veen, W.A.G. 1986. The influence of slowly and rapidly degradable concentrate protein on a number of rumen parameters in dairy cattle. Netherlands Journal of Agricultural Science. 34:199-216.

- Wachirapakorn, C. 1998. An Introduction to Ruminant Nutrition and Feeding. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, KhonKaen University. 218 pp. (In Thai)
- Wanapat, M. 1990. Ruminant Nutrition. Funny Publishing: Bangkok. 473 pp. (In Thai)
- Wanapat, M., Mapato, C., Pilajun, R. and Toburan, W. 2011. Effects of vegetable oil supplementation on feed intake, rumen fermentation, growth performance and carcass characteristic of growing swamp buffaloes. *Livestock Science* 135: 32–37.
- Zhao, T., Ma, Y., Qu, Y., Luo, H., Liu, K., Zuo, Z. and Lu, X. 2016. Effect of dietary oil sources on fatty acid composition of ruminal digesta and populations of specific bacteria involved in hydrogenation of 18-carbon unsaturated fatty acid in finishing lambs. *Small Ruminant Research* 144: 126–134.

Efficacy of Mycotoxin Adsorbents on Aflatoxin B1 Decontamination and *in vitro* Rumen Fermentation

Chitraporn Yeanpet¹, Chaiyapas Thamrongyoswittayakul^{1,2*}, Chalong Wachirapakorn³,
Piyada Songsermsakul⁴, Noppadon Somphon² and Chuntira Wongnen³

¹Research Group of Animal Health Technology, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University,
Khon Kaen, 40002, Thailand

²Division of Livestock Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

³Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002 Thailand

⁴Department of Toxicology, Faculty of Pharmaceutical Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

Abstract

This study was conducted by using an *in vitro* gas production technique to study the effect of aflatoxin B1 and mycotoxins adsorbents on aflatoxin B1 decontamination and efficiency of rumen fermentation. There were eight treatments, that assigned into completely Randomized Design: T1=the control group, T2= the diet plus 1 µg/mg of aflatoxin B1 (AFB1), T3, T4, T5 = the diets supplement 0.5% of each adsorbent (activated charcoal, montmorillonite, *Saccharomyces cerevisiae*) and T6, T7, T8 = the diets plus 1 µg/mg of AFB1 together with 0.5% of each mycotoxin adsorbent, respectively. The results were shown that the gas production from the insoluble fraction and the potential extent of gas production in the diet plus the AFB1 were lower than the control ($P<0.05$). Moreover, montmorillonite and *S. cerevisiae* were effectively reduced the negative effect of AFB1 on gas production. In contrast, the diet plus AFB1 and diet plus mycotoxin adsorbents did not interfere the *in vitro* dry matter and organic matter digestibilities, volatile fatty acids and ammonia nitrogen ($P>0.05$). In conclusion, AFB1 had effected and had decreased cumulative gas production. However, montmorillonite and *S. cerevisiae*, as effective adsorbents, could be reduced the adverse effect of AFB1 in this study.

Keywords: Aflatoxin B1, Mycotoxin adsorbent and Rumen fermentation

* Corresponding author: E-mail: chaiyapas@kku.ac.th

ประสิทธิภาพของสารดูดซับพิษจากเชื้อราต่อการจัดการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซิน ปี 1 และ การหมักในกระเพาะรูเมนในหลอดทดลอง

จิตรารณณ์ เยียนเพชร¹, ไชยพัศร์ อารงยศวิทยากุล^{1,2*}, ฉลอง วชิราภากร³,
ปิยะดา ส่งเสริมสกุล⁴, นพดล สมผล² และ จันทิรา วงศ์เนตร³

¹ กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีสุขภาพสัตว์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

² กลุ่มอายุรศาสตร์ปศุสัตว์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

³ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

⁴ ภาควิชาพิษวิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ดำเนินการโดยใช้เทคนิค *in vitro* gas production technique เพื่อศึกษาผลของอะฟลาทอกซิน ปี 1 และสารดูดซับสารพิษจากเชื้อราชนิดต่างๆต่อการลดการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราและประสิทธิภาพของการหมัก โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบ่งอาหารทดลองออกเป็น 8 ทริตเมนต์ ประกอบด้วย อาหารกลุ่มควบคุม (T1), อาหารเสริมอะฟลาทอกซิน ปี 1 เข้มข้น 1 ไมโครกรัม/อาหาร 1 มก. (T2), อาหารเสริมสารดูดซับที่ระดับร้อยละ 0.5 (ผงถ่านกัมมันต์ (T3), มอนต์โมริลโลไนต์ (T4), ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* (T5), และอาหารเสริมอะฟลาทอกซิน ปี 1 1 ไมโครกรัม/1 มก. ร่วมกับสารดูดซับชนิดต่างๆ ที่ระดับร้อยละ 0.5 (T6, T7, T8) ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแก๊สที่ผลิตจากส่วนที่ละลายยาก และปริมาณผลผลิตแก๊สที่ผลิตได้ทั้งหมดในอาหารที่มีของอะฟลาทอกซิน ปี 1 ต่ำกว่าในอาหารกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบว่ามอนต์โมริลโลไนต์ และยีสต์ *S. cerevisiae* มีประสิทธิภาพในการลดผลกระทบของอะฟลาทอกซิน ปี 1 ต่อการผลิตแก๊ส ในทางตรงข้ามอาหารที่เติมอะฟลาทอกซิน ปี 1 และอาหารเสริมสารดูดซับสารพิษจากเชื้อราไม่มีผลกระทบต่อ การย่อยได้ของวัตถุดิบและการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในหลอดทดลองปริมาณกรดไขมันที่ระเหยง่าย และแอมโมเนีย - ไนโตรเจน ($P > 0.05$) สรุปได้ว่า การศึกษานี้พบว่าอะฟลาทอกซิน ปี 1 มีผลต่อกระบวนการหมักในหลอดทดลอง และการเสริมมอนต์โมริลโลไนต์ และยีสต์ *S. cerevisiae* ที่ระดับร้อยละ 0.5 เป็นสารดูดซับสารพิษจากเชื้อราพบว่ามีประสิทธิภาพสามารถลดผลไม่พึงประสงค์ของอะฟลาทอกซิน ปี 1 ได้

คำสำคัญ: อะฟลาทอกซิน ปี 1 สารดูดซับสารพิษจากเชื้อรา และ การหมักในกระเพาะรูเมน

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: chaiyapas@kku.ac.th

Introduction

Aflatoxins (AFs) are secondary metabolites commonly produced by *Aspergillus flavus* and *A. parasiticus*. Aflatoxin B1 (AFB1) is the most toxic and abundant aflatoxins (Jaynes and Zartman, 2011) contaminated in food or feeds in the field or during storage. AFB1 causes several toxicity as hepatotoxin, immunotoxin, carcinogenic and teratogenic to humans and animals (Jouany *et al.*, 2009; Mojtahedi *et al.*, 2013). Especially, AFB1 involved severe economic losses and health problems in dairy production because AFB1 is only partially degraded by rumen microorganisms. The remainder is then biologically converted to Aflatoxin M1 (AFM1) in the liver and eventually secreted in the dairy milk (Meucci *et al.*, 2011). The carry over rate of AFB1 in feed to AFM1 in milk were 0.01–0.02 (Jiang *et al.*, 2014). Moreover, previous studies reported that AFB1 decreased the gas production by affecting the rate and cumulative gas production (Jiang *et al.*, 2012; Mojtahedi *et al.* (2013). Aflatoxin also decreased cellulolysis in rumen (Edrington *et al.*, 1994).

As a result, various methods, including physical, chemical and biological method have been recently introduced to reduce or eliminate aflatoxin contaminated in feeds (Nemati *et al.*, 2015). Moreover, the mycotoxin adsorbents become the most commonly used to decontaminate mycotoxin in animal feed including clays, activated carbons and yeast. These products are capable of attaching mycotoxins (Mojtahedi *et al.*, 2013). Therefore, the objective of the study was to evaluate the effect of mycotoxin adsorbents for AFB1 decontamination and rumen fermentation efficiency by using *in vitro* gas production technique.

Materials and Methods

1. AFB1 Preparation

Commercially available AFB1 (Trilogy, Catalog number: TSL-401, USA) was prepared as stock standard solutions at 10 µg/ml using sterile deionized water.

2. Experimental design and treatments

The experimental design was conducted by using Completely Randomized Design (CRD). The basal diet containing 40% of rice straw and 60% of concentrate was allocated in eight treatments consisting T1=the control group, T2= the diet plus 1 µg/mg of aflatoxin B1 (AFB1), T3, T4, T5 = the diets supplement with 0.5% of each adsorbent (activated charcoal, montmorillonite, *S.cerevisiae*) and T6, T7, T8 = the diets plus 1 µg/mg of AFB1 together with 0.5% of each mycotoxin adsorbent, respectively. The dried basal diet was then milled, passed through a 0.2 mm sieve, and preceded to further step.

3. Rumen inoculums

Rumen fluid was collected from three healthy dairy cows, which were placed on a routine basis for at least 1 week and fed by the same basal diet for 5 days before sampling. *In vitro* fermentation was used in this study according to the technique described by Makkar *et al.* (1995). The rumen fluid (660 ml) was added to warm (39°C) and reduced medium consisting of 1,095 ml distilled water, 730 ml rumen buffer solution (417 mM NaHCO₃ and 51 mM NH₄HCO₃), 365 ml macromineral solution (46 mM KH₂PO₄, 40 mM Na₂HPO₄, 38 mM NaCl and 2 mM MgSO₄ · 7H₂O), 0.23 ml micromineral solution (505 mM MnCl₂ · 4H₂O, 898 mM CaCl₂ · 2H₂O, 42 mM CoCl₂ ·

6H₂O and 341 mM FeCl₂·6H₂O), 1 ml of 4mM resazurin and 60 ml freshly prepared reduction solution (145 mM Na₂S·9H₂O and 3.7 ml 1 M-NaOH). The mixture was kept stirring and continuously filled with CO₂ to ensure anaerobic condition at 39°C on a hot plate. Approximately 30 ml of the rumen-fluid medium was transferred into serum bottles incubated with feed samples (200 mg) at 39 °C for 72 h.

4. Sample collection and analysis

Dietary treatments were analyzed for dry matter (DM), ash, crude protein (CP) and ether extract (EE) using the procedure of AOAC (1997), while neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were also determined as described by Van Soest *et al.* (1991).

5. Gas production

During the incubation, the gas production kinetics were recorded at 1, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 48 and 72 h. Cumulative gas production data were fitted to the model of Ørskov and McDonald (1979) as follow:

$$Y = a + b(1 - e^{-(ct)})$$

Where a = the gas production from the immediately soluble fraction, b = the gas production from the insoluble fraction, c = the gas production rate constant for the insoluble fraction (b), t = incubation time, (a+b) = the potential extent of gas production, y = gas production at time 't'. At 24- and 48-h post inoculation, a set of sample was determined *in vitro* true digestibility according to Van Soest and Robertson (1985).

6. Ammonia nitrogen and Volatile fatty acids analysis

Ruminal inoculum fluid was collected at 24 and 48 h after inoculation, about 30 ml of rumen inoculums mixed with 1M H₂SO₄ was centrifuged at 15,000xg for 15 min. Samples were divided into two portions for ammonia nitrogen (NH₃-N) analysis by using the micro-Kjeldahl methods (AOAC, 1990) and samples were then filtered through 0.22-µm nylon membrane (FILtrex, Singapore) for volatile fatty acids (VFAs) analysis by high performance liquid chromatography (HPLC) (model RF-10AXmugIL; Shimadze, Japan) according to Mathew *et al.* (1997).

7. Statistical analysis

All data were analyzed as a Completely Randomize Design using the SPSS version 19. The significant differences were compared by Post hoc test.

Results and Discussion

1. The chemical compositions

The chemical compositions of concentrate and rice straw in this study are shown in Table 1. The crude protein content in rice straw is 2.5%, 2.1 EE % and 83.0% OM, in accordance with previous report (Kang and Wanapat, 2013). Moreover, forage fiber analysis for rice straw in this experiment found that the rice straw contained 81.4% NDF, 50.8 % ADF and 5.9 ADL. The concentrate was formulated to contain 22.1% CP and 3.9% EE.

3. Gas production kinetic

Estimated parameters of gas production are presented in Table 2 and cumulative gas production profiles are shown in Fig. 1. In this

study, there were no treatment effect ($P>0.05$) on the fermentation of the soluble fraction (a) and effective gas production potential (EP). However, gas production from the insoluble fraction (b), gas production rate constant for the insoluble fraction and the potential extent of gas production were significantly different among treatments ($P<0.05$), of which the AFB1-containing diet was lower than the control group. These depressions in the gas production suggest that microbial populations are altered by AFB1 was add. This result was similar to previous studies (Jiang *et al.*, 2012; Mojtahedi *et al.*, 2013) where the asymptotic gas production numerically decreased by increasing AFB1 dosage.

The gas production from the insoluble fraction in the diet+AFB1 was lower than in the diet + AFB1 + montmorillonite and diet + AFB1 + *S. cerevisiae*. In addition, the gas production rate was the lowest in treatment plus AFB1. However, montmorillonite and *S. cerevisiae* were effectively decreased the AFB1 effect on gas production. This phenomenon could be explained through the detoxifying capability of *S. cerevisiae* cell wall and montmorillonite. The adsorption capacity largely

depended on both yeast composition and mycotoxin as well. Joannis-Cassan *et al.* (2011) reported that the yeast cell wall from baker's yeast could absorb up to 29% of AFB1. Similarly, Desheng *et al.* (2005) also noted that the montmorillonite absorbed more than 80% of the available AFB1 from aqueous solution at pH 2 and 90% at pH 8, correspondingly previous report, where montmorillonite could absorb up to 93% of AFB1 (Dakovi *et al.*, 2008).

4. Degradability and rumen metabolites

The *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) and organic matter digestibility (IVOMD) were not significantly affected by AFB1 and mycotoxin adsorbents ($P>0.05$) (Table 3). Likewise, Pettersson and Kiessling (1976) and Jiang *et al.* (2012) demonstrated that addition of AFB1 did not alter IVDMD. However, the result was opposed with Mojtahedi *et al.* (2013) who reported that IVDMD decreased significantly with AFB1 inclusion. It could be explained that AFB1 could attributed to compromise ruminal fermentation by reducing fiber digestion and VFA production.

Table 1 The chemical composition of rice straw and concentrate

Items	Rice straw	Concentrate
DM, %	94.3	91.9
Chemical composition	-----% of DM basis-----	
OM	83.0	83.2
Ash	12.5	7.8
CP	2.5	22.1
EE	2.1	3.9
NDF	81.4	21.1
ADF	50.8	11.7
ADL	5.9	3.6

DM = Dry matter, OM = Organic matter, CP = Crude protein, EE = Ether extract

NDF = Neutral- detergent fiber, ADF = Acid- detergent fiber, ADL = Acid- detergent lignin

Table 2 Effects of AFB1 and mycotoxin adsorbents on *in vitro* gas production of dietary treatments

Items	Treatments								SEM	P-value
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8		
Gas production characteristics										
a	1.21	1.53	-0.64	-0.25	-0.48	-2.16	-1.55	-0.97	0.36	0.13
b	50.7 ^{bcd}	38.7 ^a	53.7 ^{cde}	44.2 ^{ab}	58.6 ^e	50.9 ^{abc}	56.2 ^{de}	49.5 ^{bcd}	1.54	<0.01
c	0.07 ^{ab}	0.18 ^c	0.08 ^{ab}	0.13 ^c	0.07 ^{ab}	0.12 ^{bc}	0.06 ^a	0.11 ^{abc}	0.01	0.02
d	51.9 ^{bc}	40.2 ^a	53.0 ^{bc}	44.0 ^{ab}	58.1 ^c	48.7 ^{abc}	54.6 ^{bc}	48.5 ^{abc}	1.52	0.04
Effective gas production potential (EP)										
	31.9	30.4	31.5	31.3	33.2	33.2	30.1	32.2	0.53	0.82

^{a,b,c,d,e} Means in the same row with different superscript differ (P<0.05)

a = the gas production from the immediately soluble fraction, b = the gas production from the insoluble fraction, c = the gas production rate constant for the insoluble fraction, d = the potential extent of gas production, EP = a + [bc/(k + c)] where k = 0.05 (Ørskov and McDonald, 1979).

T1=Basal diet (the control), T2= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg, T3= Basal diet supplement with 0.5% activated charcoal,

T4= Basal diet supplement with 0.5% montmorillonite, T5= Basal diet supplement with 0.5% *S.cerevisiae*,

T6= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg supplement with 0.5% activated charcoal,

T7= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg supplement with 0.5% montmorillonite,

T8= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg supplement with 0.5% *S. cerevisiae*

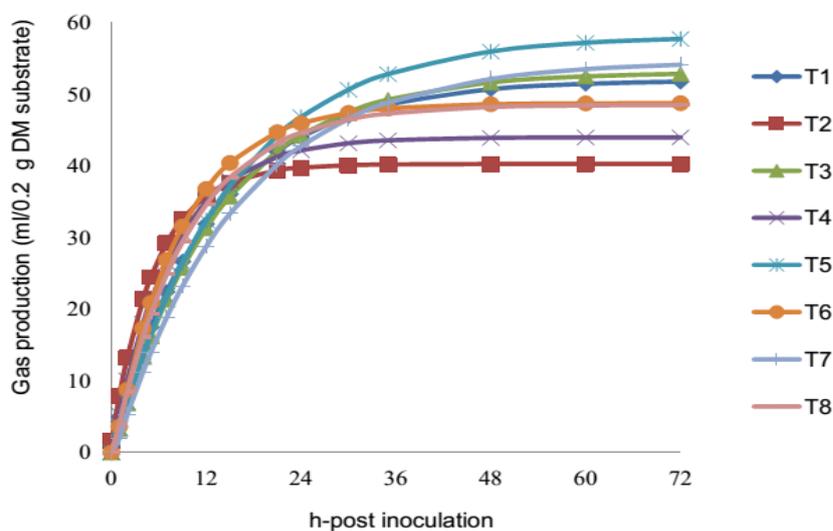


Fig. 1 Effect of AFB1 and mycotoxin adsorbents on gas production at different times of incubation in dairy cow's rumen fluid

T1=Basal diet (the control), T2= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg, T3= Basal diet supplement with 0.5% activated charcoal,

T4= Basal diet supplement with 0.5% montmorillonite, T5= Basal diet supplement with 0.5% *S.cerevisiae*,

T6= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg supplement with 0.5% activated charcoal, T7= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg supplement with 0.5% montmorillonite, T8= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg supplement with 0.5% *S. cerevisiae*

The results of VFAs (Acetic acid, Propionic acid, and Butyric acid) and NH₃-N are shown in Table 4. In this study, there were no effects of treatments on the VFAs and NH₃-N (P>0.05). However, some studies reported that the addition of AFB1 *in vitro* rumen fermentation significantly decreased NH₃-N concentrations (Mojtahedi *et al.*

2013; Jiang *et al.*, 2012). AFB1 maybe was affected ammonia. Protein synthesis and increased the microbial requirement for nutrients (Edrington *et al.*, 1994) when the digestion of protein was inhibited by AFB1, resulting in the decreased ammonia concentration.

Table 3 Effects of AFB1 and mycotoxin adsorbents on *in vitro* digestibility

Items	Treatments								SEM	P-value
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8		
<i>In vitro</i> dry matter digestibility (IVDMD), %										
24 h	48.9	49.5	49.5	47.5	50.7	48.9	53.2	52.2	0.64	0.42
48 h	58.9	59.2	58.0	62.1	56.2	61.8	57.7	62.2	0.38	0.55
<i>In vitro</i> organic matter digestibility (IVOMD), %										
24 h	54.8	54.2	55.3	53.8	56.5	56.1	58.0	56.8	0.52	0.58
48 h	65.4	65.2	63.7	66.9	63.2	66.1	64.1	66.1	0.63	0.89

T1=Basal diet (the control), T2= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg, T3= Basal diet supplement with 0.5% activated charcoal, T4= Basal diet supplement with 0.5% montmorillonite, T5= Basal diet supplement with 0.5% *S.cerevisiae*, T6= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg supplement with 0.5% activated charcoal, T7= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg supplement with 0.5% montmorillonite, T8= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg supplement with 0.5% *S. cerevisiae*

Table 4 Effects of AFB1 and mycotoxin adsorbents on volatile fatty acids and ammonia nitrogen

Items	Treatments								SEM	P-value
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8		
Total VFAs, mM										
24 h	112.7	108.1	109.1	125.9	111.5	91.3	122.3	126.3	3.28	0.07
48 h	133.5	122.6	127.8	137.2	120.2	128.1	131.5	127.8	2.40	0.80
Acetic acid (C ₂), %										
24 h	58.9	55.1	56.1	58.1	56.5	53.0	58.0	58.2	0.67	0.41
48 h	60.5	58.1	59.8	59.8	58.9	59.2	59.4	59.3	0.37	0.92
Propionic acid (C ₃), %										
24 h	25.7	32.4	30.5	30.0	29.5	33.1	27.8	27.7	0.79	0.27
48 h	27.1	27.9	27.9	28.2	28.9	28.0	27.2	27.2	0.28	0.84
Butyric acid (C ₄), %										
24 h	15.5	12.5	13.5	13.0	14.0	14.0	14.3	14.1	0.27	0.17
48 h	12.4	14.1	12.2	12.0	12.2	12.8	13.3	13.6	0.22	0.10
C ₂ :C ₃ ratio										
24 h	2.37	1.72	1.86	2.01	1.91	1.60	2.09	2.10	0.08	0.38
48 h	2.23	2.08	2.15	2.12	2.05	2.12	2.19	2.18	0.03	0.94
Ammonia nitrogen (NH ₃ -N), mg%										
24 h	17.6	17.0	18.2	15.2	15.2	18.2	17.0	18.0	0.29	0.39
48 h	18.9	29.1	18.8	18.5	19.5	20.1	21.3	21.6	0.36	0.20

T1=Basal diet (the control), T2= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg, T3= Basal diet supplement with 0.5% activated charcoal, T4= Basal diet supplement with 0.5% montmorillonite, T5= Basal diet supplement with 0.5% *S.cerevisiae*, T6= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg supplement with 0.5% activated charcoal, T7= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg supplement with 0.5% montmorillonite, T8= Basal diet plus AFB1 at 1 µg/mg supplement with 0.5% *S. cerevisiae*

Conclusion

In conclusion, our study found that AFB1 at 1 µg/mg affected *in vitro* fermentation characteristics by reducing the gas production from the insoluble fraction and potential gas production. However, the gas production from the immediately soluble fraction, EP, NH₃-N and VFAs concentrations did not differ among treatments. In addition, montmorillonite and *S. cerevisiae* effectively reduced the effects of AFB1 on gas production.

Acknowledgements

This research was supported by Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University and Higher Education Research Promotion and National Research University Project of Thailand, Office of the Higher Education Commission, the Food and Functional Food Research of Khon Kaen University for financially support this research project.

References

- AOAC. 1990. Official methods of analyses, 15th Ed., Association of Official Agriculture Chemicals. Arlington, VA.
- AOAC. 1997. Official Method of Analysis. 16th Ed., Association of Official Agriculture Chemicals. Washington, DC. USA.
- Dakovic, A., Matijasevic, S., Rottinghaus, G.E., Ledoux, D.R., Butkeraitis, P. and Sekulic, Z. 2008. Aflatoxin B1 adsorption by natural and copper modified montmorillonite. *Biointerfaces*. 66: 20-25.
- Desheng, Q., Fan, L., Yanhu, Y. and Niya, Z. 2005. Adsorption of Aflatoxin B1 on Montmorillonite. *Poult. Sci.* 84: 959-961.
- Edrington, T.S., Harvey, R.B. and Kubena, L.F. 1994. Effect of aflatoxin in growing lambs fed ruminally degradable or escape protein sources. *J. Anim. Sci.* 72: 1274-1281.
- Jaynes, W.F. and Zartman, R.E. 2011. Aflatoxin toxicity reduction in feed by enhanced binding to surface modified clay additives. *Toxins*. 3: 551-565.
- Jiang, Y.H., Wang, P., Yang, H.J. and Chen, Y. 2014. The Efficacy of bamboo charcoal in comparison with smectite to reduce the detrimental effect of aflatoxin B1 on *in vitro* rumen fermentation of a hay-rich feed mixture. *Toxins*. 6: 2008-2023.
- Jiang, Y.H., Yang, H.J. and Lund, P. 2012. Effect of aflatoxin B1 on *in vitro* ruminal fermentation of rations high in alfalfa hay or ryegrass hay. *J. Feed Sci. Technol.* 175: 85-89.
- Joannis-Cassan, C., Tozlovanu, M., Hadjeba-Medjdoub, H., Ballet, N. and Leszkowicz, A.P. 2011. Binding of zearalenone, aflatoxin B1, and ochratoxin A by yeast-based products: a method for quantification of adsorption performance. *J. Food. Prot.* 2011: 1175-1185.
- Jouany, I.P., Yiannikouris, A. and Bertin, G. 2009. Risk assessment of mycotoxins in ruminants and ruminant production. *Nutri. foraging ecology sheep and goats*. 85: 205-224.

- Kang, S. and Wanapat, M. 2013. Using plant source as a buffering agent to manipulating rumen fermentation in an *in vitro* gas production system. *Asian-Austra. J. Anim. Sci.* 26: 1424-1436.
- Makkar, H.P.S., Blummel, M. and Becker, K. 1995. Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycols and tannins, and their implication in gas production and true digestibility in *in vitro* techniques. *Br. J. Nutr.* 73: 897-913.
- Mathew, S., Sagathevan, S., Thomas, J. and Mathen, G. 1997. An HPLC method for estimation of volatile fatty acids in ruminal fluid. *Indian. J. Anim. Sci.* 67: 805-807.
- Meucci, V., Soldani, G., Razzuoli, E., Saggese, G. and Massart, F. 2011. Mycoestrogen pollution of Italian infant food. *J. pediatr.* 152: 278-283.
- Mojtahedi, M., Danesh, M., Vakili, S.A. and Hayati-Ashtiani, M. 2013. Effect of aflatoxin B1 on *in vitro* rumen microbial fermentation responses using batch culture. *Annual rev research in biology.* 3: 686-693.
- Nemati, Z., Karimi, A. and Besharati, M. 2015. Effects of aflatoxin B1 and yeast cell wall supplementation on the growth performance of broilers. *International Conference on Innovations in Chemical and Agricultural Engineering.* Kuala Lumpur: Malaysia.
- Ørskov, E.R. and McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agri. Sci.* 92: 499 -503.
- Pettersson, H. and Kiessling, K.H. 1976. Metabolism of aflatoxin by intact rumen fluid, rumen protozoa and rumen bacteria. *J. Agric Res.* 6:161.
- Van Soest, P.J. and Robertson, J.B. 1985. *Analysis of Forages and Fibrous Foods. A Laboratory Manual for Animal Science.* Department of Animal Science, Cornell University, Ithaca, NY: USA.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.

Effect of Heat Stress on Bovine Embryonic Development

Sujira Thammawung¹, Sathorn Porntrakulpipat² and Saksiri Sirisathien^{1*}

¹*Department of Surgery and Theriogenology, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand*

²*Department of Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand*

Abstract

To determine the effect of heat stress initiating at the 4-8 cells stage on bovine embryo to blastocyst stage and sire effect on embryonic development under heat stress conditions. Frozen semen from four Charolais sires were used to produce bovine embryos. Four to eight cells stage embryos that were produced from oocytes collected from slaughterhouse ovaries were submitted to two heat stress treatments. Experimental design in this study was the randomized complete design (CRD) with 7 replications per sire. The experiments were conducted at the Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University. At day 3 after fertilization, 4-8 cells stage embryos were selected and divided into 3 groups; group1: culture at 38.5°C (control), group 2: culture at 41°C for 8 h once (heat 8h), and group3: culture at 41°C for 8 h every day until day 7 after fertilization (heat 8h/d). Embryos developed to the blastocyst stage were recorded at day 8 after fertilization and were determined for the number of cells by differential staining technique.

The results of this study were showed that daily exposure to heat stress (heat 8h/d) reduced development of 4-8 cell stage embryos to blastocyst stage compared with control ($P<0.05$). When the% of blastocyst development from heat stress groups were normalized to control (control = 100%) the total blastocyst development in heat 8h/d group from sire 3 (62.9%) was lower than that of control group ($P<0.05$). However, the% of expanded blastocyst development in heat 8h/d group were also significantly reduced ($P<0.05$) in all sires. The numbers total cell and trophectoderm of blastocysts in heat 8h/d group were lower than those of heat 8h and control groups ($P<0.05$). The numbers of inner cell mass among groups were not different.

In conclusion, this study was suggested that there was no distinct effect of sires, within the same breed, on development to blastocyst stage under heat stress condition. Heat stress reduced the number of total cell in blastocyst stage through the reduction in the number of trophectoderm.

Keywords: Heat stress, Bovine embryo and Cell number

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: saksiri@kku.ac.th

ผลของความเครียดเนื่องจากความร้อนต่อการพัฒนาการในเอ็มบริโอโค

สุจิรา ธรรมวัง¹, สาธร พรตระกูลพิพัฒน์² และ ศักดิ์ศิริ ศิริเสถียร^{1*}

¹ภาควิชาคัลยศาสตร์และวิทยาการสืบพันธุ์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

²ภาควิชาพยาธิ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของความเครียดเนื่องจากความร้อนในเอ็มบริโอโคระยะ 4-8 เซลล์ต่อการพัฒนาการถึงระยะบลาสโตซิสต์ และผลของฟอพนธ์ต่อการพัฒนาการของเอ็มบริโอภายใต้สภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อน โดยใช้น้ำเชื้อแช่แข็งจากโคฟอพนธ์ุโรเล่ห์จำนวน 4 ตัวในการผลิตเอ็มบริโอ จากรังไข่โรงฆ่าสัตว์ในการผลิตเอ็มบริโอระยะ 4-8 เซลล์ จากนั้นนำมาทำการเหนี่ยวนำให้อยู่ภายใต้สภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อน 2 รูปแบบ วางแผนการทดลองแบบ randomized complete design (CRD) ทำการทดลองจำนวน 7 ครั้งต่อฟอพนธ์ุ ทำการศึกษาที่คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในวันที่ 3 หลังการปฏิสนธินำเอ็มบริโอที่ระยะ 4-8 เซลล์ แบ่งเป็น 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มที่ 1 เพาะเลี้ยงที่ อุณหภูมิ 38.5°C (กลุ่มควบคุม) กลุ่มที่ 2 เพาะเลี้ยงที่ 41°C นาน 8 ชั่วโมงครั้งเดียว (heat 8 h) และกลุ่มที่ 3 เพาะเลี้ยงที่ 41°C นาน 8 ชั่วโมงทุกวันจนกระทั่งวันที่ 7 หลังการปฏิสนธิ (heat 8 h/d) จัดบันทึกการพัฒนาการของเอ็มบริโอที่พัฒนาถึงระยะ บลาสโตซิสต์ในวันที่ 8 หลังการปฏิสนธิ และทำการนับจำนวนเซลล์โดยวิธี Differential staining

ผลการศึกษาพบว่า การให้ความเครียดเนื่องจากความร้อนทุกวัน (heat 8 h/d) ลดการพัฒนาของเอ็มบริโอระยะ 4-8 เซลล์ถึงระยะบลาสโตซิสต์ได้เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) เมื่อนำเปอร์เซ็นต์การพัฒนาของเอ็มบริโอถึงระยะ บลาสโตซิสต์ของกลุ่มที่เหนี่ยวนำให้อยู่ในสภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อนมาทำการ normalize กับกลุ่มควบคุม (control = 100%) พบว่าจำนวนการพัฒนาถึงระยะบลาสโตซิสต์รวมทั้งหมดในกลุ่ม heat 8 h/d จากฟอพนธ์ุตัวที่ 3 (62.9%) ต่ำกว่ากลุ่ม ควบคุม ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม จำนวนการพัฒนาถึงระยะ expanded blastocyst ในกลุ่ม heat 8 h/d จากฟอพนธ์ุทุกตัวลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จำนวนเซลล์รวม และจำนวนเซลล์ trophoctoderm ของเอ็มบริโอระยะ บลาสโตซิสต์ ในกลุ่ม heat 8 h/d มีจำนวนต่ำกว่ากลุ่ม heat 8 h และกลุ่มควบคุม จำนวนเซลล์ inner cell mass ไม่มีความ แตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลอง

สรุปผลการศึกษานี้ยังไม่สามารถยืนยันได้แน่ชัดถึงอิทธิพลของฟอพนธ์ุ ที่มาจากสายพันธุ์เดียวกัน มีผลต่อการพัฒนา ของเอ็มบริโอถึงระยะบลาสโตซิสต์เมื่ออยู่ในสภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อน ผลของความเครียดเนื่องจากความร้อนสามารถ ลดจำนวนเซลล์รวมของเอ็มบริโอในระยะบลาสโตซิสต์รวมทั้งจำนวนเซลล์ trophoctoderm

คำสำคัญ: ความเครียดเนื่องจากความร้อน เอ็มบริโอโค และ จำนวนเซลล์

* Corresponding author: E-mail: saksiri@kku.ac.th

Introduction

Elevated temperature has negative effect on embryonic development causing embryonic mortality and loss of pregnancy (Hansen, 2007). Exposure to elevated temperature during oocyte maturation at 41°C has also been reported to reduce fertilization rate by reducing the proportions of oocytes that can complete nuclear maturation (Payton *et al.*, 2004; Roth and Hansen, 2004) and increasing the proportions of abnormal spindle formation. *In vitro* fertilization under heat stress was resulted in lower the embryonic development to blastocyst stage (Rivera and Hansen, 2001). Heat stress during cleavage stage reduced the proportions of embryonic development to blastocyst stage (Block *et al.*, 2002). In bovine embryos, heat stress was more detrimental to development when applied to early stages (zygote to 4-8 cells stage) than when applied to later stages of development (Edward and Hansen, 1997; Sakatani *et al.*, 2004; Bonilla *et al.*, 2011).

Various models in studying effect of heat stress on bovine embryos have been reported. However, to our knowledge, all studies exposed oocytes, zygotes, or embryos to an only one session of heat stress. Heat stress at 40-41°C for 8-24 hours was given during oocyte maturation (IVM) (Rivera and Hansen, 2004; Roth and Hansen, 2004; Sakatani *et al.*, 2012, 2013; Alves *et al.*, 2013). Heat stress at 41°C for 3-12 hours was given to presumptive zygotes and 2-4 cells stage embryos (Rivera and Hansen, 2001; Rivera *et al.*, 2004; Sakatani *et al.*, 2004; Eberhardt *et al.*, 2009; Gendelman *et al.*, 2010; Alves *et al.*, 2013). Heat stress at 41-42°C for 6-18 hours was given to 4-8 cells stage embryos, 8-16 cells stage embryos, or

morulae (Paula-Lopez and Hansen, 2002; Sakatani *et al.*, 2004; Satrapa *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013). In this study, we used a daily exposure to 8 hours of heat stress at 41°C initiated at 4-8 cells stage embryos to study effect of heat stress on development.

The heat tolerance ability of embryos is profoundly affected by various factors, especially the genetic variations of animal and stages of development. In general, *Bos indicus* breeds embryos can tolerate to heat stress better than *Bos taurus* breeds embryos (Eberhardt *et al.*, 2009; Gendelman *et al.*, 2010; Satrapa *et al.*, 2011; Paula-Lopez *et al.*, 2013). In bovine embryos, the major embryonic genome activation (EGA) is established at the 4-8 cells stage (Graf *et al.*, 2014). Before EGA, the genotype of oocytes plays a vital role in the ability of embryos to endure effects of heat stress. Embryos produced from *Bos indicus* oocytes and fertilized with *Bos taurus* spermatozoa were able to endure heat stress better than embryos produced from *Bos taurus* oocytes and fertilized with *Bos indicus* spermatozoa (Block *et al.*, 2002; Eberhardt *et al.*, 2009). After EGA, however, the genotypes of spermatozoa and oocytes should contribute equally to embryonic heat tolerance. Therefore, the influence of spermatozoa on embryonic heat tolerance can be evaluated in embryos at later than 4-8 cells stage. In previous studies, effects of sires on embryonic heat tolerance were studied as an effect of breed whether they are *Bos taurus* or *Bos indicus* (Eberhardt *et al.*, 2009; Satrapa *et al.*, 2011; Paula-Lopez *et al.*, 2013). In this study, we were interested in examine the paternal effect from different sires in the same breed on embryonic development under heat stress conditions.

The objectives of this study were to determine the effect of heat stress initiating at the 4-8 cells stage on bovine embryonic development and effect of sires on development under heat stress conditions.

Materials and Methods

Materials

All chemicals were purchased from Sigma Chemical Company (St. Louis, MO) unless otherwise noted. Fetal bovine serum was purchased from Gibco™ (Gibco, USA.).

Oocyte recovery and in vitro maturation (IVM)

In vitro production of embryos was performed using oocytes from slaughter houses in Khon Kaen Province. Briefly, cumulus-oocyte complexes (COCs) with at least three layers of cumulus surrounding and homogeneous cytoplasm aspirated from antral follicles were selected and washed in TCM-199. Selected COCs were cultured in TCM-199 supplemented with 5% fetal bovine serum (Gibco, USA.) and follicle stimulating hormone (Sigma Aldrich, USA.) for 23 hours at 38.5°C, 5%CO₂ and humidified air.

In vitro fertilization (IVF)

This study used frozen semen from 4 sires. After 23 h of IVM, fertilization was performed with swim-up prepared frozen-thawed spermatozoa. Briefly, two straws of frozen semen were thawed at 37°C 30 sec and deposited in 6 tubes containing 1,500 µL of Tyrode's albumin-lactate-pyruvate (TALP-HEPES) and incubated at 38.5°C for 45 minutes. After incubation, sperm were centrifuged at 170 G for 10 minutes and supernatant was removed. The sperm pellet was

re suspended and counted for sperm concentration. Mature oocytes were inseminated with 2×10⁶ spermatozoa/mL for 18-20 h in 100 µL/drop of TALP-IVF and incubated at 38.5°C, 5%CO₂ and humidified air.

In vitro culture (IVC)

At 18-20 hours post insemination (hpi), sperm were washed out and presumptive zygotes were transferred to synthetic oviductal fluid (SOF) supplemented with bovine serum albumin (BSA) and incubated at 38.5°C, 5%O₂ and 5%CO₂. At 72 hpi, only embryo shaving at least 4 cells were collected and randomly distributed into 3 groups.

Group 1: culture at 38.5°C (control)

Group 2: culture at 41°C for 8 h once (heat 8h)

Group 3: culture at 41°C for 8 h every day until day 7 after fertilization (heat 8h/d)

Blastocyst development was determined on day 8 after fertilization. To assess the proper speed of development, embryos reaching blastocyst by day 8 after fertilization were classified into 4 stages of blastocyst; early blastocyst, full blastocyst, expanded blastocyst, and hatched blastocyst.

The data were presented as the% of blastocyst development from 4-8 cells stage embryos. The% of blastocyst development in heat stress groups were also normalized to the control group (control =100%). Some of expanded blastocysts were used for determination of cell number with differential staining.

Differential staining

The cell number of blastocyst stage embryos was counted using differential staining technique developed by Thouas *et al.* (2001). Briefly, embryos were placed in 1% Triton X-100

(Sigma, USA) in phosphate buffer saline (PBS) for 10-15 sec. Embryos were washed in TCM-199 before stained with 20 mg/mL propidium iodide (PI) and 25 µg/mL bisbenzimidazole (Hoechst 33258) in TCM-199 for 30 min (38.5°C). After staining, embryos were washed with TCM-199 and fixed in 2% glutaraldehyde for 20 sec then washed again with TCM-199. Stained embryos were placed in one drop of anti-fading on glass slide and covered with cover-glass. The stained embryos were examined immediately under fluorescence microscope (Carl Zeiss Jena, SH 250). The numbers of inner cell mass (stained in blue color) and trophoblast (stained in red color) were recorded.

Statistical analysis

The experimental design was completely randomized design (CRD). Data were analyzed with one-way ANOVA using the SPSS program. Differences between treatments were subjected to student Duncan Multiple Range Test (DMRT). Differences of $P < 0.05$ were considered significant.

Results and Discussion

Results

The results of this study were showed that daily exposure to heat stress (heat 8h/d) reduce the% of blastocyst development from 4-8 cell stage embryos compared to control ($P < 0.05$). No different in blastocyst development between embryos in heat 8h and heat 8h/d groups was found (Fig. 1). The daily exposure to heat stress (heat 8h/d) also reduced the% of development to expanded blastocyst stage (Fig.2) compared to control ($P < 0.05$).

When the% of embryonic development to blastocyst stage in the heat stress groups were normalized to control (control = 100%) in each sire (Fig.3). The total blastocyst development of embryos in heat 8h/d groups from sire 3 (62.9%) was lower than that of control group ($P < 0.05$). No different within groups in sire 1, sire 2, and sire 4 were found. Additionally, the development to expanded blastocyst stage (Fig.4) of embryos in heat 8h/d groups from sire 2, 3 and 4 were lower than that of control group ($P < 0.05$).

The total cell number and numbers of trophoblast of blastocyst in heat 8h/d group were lower than those of control and heat 8 h groups ($P < 0.05$). The numbers of inner cell mass among groups were not different; data were shown in Table 1.

Discussion

In this study we placed embryos into two models of heat stress conditions; group 1, embryos were induced to heat stress once, represent an acute heat stress; and group 2, embryos were induced to heat stress daily, represent a chronic heat stress condition. Our results showed that single exposure to heat stress (heat 8h group) produced no effect on development suggesting that these embryos were genetically tolerant to an elevated temperature. The 4-8 cells stage embryos in our study were able to develop to the blastocyst stage at a comparable rate to that of normal temperature. This was in contrast to other studies (Rivera and Hansen, 2001; Roth and Hansen, 2004; Sakatani *et al.*, 2012; Sakatani *et al.*, 2015). This discrepancy might be explained by the fact that oocytes used in our study came from Thai native cross bred (*Bos indicus*) cows while other studies

used oocytes collected from *Bos taurus* breeds, mainly Holstein. However, repeated exposure to heat stress (heat 8h/d) significantly reduced the % of embryos reaching any stage of blastocyst (total blastocyst) and reaching expanded blastocyst or more. This suggested that our model is suitable to study heat stress in genetically-adapted to subtropical climate embryos.

The influence from breed is one of several factors contributed to heat-tolerance. Block *et al.* (2002) reported that *Bos indicus* embryos had a better heat tolerance than *Bos taurus* embryos. The embryos produced from *Bos indicus* oocytes were more resistant to heat stress than embryos produced from *Bos taurus* oocytes (Eberhardt *et al.*, 2009; Gendelman *et al.*, 2010; Satrapa *et al.*, 2011; Paula-Lopez *et al.*, 2013).

The developmental ability to blastocyst stage under heat stress conditions could be affected by individual characteristic or genetic of sire (Ward *et al.*, 2001). In this study, oocytes from Thai native crossbred cows were fertilized by four Australia Charloias' sire (*Bos taurus*) imported to Thailand by Department of Livestock Development. It was found that embryos produced from sire 3 under daily exposure to heat stress had lower proportions of total blastocyst compared to control and lowest among four sires in our knowledge, the influence of different bulls in the same breed on heat stress tolerant ability of embryos has not been reported. However, when the speed of blastocyst development was taken into considered the % of expanded blastocysts were also reduced in every sire under daily exposure of heat stress. This indicated that there was no sire that gave rise to embryos with highly resistant to heat stress. Interestingly, embryos in our study were profoundly affected by

chronic heat stress despite the good heat tolerance from both maternal and paternal genome.

The number of cells of blastocysts reflects the quality of embryos. The numbers of blastocyst total cells in our study were comparable with other studies (Paula-Lopez *et al.*, 2003; Sakatani *et al.*, 2004; Jousan and Hansen, 2004; Sakatani *et al.*, 2012). It was found that the numbers of trophoctoderm of blastocysts in heat 8h/d group were lower than those of control and heat 8h groups whereas the numbers of the inner cell mass were not different among groups. In agreement to other studies, the numbers of trophoctoderm and total cells were decreased in heat stress group (Paula-Lopez *et al.*, 2003; Sakatani *et al.*, 2004; Jousan and Hansen, 2004; Sakatani *et al.*, 2012). Although the numbers of inner cell mass were not affected by heat stress the pregnancy rate from heat stress could be compromised. The trophoctoderm plays a crucial role in the pregnancy recognition process as the source to secrete interferon-tau (IFN- τ), the pregnancy recognition signal in ruminants (Bazer *et al.*, 1997; El-Sayed *et al.*, 2006; Bazer. 2013).

Table 1 Numbers (means \pm SE) of inner cell mass (ICM) and trophoctoderm (TE) in expanded blastocyst under heat stress conditions

Treatment	n	ICM	TE	Total
Control	16	24.6 \pm 2.1	96.6 \pm 3.8 ^a	123.1 \pm 5.1 ^a
Heat 8h	16	24.9 \pm 2.0	97.9 \pm 3.2 ^a	122.9 \pm 4.5 ^a
Heat 8h/D	12	20.6 \pm 1.4	88.3 \pm 2.7 ^b	108.8 \pm 3.3 ^b

^{a,b} difference superscripts were significant (P<0.05)

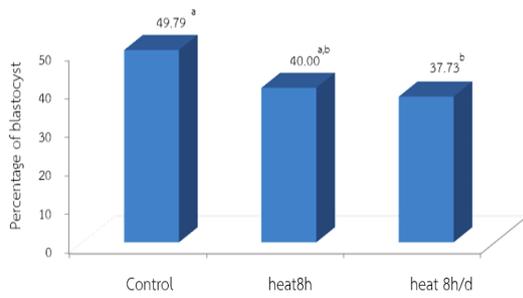


Fig. 1 The% of 4-8 cell stage embryos development to total blastocyst under heat stress conditions.

^{a,b} different superscripts are significant (P<0.05)

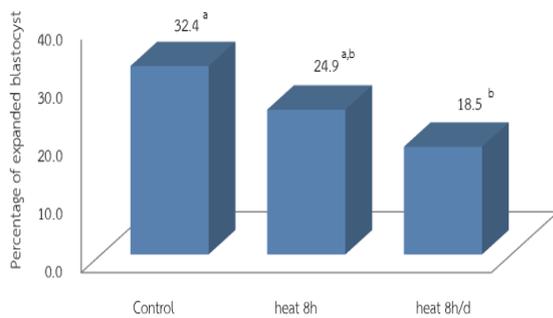


Fig. 2 The% of 4-8 cell stage embryos development to expanded blastocyst stage under heat stress conditions.

^{a,b} different superscripts are significant (P<0.05)

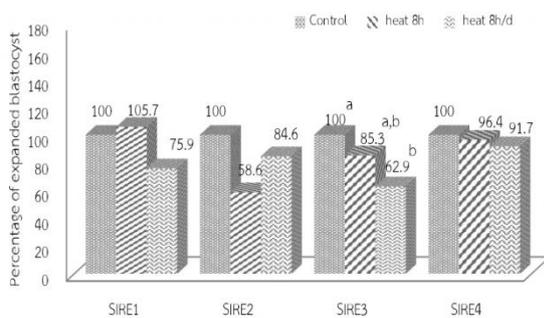


Fig. 3 The% of 4-8 cell stage embryos development to blastocyst stage normalized to control group (control=100%) under heat stress conditions.

^{a,b} different superscripts are significant (P<0.05)

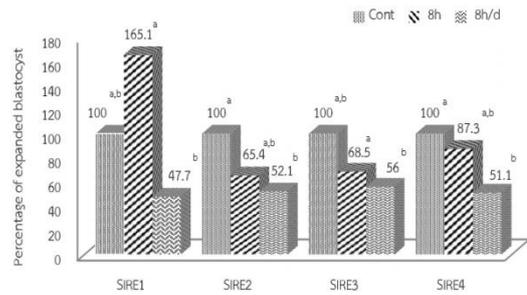


Fig. 4 The% of 4-8 cell stage embryos development to expanded blastocyst stage normalized to control group (control=100%) under heat stress conditions.

^{a,b} different superscripts are significant (P<0.05)

Conclusion

In conclusion, this study was suggested that there was no distinct sire affection development to blastocyst stage under heat stress condition. Heat stress reduced the number of total cell in blastocyst stage through the reduction in numbers of trophoctoderm. It is interesting to study the effect of heat stress on expression of heat stress related genes.

Acknowledgements

We would like acknowledgement to the Research Fund for Supporting Lecturer to Admit High Potential Student to Study and Research on His Expert Program Year 2011 and the Graduated Fund, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University for supporting the grant to this research. We sincere gratitude to the Artificial Insemination and Research of North Region Center for supporting frozen bull in this research.

References

- Alves, M.F., Gonçalves, R.F., Pavao, D.L., Palazzi, E.G., Souza, F., de Queiróz, R.K.R., D'Angelo, M. and Antônio de Achilles, M. 2013. Effect of heat stress on the maturation, fertilization and development rates of *in vitro* produced bovine embryos. *J. Anim. Sci.* 3: 174-178.
- Bazer, F.W., Spencer, T.E. and Ott, T.L. 1997. Interferon Tau: A novel pregnancy recognition signal. *AJRI.* 37: 412-420.
- Bazer, F.W. 2013. Pregnancy recognition signaling mechanisms in ruminants and pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4(23): 1-10.
- Block, J., Chase, C.C. Jr. and Hansen, P.J. 2002. Inheritance of resistance of bovine pre implantation embryos to heat shock: relative importance of the maternal versus paternal contribution. *Mol. Reprod. Dev.* 63: 32-37.
- Bonilla, A.Q.S., Oliveira, L.J., Ozawa, M., Newsom, E.M., Lucy, M.C. and Hansen, P.J. 2011. Developmental changes in thermo protective actions of insulin-like growth factor-1 on the pre implantation bovine embryo. *Mol. Cell. Endocrinol.* 332: 170-179.
- Eberhardt, B.G., Satrapa, R.A., Capinzaiki, C.R.L., Trinca, L.A. and Barros, C.M. 2009. Influence of the breed of bull (*Bos taurus indicus* vs. *Bos taurus taurus*) and the breed of cow (*Bos taurus indicus*, *Bos taurus taurus* and crossbred) on the resistance of bovine embryos to heat. *Anim.Reprod. Sci.*114: 54-61.
- Edwards, J.L. and Hansen, P.J. 1997. Differential responses of bovine oocytes and pre implantation embryos to heat shock. *Mol. Reprod. Dev.* 46: 138-145.
- El-Sayed, A., Hoelker, M., Rings, F., Salilew, D., Jennen, D., Tholen, E., Sirard, M., Schellander, K. and Tesfaye, D. 2006. Large-scale transcriptional analysis of bovine embryo biopsies in relation to pregnancy success after transfer to recipients. *Physiol. Genomics.* 28: 84-96.
- Gendelman, M., Aroyo, A., Yavin, S. and Roth, Z. 2010. Seasonal effect on gene expression, cleavage timing, and developmental competence of bovine pre implantation embryos. *Reprod. Ferti.* 140: 73-82.
- Graf, A., Krebs, S., Heininen-Brown, M., Zakhartchenko, V., Schwalb, B., Bluma, H. and Wolf, E. 2014. Fine mapping of genome activation in bovine embryos by RNA sequencing. *PNAS.* 111(11): 4139-4144.
- Hansen, P.J. 2007. To be or not to be-determinants of embryonic survival following heat shock. *Theriogenology.* 68 Suppl 1: S40-8.
- Jousan, F.D. and Hansen, P.J. 2004. Insulin-like growth factor-I as a survival factor for the bovine pre implantation embryo exposed to heat shock. *Biol. Reprod.* 71: 1665-1670.
- Payton, R.R., Romar, R., Coy, P., Saxton, A.M, Lawrence, J.L. and Edwards, J.L. 2004. Susceptibility of bovine germinal vesicle-stage oocytes from antral follicles to direct effects of heat stress *in vitro*. *Biol. Reprod.* 71:1303-8.
- Paula-Lopez, F.F. and Hansen, P.J. 2002. Heat-shock induced apoptosis in pre implantation bovine embryos is a developmentally-regulated phenomenon. *Biol. Reprod.* 66:1169-1177.
- Paula-Lopez, F.F., Chase Jr, C.C., Al-Katanani, Y.M., Krininger, C.E., Rivera, R.M., Tekin, S., Majewski, A.C., Ocon,

- O.M., Olson, T.A. Hansen, P.J. 2003. Genetic divergence in cellular resistance to heat shock in cattle: differences between breeds developed in temperate versus hot climates in responses of pre implantation embryos, reproductive tract tissues and lymphocytes to increased culture temperatures. *Reprod.* 125: 285–294.
- Paula-Lopez, F.F., Lima, R.S., Satrapa, R.A. and Barros, C.M. 2013. Physiology and endocrinology symposium: Influence of cattle genotype (*Bos indicus* vs. *Bos taurus*) on oocyte and pre implantation embryo resistance to increased temperature. *J Anim Sci.* 11: 43-1153.
- Rivera, R.M. and Hansen, P.J. 2001. Development of cultured bovine embryos after exposure to high temperatures in the physiological range. *Reprod.* 121 (1): 107-15.
- Rivera, R.M., Dahlgren, G.M., De Castro, E., Kennedy, R.T. and Hansen, P.J. 2004. Actions of thermal stress in two-cell bovine embryos: oxygen metabolism, glutathione and ATP content, and the time-course of development. *Reprod.* 128(1): 33-42.
- Roth, Z. and Hansen, P.J. 2004. Involvement of apoptosis in disruption of developmental competence of bovine oocytes by heat shock during maturation. *Biol. Reprod.* 71: 1898–1906.
- Sakatani, M., Yamanaka, K., Balboula, A.Z., Takenouchi, N. and Takahashi, M. 2015. Heat stress during *in vitro* fertilization decreases fertilization success by disrupting anti-polyspermy systems of the oocytes. *MolReprod Dev.* 82(1): 36-47.
- Sakatani, M., Alvarez, N.V., Takahashi, M. and Hansen, P.J. 2012. Consequences of physiological heat shock beginning at the zygote stage on embryonic development and expression of stress response genes in cattle. *J. Dairy. Sci.* 95:3080-3091.
- Sakatani, M., Kobayashi, S. and Takahashi, M. 2004. Effects of heat shock on *in vitro* development and intracellular oxidative state of bovine pre implantation embryos. *Mol. Reprod. Dev.* 67: 77– 82.
- Satrapa, R.A., Nabhan, T., Silva, C.F., Simões, R.A.L., Razza, E.M., Puelker, R.Z., Trinca, L.A. and Barros, C.M. 2011. Influence of sire breed (*Bos indicus* versus *Bos taurus*) and interval from slaughter to oocyte aspiration on heat stress tolerance of *in vitro*-produced bovine embryos. *Theriogenology.* 76: 1162-1167.
- Silva, C.F., Sartorelli, E.S., Castilho, A.C.S., Satrapa, R.A., Puelker, R.Z., Razza, E.M., Ticianelli, J.S., Eduardo, H.P., Loureiro, B. and Barros, C.M. 2013. Effects of heat stress on development, quality and survival of *Bos indicus* and *Bos taurus* embryos produce d *in vitro*. *Theriogenology.* 79:351-357.
- Thouas, G.A., Korfiatis, N.A., French, A.J., Jones, G.M. and Trounson, A.O. 2001. Simplified technique for differential staining of inner cell mass and trophectoderm cells of mouse and bovine blastocysts. *Reprod. Biomed. Online.* 3(1): 25-29.
- Ward, F., Rizos, D., Corridan, D., Quinn, K., Boland, M. and Lonergan, P. 2001. Paternal influence on the time of first embryonic cleavage post insemination and the implications for subsequent bovine embryo development *in vitro* and fertility *in vivo*. *Mol. Reprod. Develop.* 60: 47–55.

Prevalence and Genetic Profiles of *Staphylococcus aureus* Isolated from Milk in Mastitic Dairy Cows Based on Conventional and Multiplex PCR Assays in Khon Kaen Province, Thailand

Noppadon Somphol¹, Chaiyapas Thamrongyoswittayakul^{1,2*}, Chotechana Wilailuckana³, Patchara Phuektes^{1,4} and Chittraporn Yeanpet¹

¹Research Group for Animal Health Technology, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

²Division of Livestock Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

³Faculty of Associated Medical Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

⁴Division of Pathobiology, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

Abstract

The objective of this study was to investigate the prevalence and genetic profiles of *Staphylococcus aureus* isolated from mastitic milk in dairy cows by conventional methods and multiplex polymerase chain reaction (m-PCR). Four hundred and thirty-five quarter milk samples were recruited from 14 dairy herds in Khon Kaen Province, Thailand, and determined as subclinical cases by California Mastitis test (CMT). Seventy-Six *S. aureus* isolates were then bacteriologically identified according to culture and biochemical tests. The prevalence of *S. aureus*, coagulase negative staphylococci (CNS) and other bacteria were 17.5%, 32.4% and 12.4%, respectively. Genetic profiles of *S. aureus* were carried out by m-PCR using 3 specific primers targeting 16s rDNA gene (420 bp) for detection of the *Staphylococcus* spp., gene encoding coagulase (*coa*: 159, 240 bp) and factors essential for methicillin-resistance (*femA*: 344 bp) for detecting species level of *S. aureus*. Genetic profiles were assigned to 6 different patterns based on specific genes detection out of the 76 *S. aureus* isolates. All of the isolates yielded an amplicon with a size of approximately 420 bp of the 16s-rDNA. Amplification of the *coa* gene yielded two distinct products of 159-bp and 240-bp amplicons in 28 (36.8%) and 29 (38.1%) isolates, respectively. The *fem A* gene (344 bp) was highly expressed in 69 isolates (92.1%). On the basis of genetic variation, DNA band patterns were divided into 6 patterns (pattern I-VI) and recognized as follows: pattern I (420-344-240-159 bp), pattern II (420-344 bp), pattern III (800-600-420-344-240 bp), pattern IV (800-600-420-344 bp), pattern V (600-500-420-240 bp) and pattern VI (800-600-420-240-159 bp), accounted for 25% (19/76), 43.4% (33/76), 5.26% (4/76), 10.52% (8/76), 3.94% (3/76) and 5.25% (4/76), respectively. The results of this study showed that the prevalence of *S. aureus* is relatively high and distributed in several farms. m-PCR assay with 3 specific genes can be successfully applied to assess the genetic characteristics of *S. aureus* isolates from different herds. Furthermore, the genetic diversity of specific genes indicates the same or different clonal distribution of in several dairy herds in the nearby area.

Keywords: Prevalence, Genetic profile, Multiplex PCR, Subclinical mastitis and Dairy cow

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: chaiyapas@kku.ac.th

ความชุกและรูปแบบทางพันธุกรรมของ *Staphylococcus aureus* จากตัวอย่างน้ำนมของ
โคนมที่เป็นโรคเต้านมอักเสบด้วยเทคนิคการตรวจวินิจฉัยแบบมาตรฐาน และ multiplex PCR
ในจังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย

นพดล สมผล¹, ไชยพัทธ์ อารังยศวิทยากุล^{1,2*}, โขติชนะ วิไลลักษณ์³, พัชรา เผือกเทศ^{1,4}
และ จิตราภรณ์ เยียนเพชร¹

¹ กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีสุขภาพสัตว์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

² กลุ่มวิชาอายุรศาสตร์ปศุสัตว์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

³ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

⁴ กลุ่มวิชาพยาธิชีววิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อหาความชุกและรูปแบบทางพันธุกรรมของเชื้อ *Staphylococcus aureus* จากตัวอย่างน้ำนมที่เป็นเต้านมอักเสบ ด้วยเทคนิคการตรวจวินิจฉัยแบบมาตรฐานและ multiplex PCR (m-PCR) เก็บตัวอย่างน้ำนมจากแม่โครีดนมที่เป็นเต้านมอักเสบแบบไม่แสดงอาการ โดยคัดกรองเบื้องต้นด้วยเทคนิค CMT จากทั้งหมด 14 ฟาร์ม จำนวน 435 ต่อมนมในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย แล้วเพาะและแยกเชื้อ *S. aureus* ด้วยเทคนิคทางจุลชีววิทยาและทดสอบทางชีวเคมี ได้ทั้งหมด 76 เชื้อ พบว่าความชุกของเชื้อ *S. aureus*, coagulase negative staphylococci (CNS) และเชื้อกลุ่มอื่น คิดเป็นร้อยละ 17.5, 32.4 และ 12.4 ตามลำดับ รูปแบบทางพันธุกรรมของเชื้อ *S. aureus* จากการตรวจด้วยเทคนิค m-PCR โดยใช้ไพรเมอร์ที่จำเพาะต่อ 3 ยีนเป้าหมาย คือ ยีน 16s-rDNA (420 bp) ใช้จำแนกในระดับจิ้นส์ของ *Staphylococcus* spp., *coa* (159, 240 bp) และ *femA* (344 bp) ใช้สำหรับจำแนกในระดับสปีชีส์ของ *S. aureus* พบว่าเชื้อทั้งหมดมียีน 16s-rDNA (420 bp) ส่วนยีน *coa* นั้นที่มีขนาดแตกต่างกัน 2 ขนาด คือ ขนาด 159 และ 240 bp คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 36.8 (28/76) และร้อยละ 38.1 (29/76) ตามลำดับ และสามารถจำแนกรูปแบบทางพันธุกรรมของ *S. aureus* ได้เป็น 6 รูปแบบที่แตกต่างกัน คือ (รูปแบบ I-VI) ดังนี้ รูปแบบที่ I (420-344-240-159 bp) รูปแบบที่ II (420-344 bp), รูปแบบที่ III (800-600-420-344-240 bp), รูปแบบที่ IV (800-600-420-344 bp), รูปแบบที่ V (600-500-420-240 bp) และรูปแบบที่ VI (800-600-420-240-159 bp) โดยมีสัดส่วนที่พบคิดเป็นร้อยละ 25 (19/76), 43.4 (33/76), 5.26 (4/76), 10.52 (8/76), 3.94 (3/76) และ 5.25(4/76) ตามลำดับ จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าความชุกของเชื้อ *S. aureus* พบค่อนข้างสูงและมีการกระจายอยู่ในหลายฟาร์มของพื้นที่ทำการศึกษาการตรวจวินิจฉัยเชื้อ *S. aureus* ด้วยเทคนิค m-PCR โดยการใช้ยีนจำเพาะ 3 ชนิดนี้ สามารถใช้ในการประเมินคุณลักษณะทางพันธุกรรมของเชื้อในฝูงโคนมแต่ละฝูงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหลากหลายทางพันธุกรรมของเชื้อ บ่งชี้ถึงการกระจายของเชื้อสายพันธุ์เดียวกันและต่างกันในกลุ่มหลายฝูงที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: ความชุก รูปแบบพันธุกรรม Multiplex PCR โรคเต้านมอักเสบแบบไม่แสดงอาการ และ โคนม

* Corresponding author: E-mail: chaiyapas@kku.ac.th

Introduction

Staphylococcus aureus is known as a major cause of contagious bovine mastitis in Thailand. Although, *S. aureus* is isolated low prevalent from cows than CNS in Thailand (Kampa *et al.*, 2010) and some countries in Europe (Schukken *et al.* 2009; Tenhagen *et al.* 2009), *S. aureus* is capably contagious to other cows within a herd and occasionally to other herds, causing clinical and mainly subclinical mastitis (Sindhu *et al.*, 2010). Currently, the mastitis pathogen identification is based on a conventional culture procedure. This method is also given a name of “gold standard”, where the main clinically relevant factor is the differentiation between the contagious *S. aureus* and other Staphylococci (Karima *et al.*, 2004). Recently, molecular techniques such as PCR methods (Shome *et al.*, 2011; Anjali and Kasshyap, 2017), highly sensitive and specific approaches for reliably nucleic acid detection, have been used to identify and compare *S. aureus* genotypes (Saei *et al.*, 2009). The identification of the bacteria using PCR at the species level is based on amplification of a target mostly rRNA gene, which is highly conserved in bacteria (Anjali and Kasshyap, 2017). To improve the diagnosis, a rapid, sensitive and specific multiplex polymerase chain reaction (m-PCR) assay has been developed for early detection of more than one mastitis-causing pathogen in single PCR reaction. In m-PCR, multiple pairs of primers specific for different DNA segments are included in the same reaction to enable amplification of multiple targeted sequences in one assay (Henegariu *et al.*, 1997). This produces amplicons of variable sizes, allowing the identification of targeted bacterial pathogens in a milk sample. However, information regarding

the prevalence and genetic profiles of *S. aureus* causing mastitis in the small dairy farm in this area is limited. Due to the limitations of conventional culture methods, time consuming, routinely requiring 48 hours to complete. Compared with the conventional method and m-PCR assays are less time consuming, rapid, sensitive and hence reliable for the detection major pathogens causing bovine mastitis from milk. Therefore, the objectives of this study were to investigate the prevalence and genetic profiles of *S. aureus* from milk in mastitic dairy cows based on conventional and multiplex PCR methods in small dairy farms in Muang District, Khon Kaen Province, Thailand.

Materials and Methods

1. Milk sampling, Isolation and Identification of *S. aureus*

The study was conducted on smallholder dairy farmers in Khon Kaen Province, Thailand (16° 34' N, 102° 46' E), from October to December 2014. One hundred and sixty bulk milk samples were initially screened for subclinical mastitis by CMT (Kivaria *et al.* 2007). CMT scores ≥ 1 were used as the basis for further quarter milk sampling at the farm level and resulted in 16 positive dairy farms (10%) Second phase, at the farm level, quarter milk samples (QM) were aseptically collected according to the National Mastitis Council (NMC) guidelines from 16 dairy farms (233 cows, 909 QMs). In order to ensure *S. aureus* isolation, primary culture of milk samples was performed on Braid Parker agar (BPA, Himedia[®], India), a selective media for coagulase-positive Staphylococci. Black shiny colonies with clear haloon BPA were suspected as *S. aureus*, picked up for subcultures on 5% sheep blood agar to

obtain pure culture, observe colony characteristics and hemolysis types. Gram staining, catalase test and coagulase test were used for the presumptive identification of all isolates (NMC, 1999). *S. aureus* isolates were then kept frozen at -20 °C in tryptic soy broth (TSB, Himedia[®], India) containing 15% glycerol for further molecular processes.

2. DNA extraction

S. aureus DNA was extracted from overnight cultures in 10 ml of brain heart infusion broth (Himedia[®], India) by using High Pure PCR Template Preparation Kit (Roche Applied Science, Germany) according to manufacturer instruction with some modifications.

3. Oligonucleotide Primers

PCR primers were designed from species specific regions of the DNA 16s-rDNA gene-based identification, *coa* and *femA* genes reference to previously published sequence entries available in the NCBI-GenBank sequence database for the detection of *Staphylococcus* spp. (16s-rDNA) and *S. aureus* (*coa* and *femA* genes) available. The lyophilized powder of synthesized primers (Sigma-Aldrich PTE Ltd., Singapore) were reconstituted in Tris-EDTA buffer to a final concentration of 1000 pm/μl and stored at -70 °C as a stock solution. The working concentration of 20 pm/μl was prepared with sterile RNase free water, aliquoted and stored at -20 °C. The sequences of 3 different specific primers included 16s-rDNA (420 bp; Strommenger *et al.*, 2003) to specifically detect *Staphylococcus* spp. (Forward: 5' CAG CTC GTG TCG TGA GAT GT 3' and reverse: 5' AAT CAT TTG TCC CAC CTT CG 3'); coagulase gene (*coa*) (240, 159 bp; this study) to detect *S. aureus*-specific (Forward: 5' GCC CAA CAC AAA ACA AGC CA 3' and

reverse: 5' GCC CAT ATG TCG CAG TAC CA 3') and factor A essential for methicillin resistance (*femA*344 bp; this study) to detect *S. aureus*-specific (Forward: 5' CAA AGA GCG TGT TGG CCA CTA TG 3' and reverse: 5' AGG GCA CTG CAT AAC TTC CG 3').

4. Multiplex PCR Assays

The PCR reaction was conducted in a CFX96[™] Real Time System, C-1000 Touch Thermal Cycler (CFX96[™] Optics Module, USA). Each 25 μl PCR reaction volume containing 12.5 μl of 2X PCR Master Mix (Thermo Scientific, Lithuania), 4 mM MgCl₂, 0.4 μM of each primer and up to 25 μl of nuclease free water were totally mixed in a PCR tube. DNA amplification was carried out as follows: initial denaturation at 94°C for 4 min, followed by 40 cycles of amplification (denaturation at 94°C for 30 s, annealing at 55°C for 30 s, extension at 72°C for 1 min), and ending with a final extension at 72°C for 5 min. PCR products were separated by electrophoresis on 1% agarose gel mixed with SYBR SAFE (1:10000; Invitrogen, USA) containing 0.5X Tris-borate-EDTA (TBE) buffer at 100 volts for 30 min and visualized under ChemiDoc XRS⁺ (Bio-RAD, USA). To ensure that the amplified products were the expected size, a 100 bp DNA ladder (100-1000 bp, Solis Biodye, Estonia) was run simultaneously as a marker.

5. Statistical analysis

Data on classification criteria included the prevalence of *S. aureus* and the molecular and genetic profiles. Descriptive statistics were used to analyze the results and reported as percentage (%) by SPSS version 17.0 (Cary, NC, USA).

Results and Discussion

1. Prevalence of *S. aureus* using conventional method

A total of 435 CMT-positive quarter milk samples from 187 cows in 16 dairy farms were tested and *S. aureus* was isolated from 76 samples based on the cultural and biochemical properties. All the 76 isolates showed β -hemolysis on 5% sheep blood agar media. Gram-stained smears of the pure cultures exhibited clusters of Gram-positive cocci. The isolates also grew on BPA media with shiny black with narrow white margins surrounding by clear zone extending into the opaque medium. The isolates were identified as *S. aureus* by coagulase test positive and then confirmed by the formation of curd like clotting as compared to negative control (data not shown). These colonies were found to be Gram positive cocci in clusters in accordance with a report of El-Hadedy and El-Nour (2012). Earlier reports in Thailand have been conducted to assess the prevalence of *S. aureus* microorganisms in the infected mammary gland and transmitted from mastitic milk attained from small-holder dairy farms. The prevalence of *S. aureus* in this study was 17.5% (76/435) of 14 small-holder dairy farms, which was similar and moderately high as in Aiumlamai *et al.* (2000), carried out in neighboring populations and areas, (17.5% and 17%, respectively) but was higher than that reported by Kampa *et al.* (2010) (only 3%). However, the present finding was lower than that reported by Hashemi *et al.* (2011) (19.56%). The lowest & highest *S. aureus* prevalence individual farm was 4.4 and 62.5 % respectively (data shown in Table 1). Meanwhile, 141 bacterial isolates were identified as CNS, with the highest prevalence of

32.4% in 14 dairy farms. Contagious bacteria are including *S. aureus* and *Streptococcus agalactiae*, both types of bacteria are infected by cow to cow during milking (Ajariyakhajorn *et al.*, 2003). The high prevalence of *S. aureus* is indicative of poorhygienic measures during production, handling and distribution (Zakary *et al.*, 2011). According to our investigation, indicated that the management of milking hygiene in many dairy farms these areas were still a problem. However, the prevalence of *S. aureus* and others contagious bacteria in this study was close to the previous 17-year (Aiumlamai *et al.*, 2000). This situation could be explained by no improvement of milking hygiene in the studied dairy herds, i.e. milking management inappropriate. Therefore, dairy farmers should be aware of the problem and improve the hygienic milking process.

2. Detection & genetic profiles of genes by multiplex PCR

A total 76 *S. aureus* isolates were genetically determined using the multiplex PCR method including 3 specific primers. To substantiate the m-PCR method, all *S. aureus* strains were also primarily screened for the presence of individual genes by singleplex PCRs. The results of the singleplex PCRs corresponded precisely with those from multiplex PCR (Fig.1), demonstrating the reliability of the multiplex PCR method. In the m-PCR, the detection of *S. aureus* at the genus and species levels was accomplished through the amplification of the genes encoding 16s-rDNA, coagulase and *femA*, respectively. As demonstrated by our m-PCR, the primer pair performed in the specific amplification of the 16s-rDNA gene from species of *Staphylococcus*. In addition, the *coa* and *femA* primers designed for

this study were specific for *S. aureus* strains. The 16s-rDNA gene (420 bp) was detected in all sample of isolates (100%, 76/76), indicating that all strains were classified as genus *Staphylococcus*. Earlier reports, Chotar *et al.* (2006) and Sindhu *et al.* (2010) have also used 16S-23S rRNA spacer-based PCR assays for specific detection of staphylococci. The identification of *S. aureus* based on their 16s-rRNA is preferred because 16s rRNA genes are highly conserved throughout bacterial evolution. They consist of common regions of all eubacteria and other regions, which are extremely species specific and have been used for species identification of *S. aureus* by many workers (Lange *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2004; Fan *et al.*, 2008). PCR amplification of *coa* gene from 76 isolates

generated five different types in relation to sizes, ranging from 159-800 bp, which were recognized as follows: *coa* type I (159 bp), *coa* type II (240 bp), *coa* type III (500 bp), *coa* type IV (600 bp) and *coa* type V (800 bp) (Fig.1, 2 and 3) and were found at 36.8 and 38.1%, respectively (remaining data not shown). The majority of the isolates exhibit *coa* gene type II with 240 bp in size. The predominance of a particular strain of *S. aureus* might be the increased resistance to the host immune response as compared to those with the rare genotypes which could have a lower resistance (Mullarky *et al.*, 2001 cited by Lateef *et al.*, 2015). The result was compatible with the studies of Abbas *et al.* (2014) and Lateef *et al.* (2015)

Table 1 Bacteriological finding in milk samples from infected quarters by mastitis in dairy farms of Khon Kaen Province, Thailand

Farm ID.	Dairy cow sample (cow)	Quarter milk sample (QM)	<i>S. aureus</i> (No. isolate) (n, %)	Coagulase-negative staphylococci (n, %)	Other bacteria (n, %)	No Growth Bacteria (n, %)
F288	11	36	2 (5.6)	3 (8.3)	0	31 (86.1)
F631	12	25	8 (32)	7 (28)	1 (4)	12 (48)
F674	3	6	0	6 (100)	0	2 (33.3)
F049	23	72	8 (11.1)	23 (31.9)	2 (2.8)	40 (55.6)
F557	17	46	2 (4.4)	27 (58.7)	2 (4.3)	19 (41.3)
F041	22	49	10 (20.4)	13 (26.5)	3 (6.1)	30 (61.2)
F653	5	14	1 (7.1)	0	0	12 (85.7)
F386	10	30	13 (43.3)	1 (3.3)	0	15 (50)
F101	10	29	3 (10.3)	15 (51.7)	16 (55.2)	5 (17.2)
F043	12	26	2 (7.7)	9 (34.6)	9 (34.6)	7 (26.9)
F680	9	9	1 (11.1)	7 (77.8)	1 (12.5)	2 (22.2)
F602	25	33	6 (18.2)	8 (24.2)	9 (27.3)	11 (33.3)
F163	7	16	10 (62.5)	1 (6.3)	0	5 (31.3)
F570	5	13	4 (30.7)	0	7 (53.8)	3 (23)
F621	6	9	0	5 (55.6)	2 (22.2)	2 (22.2)
F598	10	22	6 (27.3)	16 (72.7)	2 (9.1)	2 (9.1)
	n=187	n=435	76 (17.5)	141 (32.4)	54 (12.4)	198 (45.5)

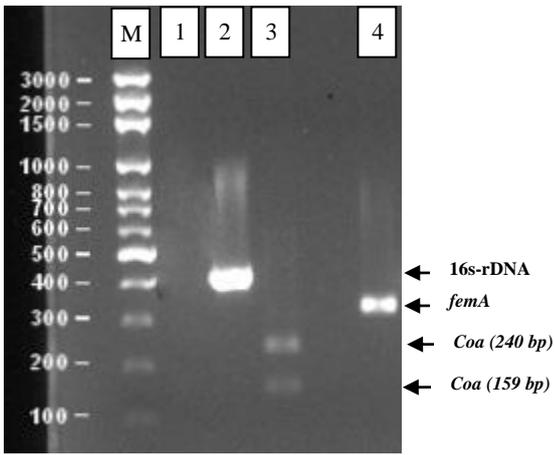


Fig. 1 PCR amplification of 3 specific primers *S. aureus* analyzed by electrophoresis on a 1% agarose gel. Lane M: 100 bp DNA Ladder, Lane (1) Negative Control, Lane (2-4): PCR amplified products of Reference Positive control (*S. aureus* ATCC 25923), Lane (2) 420 bp of 16s-rDNA, Lane (3) 159, 240 bp of *coa* gene and Lane (4) 344 bp of *femA* gene

The reason for this polymorphism in the *coa* gene among *S. aureus* isolates could be due to this gene which consists of three distinct regions: (i) the N-terminus containing the prothrombin-binding site, (ii) a central region which is highly conserved, and (iii) a C-terminal region composed of 81-bp tandem repeated units, which each encode-27-amino acid residue (Janwithayanuchit *et al.*, 2006). Therefore, the size of 3' region of the *coa* gene is variable in *S. aureus* strains (Shopsin *et al.*, 2000). In the present study, almost all isolated strains were relevant to 344-bp band of *fem A* gene (92.1%; 69/76). The *fem A* genes were suggested to be specific for *S. aureus*, encodes a factor which is essential for methicillin resistance and is universally present in all MRSA isolates (Singh *et al.*, 2014). Therefore, it is possible that some strains found in this study may not be resistant strains. On the basis of genetic variation, DNA band patterns were divided into 6

patterns (pattern I-VI) (shown in Table 2) were recognized as follows: pattern I (420-344-240-159 bp), pattern II (420-344 bp), pattern III (800-600-420-344-240 bp), pattern IV (800-600-420-344 bp), pattern V (600-500-420-240 bp) and pattern VI (800-600-420-240-159 bp) (Fig. 2,3 and Table 2) and were found 25% (19/76), 43.4% (33/76), 5.26% (4/76), 10.52% (8/76), 3.94% (3/76) and 5.25% (4/76), respectively. Pattern II (420-344 bp) was most predominantly distributed (43.4%) in 33 isolates of 8 dairy farms in Muang, Khon Kaen area. Therefore, this pattern of *S. aureus* has the potential to spread to other farms in the neighborhood, if there is no adequate protection and control of farm sanitation. Furthermore, the minor predominant pattern was found a pattern I (420-344-240-159), distributed in 19 isolates of 6 dairy farms. It was found that one farm (Farm ID. 163) distributed in both patterns, indicating that it was spread from one farm to another. It is possible that cows are infected during milking, including from the milking machine with contamination from the animal's skin, milk, or hand of the operator (Bava *et al.*, 2009). The results of this study are consistent with many reports by Abdulghany *et al.* (2014), Gao *et al.* (2010), Fan *et al.* (2008) and Abbas *et al.* (2014). In addition, the results of this study show the genetic diversity of *S. aureus* in mastitic dairy cows in Khon Kaen Province, Thailand.

Conclusion

In conclusion, the prevalence of mastitis-causing *S. aureus* in milking cow of small holder dairy farms in Khon Kaen Province, Thailand, was relatively high. m-PCR assays can be used as a rapid diagnostic method with high sensitivity to

diagnose and identify the genetic diversity of mastitis-causing *S. aureus*. In addition, genetic variation of specific genes indicated a distribution of different clonal in the nearby area where the most common genetic patterns were distributed in several neighboring herds. Simple dairy hygiene such as dipping the milking clusters in sterilizing solution between each cow milked would be a very effective (tried and tested) control measure.

Acknowledgements

This study was supported by a grant under the program Strategic Scholarships for Frontier Research Network for the Ph.D. Program Thai Doctoral Degree provided by the Commission on Higher Education, Ministry of Education, Thailand and the Graduate research fund, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University. The authors thank the small dairy farmers in Muang Khon Kaen, for the cooperation in providing milk samples.

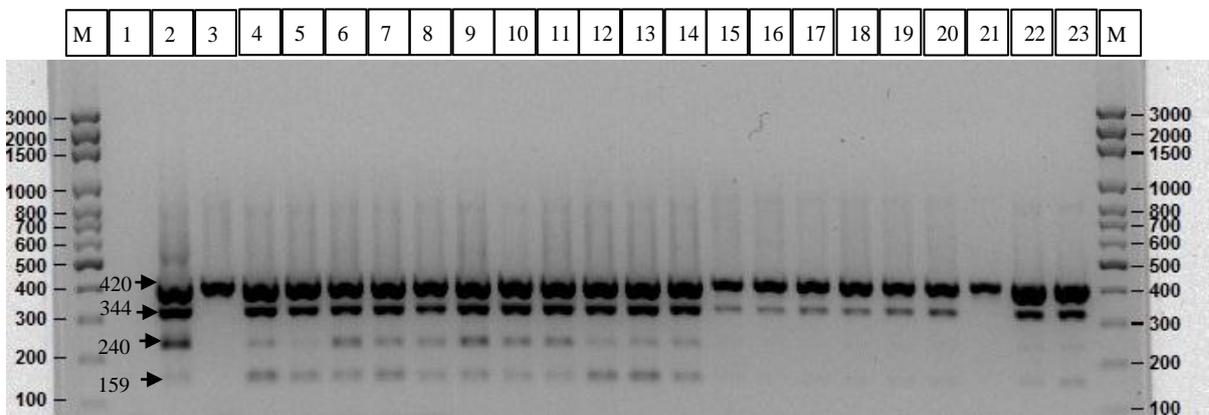


Fig. 2 m-PCR amplification products of the 3 specific primers (16s-rDNA; (420 bp), *coa*; (159, 240 bp) and *femA*; (344 bp) gene) *S. aureus* combinations were analyzed by electrophoresis on a 1% agarose gel. Lane M = 100 bp DNA Ladder, Lane 1 NTC = Negative control (NTC), Lane 2 = *S. aureus* ATCC25923; Lane 3 = *S. epidermidis* ATCC29990, Lane 4-23 = *S. aureus* sample

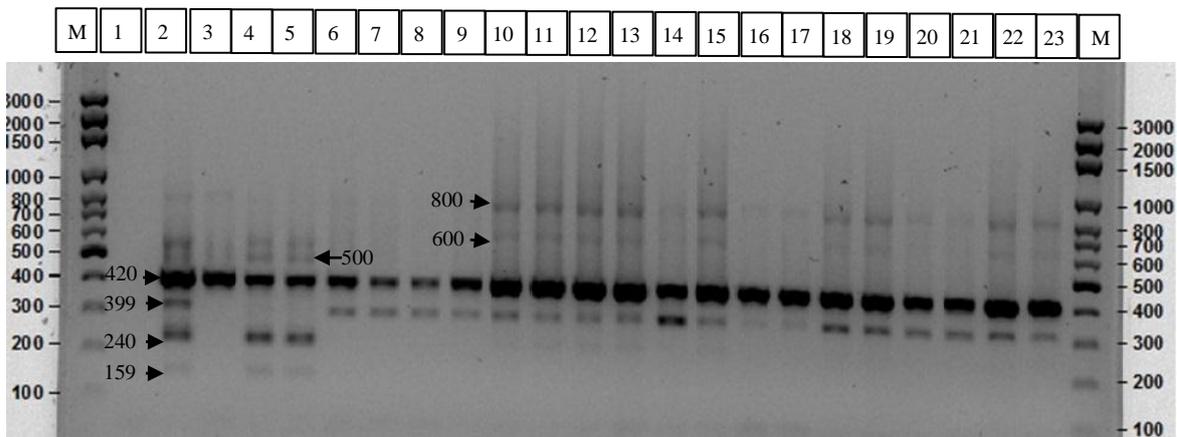


Fig. 3 m-PCR amplification products of the 3 specific primers (16s-rDNA; 420 bp), (*coa*; 159, 240 bp) and(*femA*; 344 bp) genes). *S. aureus* primers combinations were analyzed by electrophoresis on a 1% agarose gel. Lane M = 100 bp DNA Ladder, Lane 1 NTC = negative control (NTC), Lane 2 = *S. aureus* ATCC25923; Lane 3 = *S. epidermidis* ATCC29990, Lane 4-23 = *S. aureus* sample

Table 2 *S. aureus* genotypes profiles distribution in small-holder dairy farms in Khon Kaen, Thailand using m-PCR through specific 3 genes (16s-rDNA, *coa* and *femA*)

Pattern	PCR product (bp)	% (n)	Farm ID
I	420-344-240-159	25 (19/76)	F288, F631, F049, F55, F101, F163
II	420-344	43.4 (33/76)	F631, F041, F386, F101, F602, F163, F570, F598
III	800-600-420-344-240	5.26 (4/76)	F386
IV	800-600-420-344	10.52 (8/76)	F386, F043, F602, F163
V	600-500-420-240	3.94 (3/76)	F653, F598
VI	800-600-420-240-159	5.25 (4/76)	F101, F570, F598

References

- Abbas, B.A., Mohammad, H.K. and Basim, M.H. 2014. Isolation and identification of *Staphylococcus aureus* from bovine and the detection of its coagulase gene (*coa*) using polymerase chain reaction (PCR). *Scientific Research and Essays*. 9(20): 864-868.
- Abdulghany, H.M. and Khairy, R.M. 2014. The frequency of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* and coagulase gene polymorphism in Egypt. *International Journal of Bacteriology*. (2014, Article ID. 680983): 1-6.
- Aiumlamai, S., Chantun, A., Sakolapong, V., van Oostveen, F., Jarassaeng, C., Krajangpo, C., and Pattanawong, J. 2000. Prevalence of organisms causing subclinical mastitis in Amphur Muang, Khon Kaen. *Proceedings of the 26th Annual conference the Thai Veterinary Medical Association Under the Royal Patronage*, Bangkok, Thailand, 15-17 November. (p. 53-63). Bangkok, Thailand.
- Ajariyakhajorn, K., Samngamnim, S., Boonserm, T., Inchaisri, C., Thirapatsakun, T. and Farnsworth, R.J. 2003. Mastitis in small dairy holders of Nakhonpathom province, Thailand. *Proceeding of the 11th International Symposium of the World Association of Veterinary Laboratory Diagnostician and OIE Seminar on Biotechnology*, November. 9-13, 2003. 122-123.
- Anjali, G. and Kasshyap, S.K. 2017. Identification of bovine mastitis associated pathogens by multiplex PCR. *Journal of Dairy and Veterinary Sciences*. 3(5): 1-5.
- Bava, L., Zucali, M., Brasca, M. Zanini, L. and Sandrucci, A. 2009. Efficiency of cleaning procedure of milking equipment and bacterial quality of milk. *Italian Journal of Animal Science*. 8: 387-389.
- Chotar, M., Vidova, B. and Godany, A. 2006. Development of specific and rapid detection of bacterial pathogens in dairy products by PCR. *Folia Microbiology*. 51(6): 639-646.
- El-Hadedy, D. and El-Nour, S.A. 2012. Identification of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* isolated from Egyptian food by conventional and molecular methods. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 10, 129-135.
- Fan, Y., Pan, F., Paoli, G.C., Xiao, Y., Sheng, H. and Shi, X. 2008. Development of multiplex PCR method for detection of the genes encoding 16S rRNA, coagulase, methicillin resistance and enterotoxins in

- Staphylococcus aureus*. Journal of Rapid Methods & Automation in Microbiology. 16: 394-411.
- Gao, W., Cheng, H., Hu, F., Li, J., Wang, L., Yang, G., Xu, L. and Zheng, X. 2010. The evolution of *Helicobacter pylori* antibiotics resistance over 10 years in Beijing, China. *Helicobacter*. 15(5), 460-466.
- Hashemi, M., Kafi, M. and Safdarian, M. 2011. The prevalence of clinical and subclinical mastitis in dairy cows in the central region of Fars province, south of Iran. *Iranian Journal of Veterinary Research*. 12(3): 236-241.
- Henegariu, O., Heerema, N.A., Dlouhy, S.R., Vance, G.H. and Vogt, P.H. 1997. Multiplex PCR-critical parameters and step-by-step protocol. *Biotechniques*. 23(3): 504-511.
- Janwithayanuchit, I., Ngam-ululert, S., Paungmoung, P. and Rangspanurain, W. 2006. Epidemiologic study of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* by coagulase gene polymorphism. *Science Asia*. 32: 127-132.
- Kampa, J., Sukolapong, V., Chaiyotwittayakun, A., Rerkusuke, S., and Polpakdee, A. 2010. Chronic mastitis in small dairy cattle herds in Muang Khon Kaen. *Thai Journal Veterinary Medicine*. 40(3), 265-272.
- Karima, G.A.H., Grazyna, S., Beata, P. and Zofia, R. 2004. Multiplex PCR protocol for the diagnosis of cow udder infection with *Staphylococcus aureus*. *Animal Science Papers and Reports*. 22(4): 679-685.
- Kivaria, F.M., Noordhuizen, J.P.T.M. and Nielen, M. 2007. Interpretation of California mastitis test scores using *Staphylococcus aureus* culture result for screening of subclinical mastitis in low yielding smallholder dairy cows in the Dar es Salaam region of Tanzania. *Preventive Veterinary Medicine*. 78, 274-285.
- Lange, C.C., Brito, M.A.V.P., Reis, D.R.L., Machado, M.A., Guimaraes, A.S., Azevedo, A.L.S., Salles, E.B., Alvim, M.C.T., Silva, F.S. and Meurer, I.R. 2015. Species-level identification of staphylococci isolated from bovine mastitis in Brazil using partial 16S rRNA sequencing. *Veterinary Microbiology*. 176: 382-388.
- Lateef, K.R., Ismail, H.A. and Ashna, J.F. 2015. Molecular typing of *Staphylococcus aureus* by DNA restriction fragment length polymorphism of *coa* gene. *Iragi Journal of Biotechnology*. 14(1): 23-28.
- Mullarky, I. K., Su, C., Frieze, N., Park, Y. H. and Sordillo, L.M. (2001). *Staphylococcus aureus* genotypes with enterotoxin production capabilities can resist neutrophil bactericidal activity. *Infection and Immunity*, 69: 45-51.
- National Mastitis Council (NMC). 1999. Laboratory handbook on bovine mastitis. 2nd ed. Verona: National Mastitis Council.
- Saei, H.D., Ahmadi, M., Mardani, K. and Batavani, R.A. 2009. Molecular typing of *Staphylococcus aureus* isolated from bovine mastitis based on polymorphism of the coagulase gene in the north west of Iran. *Journal of Veterinary Microbiology*. 137, 202-206.
- Schukken, Y., Gonzalez, R., Tikofsky, L., Schulte, H., Santisteban, C., Welcome, F., Bennett, G., Zurakowski, M. and Zadoks, R.N. 2009. CNS mastitis: Nothing to worry about? *Veterinary Microbiology*. 134(1-2), 9-14.
- Shome, B.R., Das Mitra, S., Bhuvana, M., Krithiga, N., Velu, D., Shome, R., Isloor, S., Barbuddhe, S.B. and Rahman, H. 2011. Multiplex PCR assay for species identification of bovine mastitis pathogens. *Journal of Applied Microbiology*. 111: 1349-1356.
- Shopsin, B., Gomez, M., Waddington, M., Riehman, M. and Kreiswirth, B.N. 2000. Use coagulase gene (*coa*) repeat region nucleotide sequences for typing of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* strains. *Journal of Clinical Microbiology*. 38(9): 3453-3456.
- Sindhu, N., Sharma, A. and Jain, V.K. 2010. Diagnosis of Staphylococcal mastitis directly from milk of Murrah

buffaloes and cross bred cows by 16s-23s ribosomal RNA intergenic spacer PCR analysis. Israel Journal of Veterinary Medicine. 65(1): 23-26.

Singh, S.Kr., Saleha, A., Hemant, Kr. S., Upendra, C. and Sunil, Kr.V. 2014. *FemA* gene in Indian isolates of methicillin resistant *Staphylococcus aureus*-isolation and amplification through real time PCR. European Journal of Experimental Biology. 4(6): 90-94.

Strommenger, B., Kettlitz, C., Werner, G., and Witte, W. 2003. Multiplex PCR assay for simultaneous detection of nine clinically relevant antibiotic resistance genes in *Staphylococcus aureus*. Journal of Clinical Microbiology. 41(9), 4089-4094.

Tenhagen, B.A., Hansen, I., Reinecke, A., and Heu-Wieser, W. 2009. Prevalence of pathogens in milk samples of dairy cows with clinical mastitis and in heifers at first parturition. Journal of Dairy Research. 76(2), 179-187.

Zakary, E., Marionette, M., Nassif, Z. and Mohammed, G.M.O. 2011. Detection of *Staphylococcus aureus* in bovinemilk and Its product by Real Time PCR Assay. Global Journal of Biotechnology & Biochemistry. 6:171-177.

Zhang, K., Sparling, J., Chow, B.L., Elsayed, S., Hussain, Z., Church, D.L., Gregson, D.B., Louie, T. and Conly, J.M. 2004. New quadriplex PCR assay for detection of methicillin and mupirocin resistance and simultaneous discrimination of *Staphylococcus aureus* from coagulase-negative staphylococci. Clinical Microbiology. 42(11): 4947-4955.