



วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร

สำหรับวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีที่ 38 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2564

E-ISSN 2630-0206

การตอบสนองปุ๋ยแมกนีเซียมของข้าวโพดที่ปลูกในวัสดุปลูก จักรกฤษณ์ พูนภักดี และจำเริญ อ่อนทอง.....	1-14
รูปแบบการใช้น้ำเลี้ยงเซลล์ของ <i>Streptomyces</i> sp. ต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เพาะในสภาวะปนเปื้อนฟลูออรีนและฟิแนมทริน ชนิษฐา สมตระกูล บุชรินทร์ สุปุทอง พัทธิกรณ์ ศรีน้อย รัชฎาพร ไชยสิทธิ์ อภิเดช แสงดี และวราภรณ์ อู๋ฉาย.....	15-27
การประเมินความต้านทานของพันธุ์มันฝรั่งต่อเชื้อรา <i>Phytophthora infestans</i> ในสภาพโรงเรือน ฐิตาภรณ์ เรืองกุล ชารทิพย์ ภาสบุตร อรทัย วงศ์เมธา ฉัตรสุดา เผือกใจแผ้ว และอรอุมา เรืองวงษ์.....	28-38
การขาดฟอสฟอรัสในพืชกับบทบาทของแบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต ชนิษฐา สมตระกูล และวราภรณ์ อู๋ฉาย.....	39-49
การคัดแยกและบทบาทของแบคทีเรียชอบเกลือและแบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาชีวเคมี ในกระบวนการหมักปลา สมเกียรติ ศิลสุทธิ์ สุภาณี ด่านวิริยะกุล อำนาจ ภักดีโต จันทรัตน์ พิชญภณ สันติธรรม โชติประทุม และธัชชา อารยกาญจน์.....	50-61
การพัฒนาปฏิกิริยาภูมิคุ้มกันเพื่อวินิจฉัยการติดเชื้อ <i>Ehrlichia canis</i> , <i>Hepatozoon canis</i> , <i>Babesia canis</i> and <i>Anaplasma platys</i> ในสุนัข เพ็ญนภา คำคำ เรือนแก้ว ประพฤติ แสงทอง พงษ์เจริญกิต และวศิน เจริญดิมนธกุล.....	62-74
ผลของการอนุบาลปูนา (<i>Sayamia bangkokensis</i>) ด้วยการเสริมสาหร่ายอาร์โรสไปรา ต่อการเจริญเติบโตและต้นทุนในการอนุบาล ธนบดี ปิ่นทศิรี จงกล พรมยะ ชนกกันต์ จิตมนัส และสุดาพร ตงศิริ.....	75-85
ต้นทุน-ผลตอบแทนและผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของการผลิตไก่คอลอนศรีวิชัย จิรวรรณ จันทรงค์ และณปภัช ช่วยชูหนู.....	86-99
การเกษตรในเมืองกับ BCG Economic Model ทัพไท หนองสุวรรณ กุหลาบ อุดสุข ฐาภากร ปัญญาใส ฐานิต ศาลติกุลนุการ รัตนาภรณ์ โงมา พงศกร ศุภกิจไพศาล เอกชัย ไยพิมพ์ วิชาวี สุรินทร์เชิง ฌิทธิชวล เจริญเลิศชนกิจ และเทวินทร์ แก้วเมืองมูล.....	100-116
การเพิ่มมูลค่าเนื้อผลกาแฟเป็นสารเชิงหน้าที่ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง นิชชีมา บุญอยู่ ลภัสธาดา มุ่งหมาย เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน ณัฐฉาญ หวังสมนึก และดวงพร อมรเลิศพิศาล.....	117-127
การปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกของเกษตรกรในจังหวัดนครปฐม อรอุมา ทองหล่อ นวลเพ็ญ พ่วงพันธุ์ ปภาวี ไชโย วรณรภา โพธิ์ศรี และสุนันท์ คำมุง.....	128-137
รูปแบบการยอมรับเทคโนโลยีการปลูกข้าวแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก ศิริน มหายศนันท์ ยรรยง เฉลิมแสน และณารักษ์ เวชสิทธิ์นิรันดร์.....	138-151
ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับมาตรฐานการรับรองตามการผลิตทางการเกษตรที่ดีที่เหมาะสม (GAP) ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย พัชรินทร์ สุภาพันธุ์ พัทธิ อินธนู และก้องนเรนทร์ ใจคำปัน.....	152-170
ปัจจัยที่มีผลต่อความคิดเห็นและการปฏิบัติตามสิทธิประโยชน์พระราชบัญญัติการยางแห่งประเทศไทย ของเกษตรกรชาวสวนยางจังหวัดแพร่ ธนศานต์ ธรรมเลิศสถิต นครศรี รัชต์ พหล ศักดิ์คะหัง และกังสดาล กนกหงษ์.....	171-181
ความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงราย รภัศรณ คณจรรุอนันต์ และอารีย์ เชื้อเมืองพาน.....	182-193

AGRI RESEARCH
EXTENSION
STATION

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จำเนียร ยศราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พาวิณ มะโนชัย

บรรณาธิการอำนวยการ รองศาสตราจารย์ ดร. ยงยุทธ ข้ามสี่ รองศาสตราจารย์ ดร. จำเนียร บุญมาก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จีราภรณ์ อินทสาร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรีย์วัลย์ เมฆกมล
บรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง

กองบรรณาธิการ ศาสตราจารย์เฉลิมพล แคมเพชร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. อนุรักษ์ ปัญญาวัฒน์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร. สัญชัย จตุรสิทธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สิทธิกรกุล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ศาสตราจารย์ ดร. ประพนธ์ จันทโรนัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร. อุทัยรัตน์ ณ นคร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร. สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร. วรทัศน์ อินทร์คัมพร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร. วันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร. อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร. ปราโมช ศีตะโกเศศ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ จรรยาสุภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร. นพณัฐ โทปัญญานันท์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์อ้อมทิพย์ เมฆรักษานิช แคมป์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ประวิตร พุทธานนท์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระพงษ์ สว่างปัญญากร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คณะกรรมการดำเนินงาน นางสาววารี ระหงษ์ นางธัญรัตน์ ธวัชมงคลศักดิ์
นางสาวรังสิมา อัมพวัน นางทิพย์สุดา ปุ๊กมณี
นายสมยศ มีสุข นางสาวอัมภา สันทราย
นางจิรนนท์ เสนานาญ นางสาวรัญญา ขยัน

ฝ่ายประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ นายปริญญา เพ็ชรอุตสาห์ นายประสิทธิ์ ใจคำ
นางประไพศรี ทองแจ้ง

จัดทำโดย กองบริหารงานบริการวิชาการ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
โทรศัพท์ 0-5387-3411 โทรสาร 0-5387-3418
E-mail: Mju_journal@jmaejo.mju.ac.th
Web site: www.jare.mju.ac.th

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร เป็นวารสารทางวิชาการของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่งานวิจัยและบทความทางวิชาการด้านการเกษตร เป็นวารสารราย 4 เดือน กำหนดออกปีละ 3 ฉบับ โดยมีการเผยแพร่ออนไลน์ (Journal Online) ในรูปวารสารทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-ISSN 2630-0206) สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตร

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ฉบับ ปีที่ 38 ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน – ธันวาคม 2564 ฉบับสุดท้ายของปี พ.ศ.2564 รอบปีที่ผ่านมาทุกท่านคงประจักษ์ถึงความไม่แน่นอนของสภาวะ เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม การเมือง ที่ผันผวน ปรวนแปร ไม่เฉพาะในประเทศแต่ปรากฏให้เห็นในทุกภูมิภาคทั่วโลก

อย่างไรก็ตามชีวิตยังคงต้องดำเนินต่อไป เราไม่สามารถปรับสิ่งแวดล้อมให้เข้ากับการดำเนินชีวิตแต่จำเป็น อย่างยิ่งที่ต้องปรับชีวิตให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนไปของสภาวะแวดล้อมและต้องช่วยกันดูแล รักษา ปกป้อง สิ่งแวดล้อมนี้ให้อยู่ดีเพื่อให้มนุษย์ อยู่ได้อย่างมีความสุขภายใต้การดูแลปกป้องของสิ่งแวดล้อมเช่นกัน

เนื้อหาสาระของบทความวิจัยในเล่มนี้มีความหลากหลายในองค์ความรู้ที่ท่านนักวิจัย ได้นำเสนอทั้งหมด 15 เรื่อง ล้วนเป็นสิ่งที่น่าสนใจ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ หรือ ปรับประยุกต์ใช้ทั้งด้านการวิจัยต่อยอด หรือ นำไปใช้ในภาคปฏิบัติโดยตรง อาทิเช่น การเกษตรในเมืองกับ BCG Economic Model Urban Agriculture and BCG Economic Model และ การเพิ่มมูลค่าเนื้อผลกาแฟเป็นสารเชิงหน้าที่ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นต้น

ในศุภวารดิถีขึ้นปีใหม่ พุทธศักราช 2565 กระผมและกองบรรณาธิการทุกคนของวารสารวิจัยและส่งเสริม วิชาการเกษตร ขอกราบอาราธนาสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายในสากลโลก จงโปรดอภิบาลรักษา คุ่มครอง ปกป้อง ให้ทุกท่าน ได้ประสบแต่ความสุข ความเจริญ ปราศจากโรคภัยไข้เจ็บ และอุปัทวันตรายทั้งปวงด้วยเถิด

พบกันใหม่ในฉบับหน้าครับ

ด้วยรักและเคารพ



รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง

บรรณาธิการวารสารวิจัยฯ

การตอบสนองปุ๋ยแมกนีเซียมของข้าวโพดที่ปลูกในวัสดุปลูก Magnesium Fertilizer Response of Maize Grown in Growing Media

จักรกฤษณ์ พูนภักดิ์* และจำเป็น อ่อนทอง

Chakkrit Poonpakdee* and Jumpen Onthong

สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

Songkhla, Thailand 90110

*Corresponding author: chakkrit.p@psu.ac.th

Received: August 13, 2020

Revised: January 20, 2021

Accepted: February 23, 2021

Abstract

Magnesium (Mg) is a macronutrient element that is not generally added in plant growing media and results in the concentration of Mg is inadequate for plant growth. This research was conducted to study the Mg fertilizer effect on maize growth grown in the coconut coir dust (low Extr. Mg) used for growing media. Completely Randomized Block Design (CRD) with 4 replicates was used. Four dosages of Mg in the form of kieserite ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) at the rate of 0 (control), 20, 40 and 60 mg Mg kg^{-1} were applied. The results showed that Mg application promoted plant height, stem diameter, leaf number, and chlorophyll content. Magnesium uptake by maize increased with the rates of Mg application and showed K:Mg ratios range between 4.80-7.65. Moreover, the coefficient of determination between Mg application rates and fresh weight, dry weight, and Mg uptake were detected ($r^2=0.90-0.99$). Agronomic efficiency (3.14 g/mg), physiological efficiency (0.83 g/mg) and apparent recovery efficiency (45.80%) values were high in Mg application at the rate of 40 mg/kg. Therefore, growing media low in extractable Mg must be applied Mg fertilizer for promoting of plant growth and high productivity.

Keywords: growing media, magnesium fertilizer, Mg uptake, Mg responsibility, maize

บทคัดย่อ

แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการมากและมักจะไม่มีเพิ่มเติมลงในวัสดุปลูกพืช ทำให้วัสดุปลูกมีแมกนีเซียมไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงได้ศึกษาการตอบสนองปุ๋ยแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ปลูกในวัสดุปลูกที่เป็นขุยมะพร้าวที่มี

แมกนีเซียมต่ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง คือ ควบคุม (ไม่ใส่แมกนีเซียม) และใส่แมกนีเซียมในรูปคีเลอไรต์อัตรา 20, 40 และ 60 มก. แมกนีเซียม/กก. ผลการทดลองพบว่า การใส่แมกนีเซียมส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตทางด้านความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไม่เติม

แมกนีเซียม การใส่แมกนีเซียมในอัตราที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าวโพดมีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มสูงขึ้นและมีสัดส่วนโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมตั้งแต่ 4.80-7.65 นอกจากนั้นพบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของปริมาณแมกนีเซียมที่เติมกับผลผลิตน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณแมกนีเซียมที่ข้าวโพดดูดใช้ ($r^2=0.90-0.99$) ประสิทธิภาพการผลิตพืช (3.48 กรัม/มก.) ประสิทธิภาพทางสรีระ (0.83 กรัม/มก.) และประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ย (45.80%) มีค่าสูงเมื่อใส่แมกนีเซียมในอัตรา 40 มก./กก. ดังนั้น วัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมต่ำควรมีการเติมปุ๋ยแมกนีเซียมเพื่อให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูง

คำสำคัญ: วัสดุปลูก ปุ๋ยแมกนีเซียม การดูดใช้แมกนีเซียม การตอบสนองแมกนีเซียม ข้าวโพด

คำนำ

แมกนีเซียม (Mg) เป็นธาตุอาหารรองที่จำเป็นและสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชโดยทั่วไปมีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 0.1-0.4 ของน้ำหนักแห้ง (Bennett, 1993) แมกนีเซียมเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (Merhaut, 2007) นอกจากนั้นแมกนีเซียมยังเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน รวมถึงช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และถ่ายโอนพลังงาน (Merhaut, 2007) มีรายงานว่าเมื่อเติมแมกนีเซียมซัลเฟตในดินที่มีแมกนีเซียมต่ำส่งผลให้พืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีเพิ่มสูงขึ้น (Abou Seeda *et al.*, 2018) สอดคล้องกับการศึกษาการให้แมกนีเซียมทางใบและทางรากในข้าวโพดและถั่วเหลืองที่พบว่า เมื่อพืชได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้คลอโรฟิลล์เพิ่มสูงขึ้น (Jezek *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2017) หากพืชได้รับแมกนีเซียมไม่เพียงพอ พืชโดยทั่วไปจะแสดงอาการใบล่างมีอาการใบเหลืองแต่เส้นใบยังเขียว (Merhaut, 2007)

ส่วนในข้าวโพดซึ่งนิยมใช้เป็นพืชทดสอบ หากขาดแมกนีเซียมเริ่มแรกใบล่างแสดงอาการเป็นริ้วสีเหลืองถึงขาวบริเวณระหว่างเส้นใบ นอกจากนั้น อาจมีจุดวงกลมที่มีการแห้งตายบริเวณใบร่วมด้วย หากขาดแมกนีเซียมรุนแรงใบล่างจะมีสีม่วงแดง ปลายและขอบใบเหี่ยวเนื่องจากแมกนีเซียมถูกเคลื่อนย้ายไปใช้ยังส่วนเนื้อเยื่อพืชที่เกิดขึ้นใหม่ (Bennett, 1993)

ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปลูกพืชที่นิยมใช้ในปัจจุบันเนื่องจากราคาถูก น้ำหนักเบา ดูดซับน้ำได้ดี หาได้ง่าย และรากพืชสามารถกระจายตัวได้ทั่ว มีรายงานการเปรียบเทียบใช้ขุยมะพร้าวกับพีทมอสเป็นวัสดุปลูกเมล็ดอ่อน พบว่าเมล็ดอ่อนที่ปลูกในขุยมะพร้าวมีการเจริญเติบโต น้ำหนักผล และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่แตกต่างกับที่ปลูกในพีทมอส แต่การใช้ขุยมะพร้าวทำให้อัตราต้นทุนการผลิต ส่งผลให้ได้กำไรหลังหักค่าใช้จ่ายสูงกว่าการใช้พีทมอสซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ (Jitsatta and Watcharawit, 2019) โดยทั่วไปในขุยมะพร้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุปลูกมีธาตุอาหารต่ำ ดังนั้น จึงมักมีการเติมปุ๋ยผสมที่ให้เฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในขณะที่ไม่มีการเติมแมกนีเซียมลงไปเพิ่มเติม ปริมาณแมกนีเซียมในขุยมะพร้าวจึงไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช และส่งผลให้พืชเจริญเติบโตไม่ดี ดังนั้นจึงสนใจศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยแมกนีเซียมของพืชที่ปลูกในวัสดุปลูก

การประเมินผลการตอบสนองของธาตุอาหารในวัสดุที่ใช้ปลูกพืชมีหลายวิธี เช่น การประเมินประสิทธิภาพการผลิตพืช (Agronomic efficiency) ประสิทธิภาพเชิงสรีระ (Physiological efficiency) ประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารจากปุ๋ย (Apparent recovery efficiency) และสัดส่วนมูลค่าต้นทุน (Value cost ratio) (Fageria, 1992; Pervaiz *et al.*, 2004) ทั้งนี้แต่ละวิธีการประเมินมีข้อดีและข้อจำกัดที่ต่างกัน การประเมินประสิทธิภาพต่างๆ ดังที่ได้กล่าวข้างต้นมาพิจารณาควบคู่กับอัตราการใช้ปุ๋ย และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชจึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจ

และประมาณปริมาณการใช้ปุ๋ย เพื่อใช้ปุ๋ยให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในยุคที่ปุ๋ยมีราคาแพง แม้หลายๆ การศึกษาได้รายงานผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการตอบสนองของพืชบ้างแล้ว อย่างไรก็ตาม การทดสอบการตอบสนองของพืชต่อแมกนีเซียมควบคู่กับการประเมินประสิทธิภาพต่างๆ ของการเจริญเติบโตของพืชในวัสดุปลูกยังมีรายงานน้อย ดังนั้น จึงสนใจเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมต่ำ โดยไม่เติมและเติมแมกนีเซียมควบคู่กับการประเมินประสิทธิภาพการผลิตพืช ประสิทธิภาพเชิงสรีระ และประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมวัสดุปลูกและเพาะข้าวโพด

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) แบ่งออกเป็น 4 สิ่งทดลองๆ ละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น โดยมีดำรับการทดลอง คือ ใส่แมกนีเซียมในรูปคีเลอไรต์ ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) ในอัตรา 0, 20, 40 และ 60 มก. แมกนีเซียม/กก. ใช้ข้าวโพด (*Zea mays* Linn.) เป็นพืชทดสอบเพื่อศึกษาการตอบสนองต่อแมกนีเซียม

ต่อการเจริญเติบโตในวัสดุปลูกที่เป็นขุยมะพร้าวที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 2 คืน และล้างน้ำออกเพื่อลดความเค็ม โดยหลังจากล้างด้วยน้ำสะอาด 4 ครั้ง พบว่าขุยมะพร้าวมีพีเอชเท่ากับ 5.20 (ขุยมะพร้าว:น้ำ = 1:10 w/v) ค่าการนำไฟฟ้า 1.02 dS/m (ขุยมะพร้าว:น้ำ = 1:10 w/v) และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (1 M NH_4OAc pH 7.0) 8 มก./กก. หลังจากนั้น นำขุยมะพร้าวมาเติมแมกนีเซียมตามสิ่งทดลองแล้วบรรจุในกระถางขนาดประมาณ 3 ลิตร รดด้วยสารละลายเชื้อจากปุ๋ยไฮโดรโปนิคส์ A และ B ที่ปราศจากแมกนีเซียม (เตรียมจากสารเคมีเกรดวิเคราะห์) ตามที่ได้แสดงใน Table 1 โดยเปิดสารละลายเข้มข้นปุ๋ยไฮโดรโปนิคส์ซึ่งดัดแปลงสูตรจากสารละลาย Hoagland and Arnon (1938) มาอย่างละ 10 มล. ผสมลงในน้ำปริมาตร 1 ลิตร เพื่อใช้เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารและป้องกันปัจจัยการขาดธาตุอาหารอื่นๆ อันจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช รดสารละลายปุ๋ยเชื้อจากปริมาตร 100 มล. ลงในกระถางปลูก หลังจากนั้นทิ้งไว้ 1 คืน ก่อนหยอดเมล็ดข้าวโพด 3 เมล็ด/กระถาง เมื่อข้าวโพดงอกได้ 1 สัปดาห์ ถอนให้เหลือกระถางละ 1 ต้น ดูแลรดน้ำ และให้สารละลายปุ๋ยอาทิตย์ละ 2 ครั้ง ครั้งละ 100 มล. สังเกตการเจริญเติบโตของข้าวโพดจนกระทั่งครบ 50 วัน

Table 1 Composition of fertilizer solution A and B

Fertilizer solution	Substance	Substance content (g L ⁻¹)
A	Calcium nitrate	1.797
	Fe-EDTA (13% Fe ³⁺)	0.04
	Fe-EDDHA (6% Fe ²⁺)	0.04

Table 1 (Continued)

Fertilizer solution	Substance	Substance content (g L ⁻¹)
B	Potassium nitrate	1.012
	Monopotassium phosphate	0.105
	Monoammonium phosphate	0.190
	Manganese sulfate	0.0075
	Copper sulfate	0.00051
	Ammonium molybdate	0.00017
	Zinc sulphate	0.00238
	Boric acid	0.00623

การวัดการเจริญเติบโตของข้าวโพด

วัดการเจริญเติบโตของข้าวโพด ได้แก่ ความสูง โดยวัดจากผิวดินถึงข้อล่างสุดที่มีการแตกใบของข้าวโพด วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (เหนือผิวดิน 5 ซม.) โดยใช้เวอร์เนีย และจำนวนใบโดยการนับใบที่แก่แล้ว

การเก็บเกี่ยว วิเคราะห์คลอโรฟิลล์ และธาตุอาหารในข้าวโพด

เมื่อครบกำหนด 50 วัน ใช้จุกคอร์กเจาะบริเวณกลางความยาวของใบบนสุดของข้าวโพด แล้วนำไปแช่ใน Dimethylformamide (C₃H₇NO) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ตามวิธีการของ Sangsing and Chaipanit (2009) ตัดแยกส่วนเหนือดินและใต้ดิน แบ่งออกเป็น ใบ ลำต้น และราก ทำความสะอาดและกำจัดสิ่งปนเปื้อน ซึ่งน้ำหนักสดส่วนต่างๆ นำตัวอย่างพืชสดไปอบที่อุณหภูมิ 75°C. เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้น ชั่งและบันทึกน้ำหนักแห้งส่วนต่างๆ ของข้าวโพด บดตัวอย่างพืชผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) เพื่อวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl method) และกรดผสมไนตริกเปอร์คลอริก (HNO₃:HClO₄ 3:1 v/v) เพื่อวิเคราะห์ฟอสฟอรัส (Vanadomobedate method) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด (Atomic

absorption spectrophotometer) ตามคู่มือวิเคราะห์ดินและพืช (Onthong and Poonpakdee, 2020)

ประสิทธิภาพการใช้แมกนีเซียม

คำนวณปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวโพดดูดไปใช้ ซึ่งประเมินจากน้ำหนักแห้งและความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวโพด นอกจากนั้นประเมินประสิทธิภาพการผลิตพืช (Agronomic efficiency) ประสิทธิภาพเชิงสรีระ (Physiological efficiency) และร้อยละประสิทธิภาพการดูดธาตุแมกนีเซียมจากปุ๋ย (Apparent recovery efficiency) จากสมการของ Fageria (1992) โดยประสิทธิภาพทั้ง 3 ประเมินได้จาก

ประสิทธิภาพการผลิตพืช (ก./มก.) = ผลต่างน้ำหนักมวลชีวภาพสดข้าวโพดที่ได้ (ใส่ปุ๋ย-ไม่ใส่ปุ๋ย)/อัตราแมกนีเซียมที่ใส่

ประสิทธิภาพเชิงสรีระ (ก./มก.) = ผลต่างน้ำหนักมวลชีวภาพแห้งข้าวโพดที่ได้ (ใส่ปุ๋ย-ไม่ใส่ปุ๋ย)/ผลต่างแมกนีเซียมที่พืชดูดนำไปใช้ (ใส่ปุ๋ย-ไม่ใส่ปุ๋ย)

ประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ย (%) = 100 × ผลต่างแมกนีเซียมที่พืชดูดนำไปใช้ (ใส่ปุ๋ย-ไม่ใส่ปุ๋ย)/อัตราแมกนีเซียมที่ใส่

การวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบสถิติ

หาค่าเฉลี่ยของข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวโพดดูดไปใช้ จากนั้นนำมาหาค่าความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS พร้อมทั้งเปรียบเทียบสัดส่วนของความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งระหว่างใส่แมกนีเซียมอัตราต่างๆ และไม่ใส่แมกนีเซียมเพิ่มเติมในวัสดุปลูก

ผลการวิจัย

ผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

การเติมแมกนีเซียมในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำส่งผลให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตด้านความสูง

เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และจำนวนใบเพิ่มขึ้น (Figure 1) การไม่ใส่แมกนีเซียมส่งผลให้ข้าวโพดมีความสูง 34.90 ซม. ในขณะที่เมื่อข้าวโพดได้รับแมกนีเซียม 20, 40 และ 60 มก./กก. ส่งผลให้ความสูงข้าวโพดเพิ่มขึ้นเป็น 44.05, 56.00 และ 58.88 ซม. ตามลำดับ (Table 2) สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของขนาดลำต้นที่พบว่า เมื่อข้าวโพดได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นเป็น 17.64, 20.89 และ 21.77 มม. นอกจากนั้นจำนวนใบต่อดัน น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มสูงขึ้นเมื่อข้าวโพดได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น (Tables 2 และ 3) ทั้งนี้แนวโน้มดังกล่าวพบในทุกส่วนของข้าวโพดทั้งลำต้น ใบ และราก ข้าวโพดที่ได้รับแมกนีเซียมในอัตรา 40 มก./กก. มีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งในส่วนต่างๆ และน้ำหนักรวมสูงสุด โดยมีน้ำหนักสดในส่วนของลำต้น ใบ และรากเท่ากับ 104.97, 98.28, และ 58.35 กรัม ในขณะที่การไม่ได้รับแมกนีเซียมข้าวโพดมีน้ำหนักสดในส่วนของลำต้น ใบ และราก เพียง 47.66, 53.63 และ 21.15 กรัม ตามลำดับ

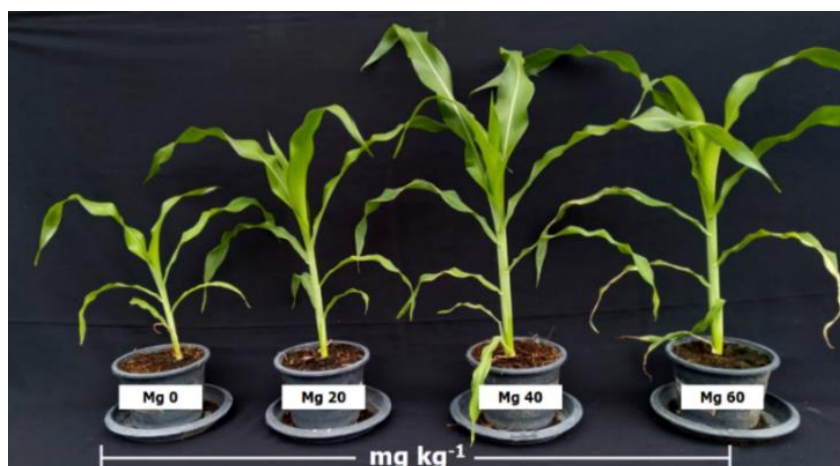


Figure 1 Effect of magnesium application on the maize growth at 50 days after planting

Table 2 Effect of Mg fertilizer application on maize growth at 50 days after planting

Treatment	Parameter		
	Height (cm)	Stem diameter (mm)	Number of leaf (leaf/plant)
Control	34.90 c	16.25 b	10.50
Mg 20 mg kg ⁻¹	44.05 b	17.64 b	10.50
Mg 40 mg kg ⁻¹	56.00 a	20.89 a	11.75
Mg 60 mg kg ⁻¹	58.88 a	21.77 a	11.75
F-test	*	*	NS
C.V. (%)	10.03	7.97	8.79

* = significantly different at $P \leq 0.05$; NS = not significantly different at $P > 0.05$

Different letters in the same column indicate significant differences by DMRT at $P \leq 0.05$.

Table 3 Effect of Mg fertilizer application on fresh and dry weight of maize grown in growing media

Treatment	Fresh weight (g)				Dry weight (g)			
	Stalk	Leaf	Root	Whole plant	Stalk	Leaf	Root	Whole plant
Control	47.66c	53.63c	21.15b	122.43b	3.09b	6.88b	2.20b	12.16b
Mg 20 mg kg ⁻¹	72.11b	74.25bc	26.49b	172.86b	7.27a	12.81a	4.68ab	24.75a
Mg 40 mg kg ⁻¹	104.97a	98.28a	58.35a	261.60a	9.55a	13.20a	4.57ab	27.31a
Mg 60 mg kg ⁻¹	96.09ab	91.49ab	48.75a	236.33a	7.65a	12.64a	5.13a	25.41a
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)	19.49	18.13	25.30	18.83	24.04	19.60	39.94	19.67

* = significantly different at $P \leq 0.05$; Different letters in the same column indicate significant differences by DMRT.

ผลของแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร และปริมาณคลอโรฟิลล์ในข้าวโพด

ข้าวโพดที่ได้รับแมกนีเซียมมีปริมาณแมกนีเซียมที่ดูดนำไปใช้เพิ่มสูงขึ้น (Table 4) โดยพบว่า แมกนีเซียมที่ข้าวโพดดูดนำไปใช้ส่วนใหญ่มีการสะสมบริเวณ ใบ ลำต้น และราก ตามลำดับ โดยปริมาณแมกนีเซียมที่มีการสะสมในบริเวณดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 50-57, 35-42 และ 8-9 ของแมกนีเซียมทั้งหมดที่พืชดูดนำไปใช้ การใส่ปุ๋ย

แมกนีเซียมในอัตราที่แตกต่างกัน (0, 20, 40 และ 60 มก. แมกนีเซียม/กก.) ส่งผลให้ข้าวโพดดูดใช้ปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น โดยมีค่า 14.07, 25.74, 32.36 และ 36.38 มก./ต้น ตามลำดับ (Table 4) นอกจากนั้นพบสัดส่วนของโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมที่ข้าวโพดดูดนำไปใช้เมื่อไม่เติมแมกนีเซียมและเติมใน อัตรา 20 และ 40 มก. แมกนีเซียม/กก. อยู่ที 7.15-7.65 ในขณะที่ข้าวโพดที่ได้รับแมกนีเซียม 60 มก./กก. พบสัดส่วน

ดังกล่าวที่ 4.80 เมื่อประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่า ข้าวโพดมีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแมกนีเซียมสูงขึ้น โดยใบข้าวโพดมีคลอโรฟิลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.16-0.29 กรัม/ตร.ม. (Table 5) เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมที่เติมลงในวัสดุปลูกกับผลผลิตน้ำหนัสด

น้ำหนักแห้ง และปริมาณแมกนีเซียมที่ข้าวโพดดูดใช้ พบว่า พบความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ดังกล่าวค่อนข้างสูง โดยมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; r^2) อยู่ในช่วง 0.90-0.99 (Figure 2)

Table 4 Magnesium uptake (mg tree^{-1}) and K:Mg uptake ratio in maize grown in growing media

Treatment	Mg uptake (mg tree^{-1})				K:Mg ratio in plant
	Root	Stem	Leaf	Whole plant	
Control	1.18b	4.87c	8.02b	14.07b	7.21
20 mg Mg kg^{-1}	2.19ab	9.07bc	14.48a	25.74ab	7.65
40 mg Mg kg^{-1}	2.68ab	13.45ab	16.24a	32.36a	7.15
60 mg Mg kg^{-1}	3.31a	14.31a	18.76a	36.38a	4.80
F-test	*	*	*	*	-
C.V. (%)	53.90	30.38	25.14	66.86	-

* = significantly different at $P \leq 0.05$; Different letters in the same column indicate significant differences by DMRT.

Table 5 Effect of Mg fertilizer application on chlorophyll content

Treatment	Chlorophyll content (g/m^2)		
	Chlorophyll A	Chlorophyll B	Total chlorophyll
Control	0.13b	0.03b	0.16b
Mg 20 mg kg^{-1}	0.21a	0.06a	0.27a
Mg 40 mg kg^{-1}	0.22a	0.06a	0.28a
Mg 60 mg kg^{-1}	0.23a	0.06a	0.29a
F-test	*	*	*
C.V. (%)	14.88	15.62	16.64

* = significantly different at $P \leq 0.05$; Different letters in the same column indicate significant differences by DMRT.

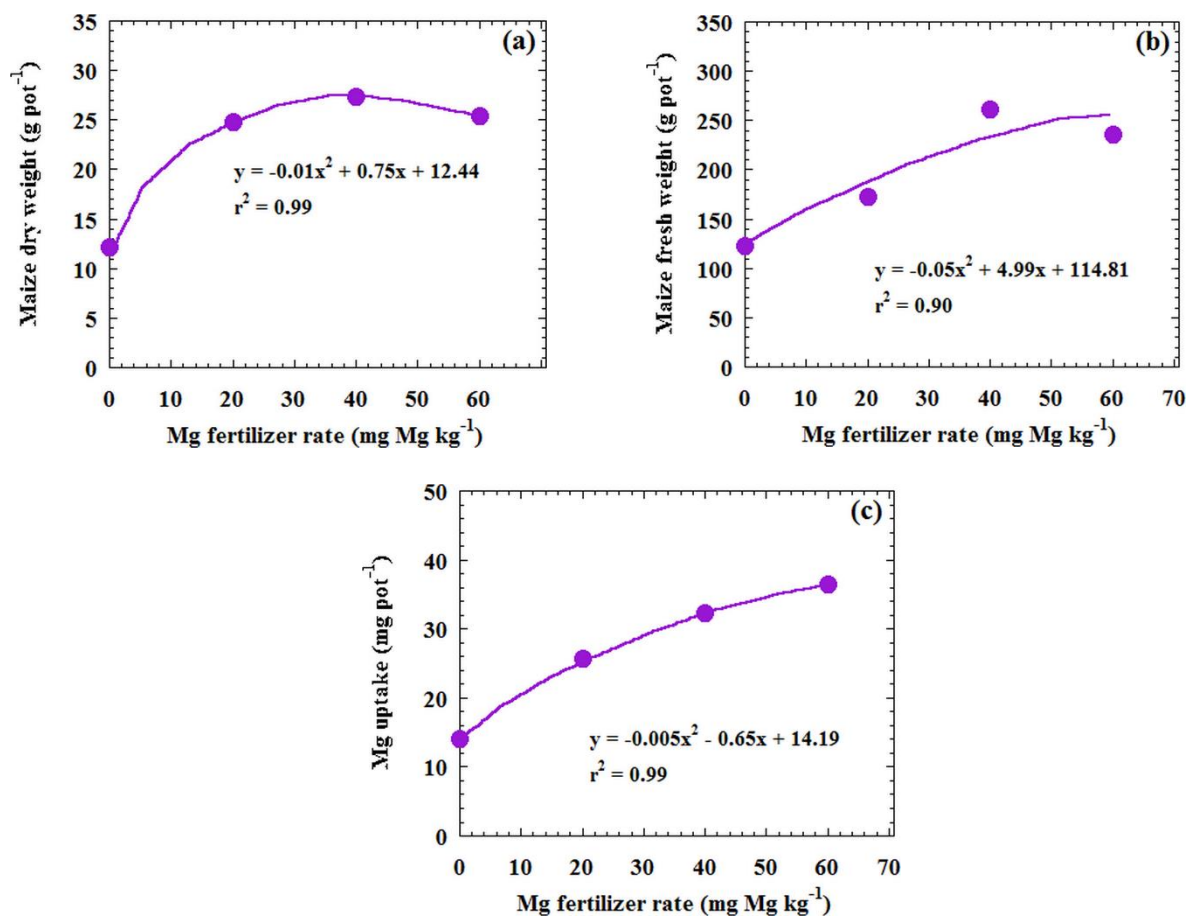


Figure 2 The coefficient of determination (r^2) between maize dry weight (a), maize fresh weight (b) and Mg uptake (c) with Mg fertilizer rate

การประเมินประสิทธิภาพ

การเติมแมกนีเซียม 40 มก./กก. ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตพืชมีค่าสูงสุด โดยมีค่า 3.48 กรัม/กก. ในขณะที่การเติมแมกนีเซียม 20 และ 60 มก./กก. มีค่าประสิทธิภาพการผลิตพืชเพียง 2.52 และ 1.90 กรัม/กก. ตามลำดับ (Table 6) การเติมแมกนีเซียม 40 มก./กก. มีค่าประสิทธิภาพทางสรีระ 0.83 กรัม/กก. ในขณะที่

ที่การเติมแมกนีเซียม 20 และ 60 มก./กก. ให้ค่าประสิทธิภาพทางสรีระ 1.08 และ 0.59 กรัม/กก. ตามลำดับ เมื่อประเมินประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ย พบว่าการเติมแมกนีเซียม 20, 40 และ 60 มก.แมกนีเซียม/กก. มีร้อยละประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียม 58.50, 45.80 และ 37.18 ตามลำดับ (Table 6)

Table 6 The assessment of agronomic efficiency, physiological efficiency, and apparent recovery efficiency in maize grown in applied Mg fertilizer

Treatment	Agronomic efficiency (g/mg)	Physiological efficiency (g/mg)	Apparent recovery efficiency (%)
20 mg Mg kg ⁻¹	2.52	1.08	58.50
40 mg Mg kg ⁻¹	3.48	0.83	45.80
60 mg Mg kg ⁻¹	1.90	0.59	37.18

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

การเติมปุ๋ยแมกนีเซียมในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมต่ำส่งผลให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และจำนวนใบสูงกว่าไม่เติมปุ๋ยแมกนีเซียม (Table 2) การเติมปุ๋ยแมกนีเซียมในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมต่ำส่งผลให้ความสูงข้าวโพดเพิ่มขึ้น 1.26-1.69 เท่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้น 1.09-1.34 เท่า และจำนวนใบเพิ่มขึ้น 1.12 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่เติมปุ๋ยแมกนีเซียม (Table 7) ขุยมะพร้าวที่นำมาใช้เป็นวัสดุปลูกมีแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำ (8 มก./กก.) ไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพด ดังนั้น การเติมปุ๋ยแมกนีเซียมในวัสดุปลูกที่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำจึงส่งเสริมให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโต (Table 2) รวมทั้งน้ำหนักสดและแห้งเพิ่มขึ้น (Table 3) สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า เมื่อพืชได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (Gerendás and Führes, 2013) ทั้งนี้เมื่อข้าวโพดเจริญเติบโตดีขึ้นส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนต่างๆ เพิ่มขึ้น (Table 3) เช่นเดียวกับที่มีรายงานก่อนหน้านี้ว่า ข้าวโพด (Noor *et al.*, 2015) และพืชอื่นๆ เมื่อได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้น (Bueraheng *et al.*, 2018; Pongthai, 2016)

การปลูกพืชให้เจริญเติบโตได้ดีในวัสดุที่ใช้ปลูกจำเป็นต้องมีแมกนีเซียมอยู่ในระดับที่เพียงพอ แม้ในวัสดุปลูกพืชยังไม่มีรายงานถึงระดับของแมกนีเซียมที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ดินซึ่งใช้ปลูกพืชทั่วไปควรมีระดับแมกนีเซียมที่สกัดได้ (1 M NH₄OAc pH 7.0) 122-365 มก./กก. (Department of Land Development, 2005) ดินปลูกยางพาราควรสูงกว่า 36 มก./กก. (Kungpisan, 2011) ดินปลูกปาล์มน้ำมัน 30.40 มก./กก. (Jantaraniyom, 2019) พืชมีความต้องการแมกนีเซียมที่แตกต่างกัน พืชที่นิยมปลูกในวัสดุปลูก เช่น มะเขือเทศ ต้องการแมกนีเซียมร้อยละ 0.30-2.50 (Merhaut, 2007) ข้าวฟ่างต้องการ 0.2-0.8 (Bennett, 1993) แตงกวาหรือแตงโมต้องการ 0.3-0.6 (Bennett, 1993) และในข้าวโพดต้องการแมกนีเซียมร้อยละ 0.13-1.00 โดยน้ำหนักแห้ง (Merhaut, 2007) ดังนั้น ในวัสดุปลูกพืชที่มีแมกนีเซียมต่ำต้องมีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม เช่น คีโซไรต์ (MgSO₄·7H₂O) หรือโดโลไมต์ (CaMg(CO₃)₂) เพื่อเพิ่มระดับแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ อย่างไรก็ตาม การใส่แมกนีเซียมในรูปคีโซไรต์ พบว่ามีประสิทธิภาพส่งผลให้พืชเจริญเติบโตและดูดใช้แมกนีเซียมดีกว่าการใส่ในรูปโดโลไมต์ (Pongthai, 2016) เนื่องจากคีโซไรต์ละลายได้ง่าย และไม่ทำให้วัสดุปลูกมีฟิสิกส์สูงจนลดความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ

Table 7 Ratio of height, stem diameter, leaf number, and whole fresh weight of maize grown in various of Mg application rate/without Mg application

Treatment	Height	Stem diameter	Leaf No.	Whole fresh weight
Control	-	-	-	-
20 mg Mg kg ⁻¹	1.26	1.09	1.00	1.41
40 mg Mg kg ⁻¹	1.60	1.29	1.12	2.14
60 mg Mg kg ⁻¹	1.69	1.34	1.12	1.93

ผลของแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร คลอโรฟิลล์ และสัดส่วนโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมในใบข้าวโพด

ข้าวโพดมีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นตามอัตราแมกนีเซียมที่ใส่ โดยพบว่าแมกนีเซียมที่ข้าวโพดดูดไปใช้เท่ากับ 14.07, 25.74, 32.36 และ 36.38 มก./ต้น เมื่อมีการเติมแมกนีเซียม 0, 20, 40 และ 60 มก./กก. ตามลำดับ (Table 4) พืชดูดใช้แมกนีเซียมโดยกลไก Mass flow ซึ่งเป็นกลไกที่ธาตุอาหารเคลื่อนย้ายเข้าสู่รากพืชไปพร้อมกับการดูดใช้น้ำ และมากกว่าร้อยละ 80 ของแมกนีเซียมถูกพืชดูดใช้โดยกลไกดังกล่าว (Gransee and Führs, 2012) โดยทั่วไปในน้ำหนักรากของข้าวโพดมีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบร้อยละ 0.13-1.00 (Merhaut, 2007) เมื่อพืชดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งเสริมให้พืชดูดใช้น้ำโตรเจน (Senbayram *et al.*, 2015) และฟอสฟอรัส (Grzebisz *et al.*, 2010) เพิ่มขึ้น เมื่อข้าวโพดได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (Table 5) สอดคล้องกับข้าวโพดและถั่วเหลืองที่ได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นแล้วพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มสูงขึ้น (Chen *et al.*, 2017) เช่นเดียวกับที่มีรายงานในส้มที่พบว่า ส้มที่ปลูกในดินที่มีแมกนีเซียมสูงมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสูงกว่าต้นที่ปลูกในดินที่มีแมกนีเซียมต่ำ (Xin *et al.*, 2019) นอกจากนี้ ยังมีรายงานถึงการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์ รวมทั้งปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นของหัวไชเท้าเมื่อได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น (Abou Seeda *et al.*, 2018)

ข้าวโพดที่ไม่ได้รับและได้รับแมกนีเซียม 20 และ 40 มก./กก. พบว่ามีสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมอยู่ในช่วง 7.15-7.65 ในขณะที่ได้รับแมกนีเซียม 60 มก./กก. มีสัดส่วนโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมลดลงเหลือ 4.80 (Table 4) เช่นเดียวกับที่พบว่าเมื่อข้าวโพดได้รับแมกนีเซียมในอัตรา 60 มก./กก. พบว่าข้าวโพดมีน้ำหนักรากและน้ำหนักรากแห้งลดลง (Figure 2) ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าแมกนีเซียมในอัตรา 60 มก./กก. อาจเป็นอัตราที่สูงสำหรับข้าวโพด หากพืชได้รับแมกนีเซียมสูงเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพของผลผลิตได้ นอกจากนั้น ยังส่งผลให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมลดลง (Tandon, 1992) ดังที่พบในพืชหลายชนิด เช่น ส้ม (Xiao *et al.*, 2014; Zheng *et al.*, 2015) ข้าว (Ding *et al.*, 2006) และลองกอง (Praprutdee *et al.*, 2007) เป็นต้น ทั้งนี้สัดส่วนโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมที่เหมาะสมในพืชชนิดต่างๆ มีระดับแตกต่างกัน เช่น ในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอนมีสัดส่วน K:Mg อยู่ที่ 3.87:1 และ 3.25:1 ตามลำดับ (Kongmak *et al.*, 2017) ระดับ K:Mg ที่เหมาะสมในใบข้าวมีค่า 22-25 (Ding *et al.*, 2006) และอ้อยอยู่ที่ 5.38-6.13 (Bennett, 1993) ดังนั้น จึงต้องคำนึงถึงระดับสัดส่วนที่เหมาะสม เพราะหากแมกนีเซียมและโพแทสเซียมในดินไม่สมดุลกัน ทำให้การดูดธาตุอาหารของพืชธาตุใดธาตุหนึ่งลดลง (Tandon, 1992)

ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยแมกนีเซียมของข้าวโพด

การใส่แมกนีเซียมในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตดี การใส่แมกนีเซียมอัตรา 40 มก./กก. มีค่าประสิทธิภาพการผลิตพืชสูงสุด โดยมีค่า 3.48 กรัม/กก. นั่นคือ เมื่อข้าวโพดได้รับปัจจัยอื่นๆ ที่เหมาะสม การใส่แมกนีเซียม 1 มก. ส่งผลให้ข้าวโพดมีมวลชีวภาพน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 3.48 กรัม หรือเมื่อข้าวโพดดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น 1 มก. ส่งผลให้มวลชีวภาพน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 0.83 กรัม (Table 6) แม้การเติมแมกนีเซียมในอัตรา 20 และ 60 มก./กก. ส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าการไม่เติมแมกนีเซียม อย่างไรก็ตาม พบว่าการเติมแมกนีเซียม 1 มก. ส่งผลให้ข้าวโพดมีมวลชีวภาพน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเพียง 2.52 และ 1.90 กรัม ตามลำดับ หรือเมื่อข้าวโพดดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น 1 มก. ส่งผลให้มวลชีวภาพน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 1.08 และ 0.59 กรัม ตามลำดับ ประสิทธิภาพการผลิตพืชเป็นการคำนวณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มธาตุอาหาร 1 หน่วย ดังนั้น จึงอาจเรียกว่าประสิทธิภาพผลผลิต และประสิทธิภาพเชิงสรีระจะมีค่าสูงเมื่อใช้ปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสม ดังนั้น พืชที่ขาดแคลนธาตุอาหารสามารถเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหารจนทำให้พืชมีการเจริญเติบโตร้อยละ 90 ของการเจริญเติบโตสูงสุดได้ ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพเชิงสรีระจะมีค่าต่ำหากใช้ปุ๋ยอัตราสูงจนพืชสะสมธาตุอาหารในพืชเพียงพอ บริโภคปุ๋ยเพื่อ หรือมากจนเป็นพิษ ส่วนประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ยเป็นการประเมินร้อยละของธาตุอาหารที่พืชดูดได้จากปุ๋ย (Osotsapar *et al.*, 2008) ผลการทดลองมีข้อสังเกตว่า ประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ยจะมีค่าสูงเมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตราต่ำ แต่เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยสูงขึ้น ประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ยมีค่าลดลง (Table 6) สอดคล้องกับคำแนะนำการใช้ปุ๋ยที่ให้ใส่ปุ๋ยในปริมาณน้อยๆ แต่แบ่งใส่หลายๆ ครั้ง มีรายงานการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้ปุ๋ยกับไม้ยืนต้น (Boonmanee *et al.*, 2013) เช่นเดียวกับการ

ประเมินประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารในข้าวโพด (Samrit *et al.*, 2016) ข้าวสาลี (Pervaiz *et al.*, 2004; Xin *et al.*, 2017) ข้าวสาลีและถั่ว (Sandaña and Pinochet, 2014) ที่พบว่าสามารถนำประสิทธิภาพดังกล่าวมาใช่วางแผนในการจัดการผลผลิตได้เป็นอย่างดี ดังนั้น การประยุกต์ใช้การประเมินประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยจึงเป็นดัชนีที่ช่วยการตัดสินใจวางแผนในการจัดการปุ๋ย โดยเฉพาะในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำ เพื่อจัดการธาตุอาหารรวมทั้งการใช้ปุ๋ยในสภาวะที่ปุ๋ยมีราคาแพงเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ลดต้นทุนการผลิต และได้รับผลตอบแทนสูงสุด

สรุปผลการวิจัย

การเติมแมกนีเซียมลงในวัสดุปลูกที่เป็นขุยมะพร้าวที่มีแมกนีเซียมต่ำ พบว่าข้าวโพดมีความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักสดและแห้ง รวมทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ และปริมาณแมกนีเซียมที่ดูดใช้เพิ่มสูงขึ้น พบสัมพันธ์การตัดสินใจระหว่างอัตราแมกนีเซียมที่เติมลงในวัสดุปลูกกับผลผลิตน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณแมกนีเซียมที่ข้าวโพดดูดใช้ มีค่าค่อนข้างสูง ($r^2=0.90-0.99$) การเติมแมกนีเซียมในอัตรา 40 มก. แมกนีเซียม/กก. พบว่าข้าวโพดมีประสิทธิภาพการผลิตพืช (3.48 ก./กก.) ประสิทธิภาพเชิงสรีระ (0.83 ก./กก.) และประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ย (45.80%) สูง ดังนั้นในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมต่ำควรมีการเติมแมกนีเซียมเพื่อส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนสถานที่เครื่องมือ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Abou Seeda, M.A., M. Abdallah, M.S. Abou ELNour and A.A. Yassen. 2018. Optimization of magnesium fertilizer for radish plant to obtain best yield, in terms of its both quality and quantity, and nutrient uptake. **Bioscience Research** 15(4): 3872-3880.
- Bennett, W.F. 1993. **Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop Plant**. Minnesota: APS Press. 202 p.
- Boonmanee, B., J. Onthong and K. Khawmee. 2013. Comparison of fertilizer application based on soil testing and 20-8-20 mixed fertilizer in immature rubber trees. **King Mongkut's Agricultural Journal** 31(1): 53-62.
- Bueraheng, H., J. Onthong and K. Khawmee. 2018. Effect of magnesium on manganese uptake and growth of rubber trees. **Journal of Agri. Research & Extension** 35(1): 12-22.
- Chen, J., Y. Li, S. Wen, A. Rosanoff, G. Yang and X. Sun. 2017. Magnesium Fertilizer-induced increase of symbiotic microorganisms improves forage growth and quality. **J. Agric. Food Chem** 65(16): 3253-3258.
- Department of Land Development. 2005. **Handbook for Analyzing Soil Samples, Water, Fertilizer, Soil Improvement Materials Book 1**. Bangkok: Office of Science for Land Development. 184 p. [in Thai]
- Ding, Y., W. Luo and G. Xu. 2006. Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. **Annals of Applied Biology** 149(2): 111-123.
- Fageria, N.K. 1992. **Maximizing Crop Yields**. New York: Marcel Dekker Inc. 274 p.
- Gerendás, J. and H. Führs. 2013. The significance of magnesium for crop quality. **Plant Soil** 368(1-2): 101-128.
- Gransee, A. and H. Führs. 2012. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. **Plant and Soil** 368(1-2): 5-21.
- Grzebisz, W., K. Przygocka-Cyna, W. Szczepaniak, J.B. Diatta and J. Potarzycki. 2010. Magnesium as a nutritional tool of nitrogen efficient management-plant production and environment. **J. Elementology** 15(4): 771-788.
- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1938. **The Water-culture Method for Growing Plants without Soil**. Circ. 347 Berkeley: University of California Agricultural Experiment Station. 40 p.
- Jantaraniyom, T. 2019. **Agriculturist Guide: Palm Oil Production Efficiently**. Songkhla: Oil Palm Research and Development Center, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University. 124 p. [in Thai]

- Jezek, M., C.M. Geilfus, A. Bayer and K.H. Mühling. 2015. Photosynthesis capacity, nutrient status and growth of maize (*Zea mays* L.) upon MgSO₄ leaf-application. **Frontiers in Plant Science** 5(1): 1-10.
- Jitsatta, N. and R. Watcharawit. 2019. Effect of substrates on growth and yield of muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Rajabhat Rambhai Barni Research Journal** 13(2): 17-24.
- Kongmak, P., K. Khawmee and J. Onthong. 2017. Status and K/Mg ratio in soil and leaves of rubber trees grown in lowland and upland areas. **Songklanakarin Journal of Plant Science** 4(4): 66-72. [in Thai]
- Kungpisdan, N. 2011. **Recommend of Rubber Fertilizer Application in A.D. 2011**. Bangkok: Rubber Research Institute Department of Agriculture. 41 p. [in Thai]
- Merhaut, D.J. 2007. Magnesium. pp. 145-172. In Barker, A.V. and D.J. Pillblameds (eds.). **Handbook of Plant Nutrition**. New York: CRC Press Taylor and Francis Group.
- Noor, S., S. Akhter, M. Islamc, N.C. Shilb and A. Kawochar. 2015. Effect of magnesium on crop yields within Maize-green manure-*T. amman* rice cropping pattern on acid soil. **Archives of Agronomy and Soil Science** 61(10): 1381-1392.
- Onthong, J. and C. Poonpakdee. 2020. **Guideline for Soil and Plant Analysis**. Songkhla: Faculty of Natural resources, Prince of Songkla University. 181 p. [in Thai]
- Osotsapar, Y., A. Wongmaneeroj and C. Hongproyoon. 2008. **Fertilization for Sustainable Agriculture**. Bangkok: Kasetsart University Press. 519 p. [in Thai]
- Pervaiz, Z., K. Hussain, S.S.H. Kazmi and K.H. Gill. 2004. Agronomic efficiency of different N:P ratios in rain fed wheat. **International Journal of Agriculture & Biology** 3(6): 455-457.
- Pongthai, T. 2016. **Effects of Dolomite and Kieserite on Growth of Rubber Tree Sapling**. Master Thesis. Prince of Songkla University. 80 p. [in Thai]
- Praprutdee, O., J. Onthong and C. Nilnold. 2007. Using potash fertilizer to improve fruit development and fruit quality of longkong (*Aglaia dookkoo* Griff.). **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 29(4): 1003-1016. [in Thai]
- Samrit, B., R. Suebkam, C. Kueanoon, S. Klongchang, N. Prakongkep and N. Phosuk. 2016. A Study on suitable irrigation and fertilizer application for sweet corn production in clay soil: Thap Khwang soil series. **Songklanakarin Journal of Plant Science** 3(1): 18-29.

- Sandaña, P. and D. Pinochet. 2014. Grain yield and phosphorus use efficiency of wheat and pea in a high yielding environment. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 14(4): 973-986.
- Sangsing, K., and P. Chaipanit. 2009. Chemical properties and chlorophyll content on growing of immature rubber tree in new rubber tree plantation area. **Para Rubber Bulletin** 30: 35-60. [in Thai]
- Senbayram, M., A. Gransee, V. Wahle and H. Thiel. 2015. Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. **Crop & Pasture Science** 66(12): 1219-1229.
- Tandon, H.L.S. 1992. **Management of Nutrient Interactions in Agriculture**. New Delhi: Fertilizer Development and Consultation Organization. 142 p.
- Xiao, J.X., C.Y. Hu, T.Y. Chen, B. Yang and J. Hua. 2014. Effects of low magnesium and an arbuscular mycorrhizal fungus on the growth, magnesium distribution and photosynthesis of two citrus cultivars. **Scientia Horticulturae** 177(2): 14-20.
- Xin, X., S.Q.J. Zhang, A. Zhu, W. Yang and X. Zhang. 2017. Yield, phosphorus use efficiency and balance response to substituting long term chemical fertilizer use with organic manure in a wheat-maize system. **Field Crops Research** 208(1): 27-33.
- Xin, Y., C. Xu-Feng, D. Chong-Ling, Y. Lin-Tong, L. Ning-Wei, G. Jiu-Xin and C. Li-Song. 2019. Magnesium-deficiency effects on pigments, photosynthesis and photosynthetic electron transport of leaves, and nutrients of leaf blades and veins in *Citrus sinensis* seedlings. **Plants** 8(10): 1-20.
- Zheng, C.S., X. Lan, Q.L. Tan, Y. Zhang, H.P. Gui and C.X. Hu. 2015. Soil application of calcium and magnesium fertilizer influences the fruit pulp mastication characteristics of Nanfeng tangerine (*Citrus reticulata* Blanco cv. Kinokuni). **Scientia Horticulturae** 191(6): 121-126.

รูปแบบการใช้น้ำเลี้ยงเซลล์ของ *Streptomyces* sp. ต่อการเจริญในระยะต้นกล้า
ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เพาะในสภาวะปนเปื้อนฟลูออรีนและฟิแนนทรีน
Pattern of *Streptomyces* sp. Culture Filtrate Application on Seedling Growth
of Rice cv. RD6 Cultivated under Fluorene or Phenanthrene Contamination

ชนิษฐา สมตระกูล^{1*} บุษรินทร์ สบู่ทอง¹ พัชรินทร์ ศรีน้อย¹ รัชฎาพร ไชยสิทธิ์¹
อภิเดช แสงดี¹ และวราภรณ์ ฉุยฉาย²

Khanitta Somtrakoon^{1*}, Bussarin Sabutong¹, Patchariporn Srinoi¹
Rachadaporn Chaiyasit¹, Apidech Sangdee¹ and Waraporn Chouychai²

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กันทรวิชัย มหาสารคาม 44150

²สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

¹Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai, Mahasarakham, Thailand 44150

²Biology Program, Faculty of Science and Technology, Nakhonsawan Rajabhat University, Nakhonsawan, Thailand 60000

*Corresponding author: khanitta.s@msu.ac.th

Received: April 27, 2020

Revised: June 06, 2021

Accepted: September 16, 2021

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were toxic to living organisms including microorganism. Using plant growth promoting microorganisms in soil contaminated with PAHs may decrease microorganism's activity. Thus, this study investigated the effect of some PAHs including fluorene and phenanthrene on indole-3-acetic acid production and phosphate solubilization of *Streptomyces* sp. isolate STRM104 and STRM302. The results revealed that phenanthrene decreased phosphate solubilization activity of isolate STRM302. However, decreasing in phosphate solubilization of isolate STRM104 may be caused by dimethylformamide. Phenanthrene and fluorene did not decrease IAA production activity of both isolates. Then, culture filtrate of *Streptomyces* sp. isolate STRM104 and STRM302 were tested for stimulating effects on germination and growth of sticky rice cv. RD6 on 20 mg/l fluorene or phenanthrene contaminated paper. The sticky rice cv. RD6 seeds received culture filtrate via 2 different methods, which seed immersion before germination and direct germination on culture filtrate-soaked paper. The result showed that sticky rice cv. RD6 seedlings derived from seeds immersed in culture filtrate before

germination grew better than those germinated from seeds grown on culture filtrate-soaked paper. Shoot length, shoot weight and root length of sticky rice cv. RD6 seedlings derived from seeds immersed in culture filtrate before germination were higher than those derived from seeds grown on culture filtrate-soaked paper.

Keywords: indole-3-acetic acid, phosphate solubilization, plant growth promoting bacteria, polycyclic aromatic hydrocarbons, sticky rice cv. RD6

บทคัดย่อ

พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (พีเอเอช) เป็นพืชต่อสิ่งมีชีวิตรวมทั้งจุลินทรีย์ การใช้จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอชอาจลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ลงได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงตรวจสอบผลของพีเอเอชบางชนิด ได้แก่ ฟลูออรีนและฟิแนนทรีนต่อการผลิตกรดอินโดล-3-อะซิติก และการละลายฟอสเฟตของ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต STRM104 และ STRM302 ผลการทดลองพบว่าฟิแนนทรีนลดความสามารถในการละลายฟอสเฟตของไอโซเลต STRM302 ส่วนการละลายฟอสเฟตที่ลดลงของไอโซเลต STRM104 คาดว่ามาจากผลของไดเมทิลฟอรัมาไมด์ ฟิแนนทรีนและฟลูออรีนไม่ลดการผลิตกรดอินโดล-3-อะซิติกของแบคทีเรียทั้ง 2 ไอโซเลต จากนั้นนำน้ำเลี้ยงเซลล์ของ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต STRM104 และ STRM302 มาทดสอบกระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เพาะในกระดาดที่ถูกทำให้ปนเปื้อนฟลูออรีนหรือฟิแนนทรีนความเข้มข้น 20 mg/L โดยเมล็ดที่แช่ในน้ำเลี้ยงเซลล์ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ได้รับน้ำเลี้ยงเซลล์ 2 รูปแบบ ได้แก่ การแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำเลี้ยงเซลล์ก่อนเพาะให้งอก หรือเพาะเมล็ดพันธุ์ให้งอกในกระดาดที่ชุ่มด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์ ผลการทดลองพบว่าต้นกล้าข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่แช่เมล็ดในน้ำเลี้ยงเซลล์ก่อนเพาะให้งอกเจริญเติบโตได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการเพาะเมล็ดในกระดาดที่ชุ่มด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์ ความยาวยอด น้ำหนักราก และความยาวรากของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่แช่

เมล็ดในน้ำเลี้ยงเซลล์ก่อนเพาะให้งอกมีค่ามากกว่าต้นกล้าที่ได้จากการเพาะเมล็ดในกระดาดที่ชุ่มด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์

คำสำคัญ: กรดอินโดล-3-อะซิติก การละลายฟอสเฟต แบคทีเรียกลุ่มสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืช พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

คำนำ

พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนหรือพีเอเอชเป็นกลุ่มของสารมลพิษอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปมาเชื่อมต่อกัน พีเอเอชเป็นสารที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำทำให้มีความคงทนในสิ่งแวดล้อม โดยความเป็นพิษของพีเอเอชมักทำให้เกิดความผิดปกติของตัวอ่อนในครรภ์มารดา เป็นสารก่อการกลายและมีโอกาสก่อให้เกิดมะเร็งได้ (Patel *et al.*, 2020) พีเอเอชมีแหล่งกำเนิดจากทั้งการใช้สารเคมีในอุตสาหกรรม การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ การเผาไหม้เชื้อเพลิงเครื่องยนต์ และอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานจากถ่านหิน เป็นต้น (Liu *et al.*, 2017) การปลดปล่อยพีเอเอชจากแหล่งกำเนิดต่างๆ เป็นสาเหตุให้เกิดการปนเปื้อนของพีเอเอชในดินที่มีการทำเกษตรกรรมที่ตั้งอยู่โดยรอบ นอกจากพีเอเอชจากเมืองใหญ่และกิจการทางอุตสาหกรรมแล้ว กิจกรรมทางการเกษตร เช่น การเผาตอซังข้าว และการเผาอ้อยในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวเป็นสาเหตุให้

ฟิเอเอชปนเปื้อนสู่ดินที่มีการทำเกษตรกรรมได้โดยตรง (Pongpiachan *et al.*, 2017) การปนเปื้อนของฟิเอเอชในสิ่งแวดล้อมพบรายงานทั่วโลก เช่น ดินชั้นบนในพื้นที่เกษตรกรรมซึ่งตั้งอยู่โดยรอบเมืองฉางจี (Changzhi) ซึ่งเป็นเมืองอุตสาหกรรมในประเทศจีนตรวจพบฟิเอเอชทั้ง 16 ชนิด ตามรายการของ US.EPA. ปนเปื้อนในดินเฉลี่ย 917 µg/kg (Liu *et al.*, 2017) ดินชั้นบนในพื้นที่เกษตรกรรมซึ่งตั้งอยู่ใกล้กับแม่น้ำ Shiwuli ซึ่งเป็นแม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเลสาบฉาหวู (Chaohu) มณฑลอันฮุย (Anhui) ประเทศจีน พบการปนเปื้อนของฟิเอเอชเฉลี่ยอยู่ที่ 103.7 µg/kg (Wu *et al.*, 2019) สำหรับการปนเปื้อนของฟิเอเอชในดินของประเทศไทยพบรายงานน้อยกว่าต่างประเทศ ตัวอย่างรายงานการปนเปื้อนฟิเอเอชในประเทศไทย เช่น ดินชั้นบนบริเวณริมถนนในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ตรวจพบฟิเอเอชที่มีวงแหวนอะโรมาติก 4-7 วง ในปริมาณ 205-2,196 µg/kg (Amagai *et al.*, 1999) และดินบริเวณเขาหลัก จังหวัดพังงา ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากสึนามิในปี พ.ศ. 2547 ตรวจพบผลรวมของฟิเอเอช 12 ชนิด ในปริมาณ 132.31 µg/kg (Pongpiachan *et al.*, 2013)

ถึงแม้การปนเปื้อนของฟิเอเอชจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่อระบบเศรษฐกิจที่คิดเป็นมูลค่าได้อย่างชัดเจน แต่การปนเปื้อนของฟิเอเอชในสิ่งแวดล้อมรวมถึงดินที่มีการทำเกษตรกรรม สามารถเกิดการสะสมของฟิเอเอชในพืชหรือสัตว์ สามารถถ่ายทอดฟิเอเอชเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร และก่อให้เกิดอันตรายในระยะยาวต่อมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคได้ (Zelinkova and Wenzl, 2015) นอกจากนี้ปัญหาคาการปนเปื้อนของฟิเอเอชในดินที่มีการทำเกษตรกรรมประกอบกับการทำเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน ซึ่งนิยมใช้จุลินทรีย์เป็นสารควบคุมชีวภาพและปุ๋ยชีวภาพมากขึ้น (Vejan *et al.*, 2016) การปนเปื้อนสามารถพิษในพื้นที่เกษตรกรรมอาจทำให้ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์กลุ่มส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชลดลงได้ เนื่องจากฟิเอเอชมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์เช่นกัน (Patel *et al.*, 2020) ดังนั้น

การศึกษานี้จึงทดสอบผลของฟิเอเอช ได้แก่ ฟลูออรีนและฟิแนนทรินต่อการผลิต IAA ที่เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มออกซิน และการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต STRM104 และ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต STRM302 ซึ่งจากข้อมูลของลำดับเบสบน 16S rDNA พบว่าแบคทีเรียทั้งสองมีความคล้ายคลึงกับ *Streptomyces misionensis* JN869290 ร้อยละ 93.92 และ *Streptomyces morookaense* NR 112529 ร้อยละ 95.07 ตามลำดับ รวมทั้งยังศึกษาวิธีการได้รับน้ำเลี้ยงเซลล์แบคทีเรียต่อการเจริญเติบโตของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เพาะในสภาวะที่ปนเปื้อนด้วยฟลูออรีนหรือฟิแนนทรินซึ่งเลือกใช้เป็นแม่แบบในการศึกษานี้ เนื่องจากเป็นฟิเอเอชที่พบปนเปื้อนร่วมกับฟิเอเอชชนิดอื่นๆ ในบริเวณที่ปนเปื้อนและอยู่ในรายการของ US.EPA. ที่ต้องเร่งกำจัดออกจากสิ่งแวดล้อม (Liu *et al.*, 2017) และเลือกใช้ข้าวเป็นพืชต้นแบบเนื่องจากเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยและเป็นกลุ่มของธัญพืชที่เป็นอาหารหลักของคนทั่วโลก (Khunkhet and Remsungnen, 2018) นอกจากนี้ยังมีรายงานการปนเปื้อนของฟิเอเอชของดินในนาข้าวด้วย (Kim *et al.*, 2019) โดยสารในกลุ่มฟิเอเอชมีรายงานว่ามีความเป็นพิษต่อข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ด้วย เช่น ฟิแนนทรินที่ระดับความเข้มข้น 20 mg/kg ส่งผลให้ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ลดลง (Somtrakoon *et al.*, 2011) การปนเปื้อนร่วมกันระหว่างฟลูออรีนและฟลูออแรนที่ระดับความเข้มข้น 2 mg/kg ทำให้ความยาวรากของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ลดลง (Somtrakoon *et al.*, 2012) สำหรับประโยชน์ที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเตรียมหัวเชื้อขึ้นใช้ในการเกษตรที่เหมาะสมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

เตรียมหัวเชื้อแบคทีเรีย

แบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต STRM104 และ STRM302 คัดแยกได้จากดินรอบรากมะเขือเทศ

ในจังหวัดมหาสารคาม การเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรียที่ทำโดยเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. บนจานอาหาร Potato Dextrose Agar ที่ลดความเข้มข้นของสารอาหารลงครึ่งหนึ่ง (1/2PDA) เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 37°ซ. จากนั้นถ่ายเชื้อลงในอาหาร Potato Dextrose Broth ที่ลดความเข้มข้นของสารอาหารลงครึ่งหนึ่ง (1/2PDB) แล้วบ่มในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิ 37°ซ. เป็นเวลา 7 วัน แล้วจึงเก็บเกี่ยวเซลล์มาใช้เป็นหัวเชื้อเริ่มต้นสำหรับทดสอบความสามารถในการผลิต IAA และการละลายฟอสเฟต

ความสามารถในการผลิต IAA

ถ่ายหัวเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต STRM104 หรือ STRM302 ซึ่งมีปริมาณเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 2.40×10^4 และ 2.33×10^4 cfu/ml ตามลำดับ ลงสู่อาหาร 1/2 PDB ซึ่งผสมทริปโตเฟนที่ระดับความเข้มข้น 0.2 g/l เติมฟลูออรีนหรือฟิแนนทรีนลงในอาหารทดสอบให้มีความเข้มข้นเป็น 15 และ 20 mg/l แล้วบ่มเชื้อในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิ 37°ซ. เป็นเวลา 10 วัน จากนั้นเก็บเกี่ยวเซลล์ทิ้งไปแล้วดูดส่วนน้ำใสปริมาณ 2 ml มาวิเคราะห์ปริมาณ IAA ตามวิธีการของ Ahmad *et al.* (2008) โดยหยดกรดออกโทฟอสฟอริกลงไป 2 หยด และน้ำยา Salkowski ปริมาตร 4 ml ผสมส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 530 nm วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบระหว่างชนิดและความเข้มข้น 4 ระดับ และชุดควบคุม 2 ระดับ คือชุดควบคุมที่ 1 เพาะเลี้ยงแบคทีเรียในอาหารทดสอบที่ผสมไดเมทิลฟอร์มาไมด์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ใช้ละลายฟิเอเอช และการทดลองในชุดควบคุมชุดที่ 2 เพาะเลี้ยงแบคทีเรียในอาหาร 1/2PDB เท่านั้น

ความสามารถในการละลายฟอสเฟต

การทดสอบผลของฟลูออรีนและฟิแนนทรีนต่อความสามารถในการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรียที่ทำโดย

เตรียมหัวเชื้อแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. ไอโซเลต STRM104 หรือ STRM302 ซึ่งมีปริมาณเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 1.73×10^5 และ 2.46×10^5 cfu/ml ตามลำดับ และใช้ปริมาณหัวเชื้อ 5 μ l หยดลงบนผิวหน้าอาหาร Pikovskaya's agar ซึ่งผสมฟลูออรีนหรือฟิแนนทรีนที่ระดับความเข้มข้น 15 และ 20 mg/l บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37°ซ. เป็นเวลา 20 วัน การทดลองชุดควบคุมชุดที่ 1 ทำโดยเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในอาหาร Pikovskaya's agar ที่ผสมไดเมทิลฟอร์มาไมด์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ใช้ละลายฟิเอเอช และการทดลองในชุดควบคุมชุดที่ 2 ทำโดยเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในอาหาร Pikovskaya's agar เท่านั้น วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD 2 ปัจจัย 6x2 ปัจจัยแรก คือ ชนิดและความเข้มข้นของฟิเอเอช มี 6 ระดับ (ฟลูออรีน 15 mg/l ฟลูออรีน 20 mg/l ฟิแนนทรีน 15 mg/l ฟิแนนทรีน 20 mg/l ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ใช้ละลายฟิเอเอช และ Pikovskaya's agar ที่ไม่ผสมฟิเอเอช) ปัจจัยที่ 2 คือ ระยะเวลา 2 ระยะ คือ 10 และ 20 วัน เปรียบเทียบประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตบนอาหารแข็งด้วยค่า Solubilization Index (SI) โดยวัดรัศมีของบริเวณใส (Clear zone) และรัศมีของโคโลนีเพื่อใช้คำนวณค่า SI ตามวิธีการของ Collavino *et al.* (2010) ดังสูตรต่อไปนี้

$$SI = \frac{(\text{colony diameter} + \text{halozone diameter})}{\text{colony diameter}}$$

ผลของน้ำเลี้ยงเซลล์ต่อการเจริญในระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เพาะในสภาวะปนเปื้อนฟิเอเอช

การเตรียมน้ำเลี้ยงเซลล์ใช้ปริมาณเซลล์เริ่มต้นของ *Streptomyces* sp. STRM104 เท่ากับ 1.73×10^5 cfu/ml และเซลล์เริ่มต้นของ *Streptomyces* sp. STRM302 เท่ากับ 2.46×10^5 cfu/ml การเตรียมน้ำเลี้ยงเซลล์แบคทีเรียทำโดยถ่ายหัวเชื้อแบคทีเรียลงสู่อาหาร

1/2PDB ซึ่งผสมทริปโตเฟนความเข้มข้น 0.2 g/l บ่มเชื้อในสภาวะนิ่งที่อุณหภูมิ 37°C. เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นเก็บเกี่ยวเซลล์โดยนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ความเร็ว 6,000 rpm อุณหภูมิ 4°C. เวลา 10 นาที แล้วดูดส่วนน้ำใสด้านบนมากรองผ่านหัวกรองที่ปราศจากเชื้อซึ่งมีขนาดของรูกรอง 0.45 ไมครอน บรรจุน้ำเลี้ยงเซลล์ในภาชนะที่ปราศจากเชื้อเก็บไว้ใช้งาน และวิเคราะห์ปริมาณ IAA เริ่มต้นในน้ำเลี้ยงเซลล์ โดยปริมาณ IAA ในน้ำเลี้ยงเซลล์ของ *Streptomyces* sp. STRM104 และ *Streptomyces* sp. STRM302 เท่ากับ 3.10 และ 2.34 µg/ml ตามลำดับ

การเตรียมเมล็ดพันธุ์โดยทำความสะอาดพื้นผิวเมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ด้วยการแช่เมล็ดในสารละลายไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 จำนวน 2 ครั้ง เป็นเวลา 5 นาที ในระหว่างการแช่เมล็ดพันธุ์ให้เขย่าเป็นครั้งคราว จากนั้นย้ายเมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ลงในน้ำกลั่นที่ปราศจากเชื้อ 3 ครั้ง แต่ละครั้งให้เขย่า 1 นาที

การเตรียมกระดาดเพาะที่ปนเปื้อนฟลูออรีนหรือฟิแนนทริน ทำโดยซังฟลูออรีนหรือฟิแนนทริน จากนั้นนำมาละลายในอะซิโตนให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 20 mg/l แล้วจึงปิเปตสารละลายฟิเอเอชแต่ละชนิดปริมาตร 20 ml ลงในกระดาดเพาะที่ปราศจากเชื้อ ผึ่งกระดาดเพาะให้ตัวทำละลายระเหยไปในตู้ควั่นซึ่งใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง การทดลองในชุดควบคุมเตรียมกระดาดเพาะเช่นเดียวกันกับในชุดทดลอง แต่เติมอะซิโตนซึ่งเป็นตัวทำละลายลงไปเพียงอย่างเดียวในปริมาตรที่เท่ากันและทิ้งไว้ในสภาพแวดล้อมเดียวกันเพื่อให้อะซิโตนระเหยไป

การทดสอบผลของน้ำเลี้ยงเซลล์ของแบคทีเรียซึ่งเตรียมตามวิธีการข้างต้น ต่อการเจริญเติบโตของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ในระยะต้นกล้า วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD 2 ปัจจัย 3x2 ปัจจัยแรก คือ ชนิดของฟิเอเอช ได้แก่ ไม่มีฟิเอเอช ฟลูออรีน และฟิแนนทริน ปัจจัยที่ 2 ได้แก่ วิธีการได้รับน้ำเลี้ยงเซลล์

โดยเมล็ดพันธุ์จะได้รับน้ำเลี้ยงเซลล์แบคทีเรียเพียงครั้งเดียวแต่ต่างวิธี วิธีการได้รับน้ำเลี้ยงเซลล์มี 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 แช่เมล็ดพันธุ์ข้าวในน้ำเลี้ยงเซลล์แบคทีเรียก่อนเพาะเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และวิธีที่ 2 เพาะเมล็ดพันธุ์ข้าวในน้ำกลั่นเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วเพาะลงบนกระดาดเพาะที่รดด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์แบคทีเรียจนชุ่ม เพาะต้นกล้า 5 เมล็ดต่อถาดเพาะ 1 ถาด ทดลองทั้งหมด 10 ซ้ำ ตั้งถาดที่เพาะเมล็ดข้าวทั้งหมดในบริเวณที่ให้ได้รับแสงธรรมชาติ รดด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อทุกวันเพื่อรักษาความชื้นในกระดาดเพาะ บันทึกผลการทดลองจนถึงวันที่ 16 ของการทดลอง โดยนับจำนวนต้นกล้าที่งอก และการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ความยาวราก ความยาวใบ น้ำหนักสด/น้ำหนักแห้งของรากรวมใบเลี้ยง และน้ำหนักสด/น้ำหนักแห้งของยอด คำนวณร้อยละการงอกทั้งหมด และเวลาเฉลี่ยในการงอกตามวิธีของ Calvelo Pereira *et al.* (2010) และ Chuanren *et al.* (2004)

$$\text{การงอกทั้งหมด (G}_T\text{)} = (\text{Ng}/\text{Ns}) \times 100$$

Ng = จำนวนเมล็ดที่งอกภายในระยะเวลาที่กำหนด

Ns = จำนวนเมล็ดที่เริ่มเพาะ

$$\begin{aligned} \text{เวลาเฉลี่ยในการงอก (Mean Time Germination; MTG)} \\ = \sum (g_i \times d_i)/n \end{aligned}$$

d_i = จำนวนวัน

g_i = จำนวนเมล็ดที่งอกที่วัน d_i

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติระหว่างทรีทเมนต์ด้วย Two-Way ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างของความแปรปรวนค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ P<0.05 การทดสอบผลของฟิเอเอชต่อการสร้าง IAA และในกรณีที่ต้นกล้าข้าวไม่งอกราก วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติระหว่างทรีทเมนต์ด้วย One-Way ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี LSD

ผลการวิจัยและวิจารณ์

พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นสารที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ (Patel et al., 2020) ดังนั้นการนำจุลินทรีย์กลุ่มส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชไปใช้ในดินที่ปนเปื้อนพีเอเอชอาจทำให้กิจกรรมส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยจุลินทรีย์ลดลงได้ การศึกษานี้จึงตรวจสอบปริมาณการผลิต IAA และการละลายฟอสเฟตของ *Streptomyces* sp. ไอโซเลต STRM104 และ STRM302 ในสภาวะที่มีการปนเปื้อนจากฟลูออรีนและฟิแนนทรีน รวมทั้งศึกษารูปแบบการให้น้ำเลี้ยงเซลล์ต่อการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เพาะในสภาวะที่มีการปนเปื้อนจากฟลูออรีนและฟิแนนทรีน ผลการทดลองพบว่าฟลูออรีนและฟิแนนทรีนไม่ส่งผลต่อการผลิต IAA โดยในวันที่ 10 ของการทดลอง *Streptomyces* sp. STRM104 และ *Streptomyces* sp. STRM302 ผลิต IAA ได้เท่ากับ 3.83 และ 4.91 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ เมื่อเพาะเลี้ยงแบบคิเรียในอาหาร 1/2PDB ในขณะที่ผลิต IAA ได้ 0.78-2.38 และ 0.71-2.81 $\mu\text{g/ml}$ สำหรับเชื้อ *Streptomyces* sp. STRM104 และ *Streptomyces* sp. STRM302 ตามลำดับ เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมฟลูออรีนหรือฟิแนนทรีนที่ระดับความเข้มข้น 15 และ 20 mg/l (Table 1) ความสามารถในการละลายฟอสเฟตของ *Streptomyces* sp. STRM104 ในวันที่ 10 ของการทดลองคาดว่าจะลดลงจากผลของโดเมทิลฟอร์มาไมด์ซึ่งเป็นตัวทำลายที่ใช้ในการละลายพีเอเอช ส่วนความสามารถในการละลายฟอสเฟตที่ลดลงของ *Streptomyces* sp. STRM104 ในวันที่ 20 ของการทดลองคาดว่าเป็นผลร่วมจากทั้งโดเมทิลฟอร์มาไมด์และฟลูออรีนกับฟิแนนทรีน ในขณะที่ฟลูออรีนและโดเมทิลฟอร์มาไมด์ไม่ส่งผลต่อการละลายฟอสเฟตของ *Streptomyces* sp. STRM302 ส่วนฟิแนนทรีนทั้งที่ระดับความเข้มข้น 15 และ 20 mg/l ทำให้ความสามารถในการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรีย *Streptomyces* sp. STRM302 หายไป (Table 1)

ผลการศึกษาของวิธีการได้รับน้ำเลี้ยงเซลล์แบบ คิเรีย *Streptomyces* sp. STRM104 และ *Streptomyces* sp. STRM302 ส่งผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เพาะในสภาวะที่ปนเปื้อนฟลูออรีนและฟิแนนทรีนแตกต่างกัน การแช่เมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียวในน้ำเลี้ยงเซลล์แบบคิเรียทั้งสองชนิดไม่ว่าจะเป็น *Streptomyces* sp. STRM104 หรือ *Streptomyces* sp. STRM302 กระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ได้มากกว่าการเพาะเมล็ดพันธุ์ในกระดาดเพาะที่รดด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์ การแช่เมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ในน้ำเลี้ยงเซลล์ของ *Streptomyces* sp. STRM104 ส่งเสริมให้การงอกของข้าวเหนียวที่เพาะในกระดาดที่ปนเปื้อนฟลูออรีนหรือฟิแนนทรีนเป็นร้อยละ 100 ในขณะที่การงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ที่เพาะในกระดาดที่รดด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์มีร้อยละการงอกต่ำกว่าร้อยละ 60 อย่างไรก็ตามการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำเลี้ยงเซลล์ *Streptomyces* sp. STRM104 มีแนวโน้มว่าเวลาเฉลี่ยในการงอกไม่แตกต่างกันเมื่อเพาะเมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ในสภาวะที่ปนเปื้อนฟลูออรีนและฟิแนนทรีน แต่การเพาะเมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ที่เพาะในกระดาดที่ชุ่มด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์ของ *Streptomyces* sp. STRM104 พบว่าเวลาเฉลี่ยในการงอกเกิดได้ช้าที่สุดในสภาวะที่มีการปนเปื้อนจากฟลูออรีน

นอกจากนี้การแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำเลี้ยงเซลล์ยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาดเพาะที่ชุ่มไปด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์โดยความยาวใบ น้ำหนักสด/น้ำหนักแห้งของยอด ความยาวราก น้ำหนักสด/น้ำหนักแห้งของรากรวมใบเลี้ยงของเมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ที่แช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำเลี้ยงเซลล์มีค่ามากกว่าการเจริญเติบโตของต้นกล้าที่แช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำกลั่นแล้วเพาะในกระดาดเพาะที่ชุ่มด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์ (Table 2)

Table 1 Indole-3-acetic acid ($\mu\text{g/ml}$) production and phosphate solubilization index (PSI) of *Streptomyces* sp. STRM104 and STRM302 (Data are mean $\pm$ S.E.)

Treatment	<i>Streptomyces</i> sp. STRM104		<i>Streptomyces</i> sp. STRM302	
	IAA	PSI	IAA	PSI
	concentration		concentration	
Day 10				
15 mg/l fluorene	2.38 $\pm$ 0.74	1.39 $\pm$ 0.04b	0.71 $\pm$ 0.48	1.46 $\pm$ 0.02
20 mg/l fluorene	1.72 $\pm$ 1.28	1.31 $\pm$ 0.03b	0.71 $\pm$ 0.48	1.38 $\pm$ 0.13
15 mg/l phenanthrene	0.78 $\pm$ 0.38	1.45 $\pm$ 0.03b	2.81 $\pm$ 2.36	no clear zone
20 mg/l phenanthrene	1.07 $\pm$ 0.26	1.51 $\pm$ 0.10b	0.93 $\pm$ 0.59	no clear zone
dimethylformamide	1.72 $\pm$ 0.51	1.34 $\pm$ 0.05b	2.45 $\pm$ 1.21	1.36 $\pm$ 0.01
PDB or Pikovskaya's agar	3.83 $\pm$ 0.45	1.83 $\pm$ 0.01a	4.91 $\pm$ 0.38	1.37 $\pm$ 0.01
Day 20				
15 mg/l fluorene	N.D.	1.39 $\pm$ 0.04bc	N.D.	1.47 $\pm$ 0.02
20 mg/l fluorene	N.D.	1.31 $\pm$ 0.03c	N.D.	1.55 $\pm$ 0.24
15 mg/l phenanthrene	N.D.	1.46 $\pm$ 0.03bc	N.D.	no clear zone
20 mg/l phenanthrene	N.D.	1.50 $\pm$ 0.10b	N.D.	no clear zone
dimethylformamide	N.D.	1.34 $\pm$ 0.06c	N.D.	1.36 $\pm$ 0.01
PDB or Pikovskaya's agar	N.D.	1.76 $\pm$ 0.02a	N.D.	1.37 $\pm$ 0.01
LSD	3.10	0.23	5.19	0.43
Day/PAHs/day*PAHs	-	ns/**/ns	-	ns/ns/ns

Values with different lowercase letter are statistically different between same day ($P < 0.05$); Values with different capital letter are statistically different between same bacterial strain and different day at 0.05; ns, *, ** denote non-significance ($P > 0.05$), statistically significance ($P < 0.05$), and highly statistically significance ($P < 0.01$) of each factor, respectively. N.D. = not determined

การได้รับน้ำเลี้ยงเซลล์แบคทีเรีย *Streptomyces* sp. STRM302 ให้ผลในลักษณะเดียวกับการได้รับน้ำเลี้ยงเซลล์แบคทีเรีย *Streptomyces* sp. STRM104 โดยการงอกของรากของเมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ที่แช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำเลี้ยงเซลล์แบคทีเรีย *Streptomyces* sp. STRM302 ก่อนเพาะมีค่าเป็นร้อยละ 100 การเจริญเติบโตของยอดต้นกล้าข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่แช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำเลี้ยงเซลล์ของ *Streptomyces* sp. STRM302

แล้วเพาะในสภาวะที่ปนเปื้อนฟลูออรีนและฟิแนนทรีน มีแนวโน้มมีค่ามากกว่าต้นกล้าข้าวเหนียวที่เพาะเมล็ดในสภาวะที่ปนเปื้อนเช่นกัน แต่เพาะเมล็ดพันธุ์ในกระดาดที่ชุ่มด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์ โดยการแช่เมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ในน้ำกลั่นแล้วเพาะในกระดาดชุ่มน้ำเลี้ยงเซลล์ พบว่าไม่เกิดการงอกของรากแต่พบการงอกของใบเท่านั้น (Figure 1 และ Table 2) นอกจากนี้การเจริญเติบโตของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เพาะในกระดาดชุ่มน้ำเลี้ยงเซลล์มีลักษณะ

ของต้นกล้าที่ไม่แข็งแรงสมบูรณ์ การเจริญเติบโตของรากข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 ที่เพาะเมล็ดพันธุ์ในกระดาดชุ่มน้ำเลี้ยงเซลล์ของ *Streptomyces* sp. STRM302 ไม่สามารถวัดค่าได้ (Figure 1 และ Table 2) โดยการเพาะเมล็ดพันธุ์ในกระดาดที่ชุ่มด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์ของ *Streptomyces* sp.

STRM302 พบการเจริญของราในกระดาดเพาะ ซึ่งคาดว่าจะสาเหตุให้การงอกของเมล็ดถูกขัดขวางได้เนื่องจากในน้ำเลี้ยงเซลล์ของแบคทีเรียทุกไอโซเลตมีส่วนผสมของอาหาร PDB รวมทั้งเมล็ดข้าวสามารถเป็นแหล่งอาหารสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ในธรรมชาติได้

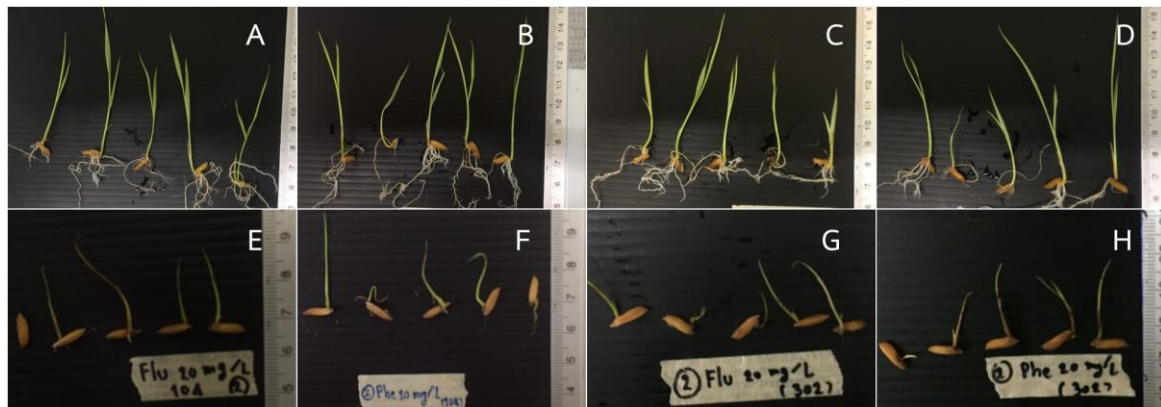


Figure 1 The 16 days old seedling of rice cv. RD6 grown under different condition; seeds immersion in *Streptomyces* sp. STRM104 culture filtrate and exposed to fluorene (A) and phenanthrene (B) contamination; immersion in *Streptomyces* sp. STRM302 culture filtrate and exposed to fluorene (C) and phenanthrene (D) contamination; germinated in paper soaked with culture of *Streptomyces* sp. STRM104 and exposed to fluorene (E) and phenanthrene (F) contamination; germinated in paper soaked with culture of *Streptomyces* sp. STRM302 culture filtrate and exposed to fluorene (G) and phenanthrene (H) contamination

Table 2 Germination and growth of shoot (fresh weight/dry weight) and root (fresh weight/dry weight) of rice grown under fluorene or phenanthrene contamination which receiving culture filtrate of *Streptomyces* sp. STRM104 and *Streptomyces* sp. STRM302 (Data are mean $\pm$ S.E.)

Treatment	Total root germination (%)	Mean time to germinate of root (days)	Shoot length (cm)	Shoot fresh weight (mg)	Shoot dry weight (mg)	Root length (cm)	Root fresh weight + Cotylydon (g)	Root dry weight + Cotylydon (mg)
Immersion (STRM104)								
Acetone	100.00 $\pm$ 0.00	2.12 $\pm$ 0.10a	5.42 $\pm$ 0.21aA	18.4 $\pm$ 0.87aA	5.2 $\pm$ 0.19aA	5.57 $\pm$ 0.34aA	3.9 $\pm$ 0.35aA	2.2 $\pm$ 0.11aA
20 mg/kg fluorene	100.00 $\pm$ 0.00	2.56 $\pm$ 0.12a	4.96 $\pm$ 0.21aA	7.7 $\pm$ 0.45cA	4.2 $\pm$ 0.22bA	4.46 $\pm$ 0.35bA	2.0 $\pm$ 0.16bA	1.6 $\pm$ 0.15bA
20 mg/kg phenanthrene	100.00 $\pm$ 0.00	2.56 $\pm$ 0.06a	5.35 $\pm$ 0.22aA	11.4 $\pm$ 0.70bA	4.4 $\pm$ 0.20bA	5.89 $\pm$ 0.39aA	2.0 $\pm$ 0.13bA	1.5 $\pm$ 0.10bA
Soaked paper (STRM104)								
Acetone	54.28 $\pm$ 8.41	2.57 $\pm$ 0.18b	2.30 $\pm$ 0.16aB	3.1 $\pm$ 0.22abB	1.5 $\pm$ 0.11aB	0.62 $\pm$ 0.10aB	0.6 $\pm$ 0.14aB	0.3 $\pm$ 0.00aB
20 mg/kg fluorene	40.00 $\pm$ 0.00	1.25 $\pm$ 0.00c	1.76 $\pm$ 0.19aB	2.3 $\pm$ 1.92bB	1.2 $\pm$ 0.11aB	0.30 $\pm$ 0.10aB	2.1 $\pm$ 0.00aA	0.6 $\pm$ 0.00aA
20 mg/kg phenanthrene	60.00 $\pm$ 11.55	3.65 $\pm$ 0.90a	2.11 $\pm$ 0.17aB	4.0 $\pm$ 3.58aB	1.3 $\pm$ 0.11aB	0.51 $\pm$ 0.14aB	0.5 $\pm$ 0.07aB	0.4 $\pm$ 0.09aB
LSD		0.75	0.55	1.26	0.4	0.71	0.57	0.31
Method/PAHs/ Method*PAHs	-	ns/**/ns	**/**/ns	**/**/**	**/**/**	**/**/**	**/**/**	**/**/ns
Immersion with (STRM302)								
Acetone	100.00 $\pm$ 0.00	2.50 $\pm$ 0.12	4.85 $\pm$ 0.20A	6.4 $\pm$ 0.52cA	3.3 $\pm$ 0.18cA	4.34 $\pm$ 0.35b	3.2 $\pm$ 0.16a	1.1 $\pm$ 0.07
20 mg/kg fluorene	100.00 $\pm$ 0.00	2.46 $\pm$ 0.04	5.22 $\pm$ 0.20A	12.00 $\pm$ 0.65aA	4.2 $\pm$ 0.19bA	6.34 $\pm$ 0.40a	2.6 $\pm$ 0.13b	3.8 $\pm$ 2.03
20 mg/kg phenanthrene	100.00 $\pm$ 0.00	2.44 $\pm$ 0.04	4.86 $\pm$ 0.22A	9.7 $\pm$ 6.23bA	5.2 $\pm$ 0.30aA	4.68 $\pm$ 0.27b	1.4 $\pm$ 0.11c	1.1 $\pm$ 0.09
Soaked paper (STRM302)								
Acetone	N.G.	N.G.	1.87 $\pm$ 0.12B	2.2 $\pm$ 0.17aB	1.1 $\pm$ 0.07aB	N.G.	N.G.	N.G.
20 mg/kg fluorene	N.G.	N.G.	2.08 $\pm$ 0.12B	2.0 $\pm$ 0.18aB	0.9 $\pm$ 0.11aB	N.G.	N.G.	N.G.
20 mg/kg phenanthrene	N.G.	N.G.	1.72 $\pm$ 0.14B	2.4 $\pm$ 0.21aB	1.1 $\pm$ 0.08aB	N.G.	N.G.	N.G.
LSD		0.23	0.50	1.13	0.40	0.91	1.26	0.40
Method/PAHs/ Method*PAHs	-/-/-	-/ns/-	**/ns/**	**/**/**	**/**/**	-/**/-	-/**/-	-/ns/-

Values with different lowercase letter are statistically different between same method ($P < 0.05$); Values with different capital letter are statistically different between same PAHs and different method at 0.05; ns, *, ** denote non-significance ($P > 0.05$), statistically significance ($P < 0.05$), and highly statistically significance ($P < 0.01$) of each factor, respectively. N.G. = not germinate

วิจารณ์ผลการวิจัย

การละลายฟอสเฟตที่ลดลงของ *Streptomyces* sp. STRM104 และ *Streptomyces* sp. STRM302 คาดว่าเกิดจากผลกระทบของสารมลพิษต่อวิถีเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ที่เกี่ยวข้อง ทำให้คุณลักษณะที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเปลี่ยนแปลงไป ดังที่มีรายงานว่าสารกำจัดวัชพืชหลายชนิดทำให้การผลิต IAA และการละลายฟอสเฟตของ *Pseudomonas putida* PS9 ลดลง (Ahemad and Khan, 2012) ฟลูออรีนและฟิแนนทรีนทำให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของจุลินทรีย์ในดินลดลง (Sverdrup *et al.*, 2002) ฟิเอเอชยังมีผลตักกิจกรรมของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยาออกซิโดรีดักชันภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Irha *et al.*, 2003) อย่างไรก็ตามฟิเอเอชส่งผลต่อการผลิต IAA ของแบคทีเรียไอโซเลต NSRU1 ซึ่งคัดแยกได้จากดินรอบรากหญ้าตีนกา (*Eleusine indica*) และแบคทีเรียไอโซเลต NSRU2 กับ NSRU3 ซึ่งคัดแยกได้จากดินรอบรากสาบเสือ (*Chromolaena odorata*) โดยแบคทีเรียทั้ง 3 ไอโซเลต ผลิต IAA ลดลงเมื่อเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแอนทราซีนหรือฟิแนนทรีนที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/l (Chouychai *et al.*, 2016)

การใช้แบคทีเรียกลุ่มสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืชทางการเกษตรมีหลายรูปแบบ ซึ่งอาจใช้แบคทีเรียในรูปของตัวเซลล์แบคทีเรียหรือน้ำเลี้ยงเซลล์แบคทีเรียก็ได้ (Bakhshandeha *et al.*, 2017; Muniroha *et al.*, 2019) การใช้ตัวเซลล์แบคทีเรียกับดินโดยตรงอาจมีปัญหาด้านการรอดชีวิตของแบคทีเรียในสภาพแวดล้อม (de Souza *et al.*, 2015) ในงานวิจัยของ Bakhshandeha *et al.* (2017) รายงานว่าการเติมหัวเชื้อลงดินโดยตรงทำให้น้ำหนักแห้งของใบและน้ำหนักแห้งของลำต้นข้าว (cv. Tarom Hashemi) ต่ำกว่าการให้ต้นกล้าได้รับหัวเชื้อโดยตรงแล้วจึงย้ายปลูกลงแปลง การเติมจุลินทรีย์ลงสู่ดินโดยตรงอาจเผชิญปัญหาสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ และทำให้จุลินทรีย์

ไม่สามารถรอดชีวิตและแสดงกิจกรรมการสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืชได้ (de Souza *et al.*, 2015) นอกจากนี้ในการทดลองข้างต้นพบว่าฟลูออรีนและฟิแนนทรีนลดการผลิต IAA และการละลายฟอสเฟตของ *Streptomyces* sp. ทั้งสองสายพันธุ์ ดังนั้นการทดสอบผลการกระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เพาะในสภาวะปนเปื้อนฟลูออรีนหรือฟิแนนทรีนที่ระดับความเข้มข้น 20 mg/l จึงใช้น้ำเลี้ยงเซลล์แบคทีเรียในการทดสอบแทนการใช้เซลล์จุลินทรีย์โดยตรง

การเติมน้ำเลี้ยงเซลล์ลงในกระดาดเพาะทำให้การงอกและการเจริญเติบโตระยะต้นกล้าของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ลดลง โดยเฉพาะการเจริญของราก เป็นไปได้ว่าน้ำเลี้ยงเซลล์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในอาหาร 1/2PDB ยังคงมีแหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมใช้เป็นสารอาหารได้ ถึงแม้จะผ่านการใช้เป็นอาหารในการเพาะเลี้ยง *Streptomyces* sp. มาแล้ว นอกจากนี้ในน้ำเลี้ยงเซลล์จุลินทรีย์ยังเป็นแหล่งเมแทบอลิต์ทุติยภูมิจากจุลินทรีย์ที่สำคัญ เช่น สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชและฟลาโวนอยด์ เป็นต้น (Hamayun *et al.*, 2019; Muniroha *et al.*, 2019) ดังนั้นการเติมน้ำเลี้ยงเซลล์ลงในกระดาดเพาะอาจดึงดูดให้จุลินทรีย์อื่นๆ ในสิ่งแวดล้อมเจริญขึ้นจนขัดขวางการงอกของรากและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าวพันธุ์ กข 6 ได้ รวมทั้งปริมาณเมแทบอลิต์ทุติยภูมิ เช่น IAA ในน้ำเลี้ยงเซลล์อาจมีอยู่ไม่เพียงพอต่อการดูดซึมเข้าสู่เมล็ด ในขณะที่การแช่เมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ในน้ำเลี้ยงเซลล์ก่อนเพาะบนกระดาดเพาะ เป็นการได้รับน้ำเลี้ยงเซลล์ในระยะเวลาที่เพียงพอให้เมแทบอลิต์ทุติยภูมิจึงรวมถึง IAA ที่เป็นฮอร์โมนสำคัญต่อการพัฒนาของรากในต้นกล้าข้าว (Chhun *et al.*, 2004) ถูกดูดซึมเข้าสู่เมล็ดพืชได้มากกว่าวิธีการใช้น้ำเลี้ยงเซลล์โดยการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำเลี้ยงเซลล์จึงกระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ดีกว่า นอกจากนี้อาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการงอกของข้าวซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว โดยมีรายงานว่าการย่อยสลาย

แบ่งที่สะสมในเอนโดสเปิร์มไปใช้ในกระบวนการงอกของเมล็ดมีความไวต่อความเป็นพิษของสารมลพิษ เช่น เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน มากกว่าพืชใบเลี้ยงคู่ (Calvelo Pereira *et al.*, 2010) เมื่อเมล็ดข้าวได้รับ IAA ในขณะที่แช่เมล็ดก่อนจะสัมผัสกับพีเอเออาจช่วยให้เอ็มบริโอของข้าวเกิดการพัฒนารากได้ดีกว่าการที่ได้รับ IAA พร้อมกับการสัมผัสกับพีเอเอ

สรุปผลการวิจัย

การสัมผัสกับฟลูออรีนและฟีนานทรินของ *Streptomyces* sp. STRM104 และ *Streptomyces* sp. STRM302 ทำให้การละลายฟอสเฟตลดลง การใช้น้ำเลี้ยงเซลล์เพื่อกระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 จึงมีโอกาสนประสบความสำเร็จมากกว่า โดยวิธีการใช้น้ำเลี้ยงเซลล์ของ *Streptomyces* sp. STRM104 และ *Streptomyces* sp. STRM302 ที่เหมาะสม คือ การแช่เมล็ดพันธุ์ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 แล้วจึงนำไปเพาะ เนื่องจากส่งผลกระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้มากกว่าการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำกลั่นแล้วจึงเพาะในวัสดุเพาะที่รดด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์

กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

Ahemad, M. and M.S. Khan. 2012. Evaluation of plant-growth-promoting activities of rhizobacterium *Pseudomonas putida* under herbicide stress. **Ann. Microbiol.** 62: 1531-1540.

Ahmad, F., I. Ahmad and M.S. Khan. 2008.

Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. **Microbiol. Res.** 163: 178-181.

Amagai, T., Y. Takahashi and H. Matsushita. 1999.

A survey on polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in soil in Chiang Mai, Thailand. **Environ. Int.** 25: 563-572.

Bakhshandeha, E., H. Pirdashti and K.S. Lendeh.

2017. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. **Ecol. Eng.** 103: 164-169.

Calvelo Pereira, R.C., C. Monterroso and

F. Macias. 2010. Phytotoxicity of hexachlorocyclohexane: effect on germination and early growth of different plant species. **Chemosphere** 79: 326-333.

Chhun, T., S. Taketa, S. Tsurumi and M. Ichii.

2004. Different behaviour of indole-3-acetic acid in stimulating lateral root development in rice (*Oryza sativa* L.).

Plant Growth Regul 43: 135-143.

Chouychai, W., T. Paemsom, C. Pobsuwan,

K. Somtrakoon and H. Lee. 2016.

Effect of indole-3-acetic acid-producing bacteria on phytoremediation of soil contaminated with phenanthrene and anthracene by mungbean.

Environment Asia 9(2): 128-133.

- Chuanren, D., W. Bochu, L. Wanqian, C. Jing, L. Jie and Z. Huan. 2004. Effect of chemical and physical factors to improve the germination rate of *Echinaceae angustifolia* seeds. **Colloid Surface B** 37: 101-105.
- Collavino, M.M., P.A. Sansberro, L.A. Mroginski and O.M. Aguilar. 2010. Comparison of *In Vitro* solubilization activity of diverse phosphate-solubilizing bacteria native to acid soil and their ability to promote *Phaseolus vulgaris* growth. **Biol. Fert. Soils** 46: 727-738.
- de Souza, R., A. Ambrosini and L.M.P. Passaglia. 2015. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genet. Mol. Biol.** 38(4): 401-419.
- Hamayun, I.M., A. Hussain, S.A. Khan, A. Iqbal and I.-J. Lee. 2019. *Aspergillus flavus* promoted the growth of soybean and sunflower seedlings at elevated temperature. **BioMed Res. Int.** 2019: 1295457.
- Irha, N., J. Sleta and V. Petersell. 2003. Effect of heavy metals and PAH on soil assessed via dehydrogenase assay. **Environ. Int.** 28: 779-782.
- Khunkhet, S. and T. Remsungnen. 2018. Non-destructive identification of breeding rice seed by using image processing and fuzzy logic. **J. Sci. Eng. Res.** 5(3): 108-121
- Kim, L., H.-J. Jeon, Y.-C. Kim, S.-H. Yang, H. Choi, T.-O. Kim and S.-E. Lee. 2019. Monitoring polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations and distributions in rice paddy soils from Gyeonggi-do, Ulsan, and Pohang. **App. Biol. Chem** 62: 18.
- Liu, G., W. Guo, J. Niu, X. An and L. Zhao. 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils around the industrial city of Changzhi, China: characteristics, spatial distribution, hotspots, sources, and potential risks. **J. Soils Sediments** 17: 229-239.
- Muniroha, M.S., S.A. Nusaibah, G. Vadamalai and Y. Siddique. 2019. Proficiency of biocontrol agents as plant growth promoters and hydrolytic enzyme producers in *Ganoderma boninense* infected oil palm seedlings. **Current Plant Biology** 20: 100116.
- Patel, A.B., S. Shaikh, K.R. Jain, C. Desai and D. Madamwar. 2020. Polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, toxicity, and remediation approaches. **Front. Microbiol** 11: 562813.
- Pongpiachan, S., D. Tipmadee, W. Deelaman, J. Muprasit, P. Feldensand and K. Schwarzer. 2013. Baseline risk assessment of the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal areas of Thailand affected by the 2004 tsunami. **Mar. Pollut. Bull.** 76: 370-378.

Pongpiachan, S., M. Hattayanone and J. Cao.

2017. Effect of agricultural waste burning season on PM2.5-bound polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) levels in Northern Thailand.

Atmos. Pollut. Res. 8: 1069-1080.

Somtrakoon, K., C. Chaimuangkoon, D. Phalaphol

and W. Chouychai. 2011. Phytotoxicity of fluoranthene and phenanthrene contaminants in soil on crop seedling growth. **RMUTI J. Sci. Technol.** 4(1): 19-26. [in Thai].

Somtrakoon, K., C. Chaimuangkoon, D. Phalaphol

and W. Chouychai. 2012. Combined phytotoxicity of phenanthrene, fluorene and fluoranthene in seedling growth of sticky rice cv. RD 6 and water morning glory. **Rajamangala University of Technology Tawan-ok Res. J.** 5(1): 35-45. [in Thai].

Sverdrup, L.E., F. Ekelund, P.H. Krogh, T. Nielsen

and K. Johnsen. 2002. Soil microbial toxicity of eight polycyclic aromatic compounds: effects on nitrification, the genetic diversity of bacteria, and the total number of protozoans. **Environ. Toxicol. Chem.** 21: 1644-1650.

Vejan, P., R. Abdullah, T. Khadiran, S. Ismail and A.N. Boyce. 2016. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability – A review. **Molecules** 21: 573.

Wu H., B. Sun and J. Li. 2019. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments/soils of the rapidly urbanized lower reaches of the river Chaohu, China. **Int. J. Env. Res. Pub. He.** 16: 2302.

Zelinkova, Z. and T. Wenzl. 2015. The occurrence of 16 EPA PAHs in food – A review. **Polycycl. Aromat. Comp.** 35: 248-284.

การประเมินความต้านทานของพันธุ์มันฝรั่งต่อเชื้อรา *Phytophthora infestans*
ในสภาพโรงเรือน

Assessment of Potato Variety Resistance to *Phytophthora infestans*
in Greenhouse

ฐิตาภรณ์ เรืองกุล¹ ธารทิพย์ ภาสบุตร² อรทัย วงศ์เมธา³ ฉัตรสุดา เผือกใจแผ้ว⁴ และอรอุมา เรืองวงษ์^{1*}

Thitaporn Ruangkul¹, Tharntip Bhasabutra², Orathai Wongmetha³

Chatsuda Phuakjaiphaeo⁴ and On-Uma Ruangwong^{1*}

¹ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

²สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

³ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร เชียงใหม่ 50230

⁴สาขาวิชาอารักขาพืช คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50200

²Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok, Thailand 10900

³Chiang Mai Royal Agricultural Research Centre, Horticulture Research Institute, Department of Agriculture, Chiang Mai, Thailand 50230

⁴Division of Plant Protection, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: On-uma.r@cmu.ac.th

Received: August 06, 2020

Revised: March 12, 2021

Accepted: May 03, 2021

Abstract

Late blight disease of potato is caused by *Phytophthora infestans*, leading to yield losses of potato crop. Potato breeding for disease resistance is very crucial for potato production. The objective of this study was selection resistance potato varieties to *P. infestans*. Two potato varieties from Chiang Mai Royal Agricultural Research Center, Thailand, sixteen varieties from International Potato Center (CIP), Peru and an Atlantic variety were used for plant disease screening. A suspension at the concentration of 1×10^4 sporangia mL^{-1} of four *P. infestans* isolates as KW3, Phrao3, MA6 and MS8, each one was prepared. The suspension was inoculated to the whole plants at 1-month-old. Plant disease severity was assessed during July–August 2018 at 14, 25, 34, 43 and 52 days after inoculation for 8 weeks period. Scoring of disease severity was converted to percent severity index (PSI) to categorize resistant genotypes and the area under the disease–progress curve (AUDPC) were also calculated for disease resistant estimation. It was found that potato variety CIP 391002.6 showed moderately resistant (MR) to all *P. infestans* isolates. The resistant variety can be utilized to breeding program as late blight resistant varieties.

Keywords: late blight, potato disease, *Phytophthora infestans*

บทคัดย่อ

โรคใบไหม้มันฝรั่งเกิดจากเชื้อรา *Phytophthora infestans* ที่สร้างความเสียหายต่อผลผลิตเป็นอย่างมาก การปรับปรุงพันธุ์มันฝรั่งให้มีความต้านทานต่อโรคจึงมีความสำคัญต่อการปลูกมันฝรั่ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกพันธุ์มันฝรั่งที่ต้านทานต่อเชื้อรา *P. infestans* โดยประเมินความต้านทานของมันฝรั่งที่ได้รับมาจากการคัดเลือกพันธุ์โดยศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ จำนวน 2 พันธุ์ พันธุ์ที่นำเข้าจาก International Potato Center (CIP) ประเทศเปรู จำนวน 16 พันธุ์ และพันธุ์ Atlantic นำเชื้อรา *P. infestans* จำนวน 4 ไอโซเลท ได้แก่ ไอโซเลท KW3, Phrao3, MA6 และ MS8 ที่ความเข้มข้นของแต่ละไอโซเลท เท่ากับ 1×10^4 สปอร์แรงเจีย/มล. ปลูกลงบนต้นมันฝรั่งอายุ 1 เดือน ทำการประเมินพันธุ์มันฝรั่งในช่วงเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2561 โดยประเมินระดับการเกิดโรคในวันที่ 14, 25, 34, 43 และ 52 หลังปลูกเชื้อเป็นเวลา 8 สัปดาห์ นำระดับการเกิดโรคที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละดัชนีความรุนแรงของโรค และพื้นที่ใต้กราฟพัฒนาการของโรค (AUDPC) เพื่อใช้ระบุลักษณะความต้านทานต่อโรค พบมันฝรั่งพันธุ์ CIP 391002.6 มีความต้านทานปานกลางต่อเชื้อรา *P. infestans* ทั้ง 4 ไอโซเลท ซึ่งพันธุ์ดังกล่าวจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการปรับปรุงพันธุ์มันฝรั่งให้ต้านทานต่อโรคใบไหม้ต่อไป

คำสำคัญ: โรคใบไหม้ โรคมันฝรั่ง *Phytophthora infestans*

คำนำ

มันฝรั่ง (Potato) เป็นพืชล้มลุก จัดอยู่ในวงศ์ Solanaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในที่ราบสูงบริเวณเทือกเขาแอนดีส ทวีปอเมริกาใต้ แถบประเทศเปรู ปัจจุบันมีการปลูกทั่วโลก ในประเทศไทยเริ่มมีการเพาะปลูกเชิงการค้าบนพื้นที่สูงในช่วงปลายพุทธศตวรรษที่ 24 (Lhakchaiyagul

and Paein-Jarean, 2014) แหล่งผลิตมันฝรั่งที่สำคัญในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ ตาก ลำพูน เชียงราย และพะเยา เนื่องจากมีสภาพภูมิศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมันฝรั่ง (Office of Agricultural Economics, 2017) มันฝรั่งพันธุ์ที่นิยมปลูก คือ พันธุ์ Atlantic (*Solanum tuberosum* L. cv. Atlantic) เนื่องจากหัวมีลักษณะรูปร่างกลม เนื้อในเป็นสีขาว และมีแป้งสูงเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการแปรรูป (Lhakchaiyagul and Paein-Jarean, 2014; Jarinthorn et al., 2016) อย่างไรก็ตาม มันฝรั่งพันธุ์ Atlantic ที่ปลูกในประเทศไทยยังมีความอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา *Phytophthora infestans* ทำให้เกิดโรคใบไหม้ (Late blight) ซึ่งพบการระบาดของโรคอย่างรวดเร็วในสภาพอากาศเย็นและมีความชื้นสูง (Lhakchaiyagul and Wongmetha, 2014; Wongmetha et al., 2019; Soyong and Ratanacherdchai, 2005) อีกทั้งยังคงพบการระบาดของโรคใบไหม้ในทุกๆ ปี และสร้างความเสียหายต่อผลผลิตอย่างรุนแรง (Jaimasit and Prakob, 2011)

การใช้พันธุ์มันฝรั่งที่มีความต้านทานต่อโรคจัดเป็นวิธีการควบคุมโรคที่มีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเคมี นอกจากนี้ ยังเป็นการลดต้นทุนการผลิต และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Mohammed, 2014) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการทดสอบพันธุ์มันฝรั่งที่มีความต้านทานต่อโรคใบไหม้อย่างแพร่หลาย เพื่อนำมาใช้แก้ไขปัญหการระบาดของโรค (Orozco et al., 2013) ในการพัฒนาพันธุ์มันฝรั่ง อาจใช้แหล่งพันธุกรรมของความต้านทานจากมันฝรั่งพันธุ์ป่าหรือนำเข้าพันธุ์เพื่อใช้ในการพัฒนาพันธุ์มันฝรั่งในประเทศ (Ethel et al., 2019; Asefa et al., 2016) ซึ่งในการคัดเลือกพันธุ์มันฝรั่ง นักปรับปรุงพันธุ์มักจะให้ความสนใจในพันธุ์มันฝรั่งที่มีความต้านทานแบบ General resistance (ความต้านทานเชิงปริมาณ คือ มีความต้านทานทั่วไปต่อเชื้อหลายสายพันธุ์) มากกว่าความต้านทานแบบ Race specific resistance (ความต้านทานเชิงคุณภาพ คือ ต้านทานต่อเชื้อบางสายพันธุ์อย่าง

จำเพาะเจาะจง) (Van der Plank, 1963) เนื่องจากมีความคงทนต่อเชื้อสาเหตุโรค และสามารถต้านทานต่อเชื้อรา *P. infestans* ได้หลากหลายสายพันธุ์มากกว่าความต้านทานในกลุ่ม Race specific resistance (Perez *et al.*, 2001; Bradshaw and Bonierbale, 2010)

ประเทศไทยเริ่มมีการทดสอบพันธุ์มันฝรั่งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 โดยสถาบันวิจัยพืชสวนร่วมกับศูนย์มันฝรั่งระหว่างประเทศ (International Potato Center, CIP) ประเทศเปรู โดยทำการทดสอบพันธุ์มันฝรั่งที่สถานีทดลองพืชสวนฝางและไร่กสิกร (อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่) พบว่ามันฝรั่งพันธุ์ 720088 หรือพันธุ์ฝาง 60 สามารถปรับตัวได้ดี ต้านทานต่อโรคใบไหม้ และให้ผลผลิตสูง กรมวิชาการเกษตรจึงได้ออกเป็นพันธุ์รับรองในปี พ.ศ. 2530 (Department of Agriculture, 2020) ต่อมาในปี พ.ศ. 2551-2552 ได้มีการศึกษาปฏิกิริยาของสายพันธุ์มันฝรั่งต่อการเกิดโรคใบไหม้โดยใช้พันธุ์ Atlantic โดย Kuarayakul *et al.* (2011) ที่ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย โดยใช้มันฝรั่งพันธุ์ Atlantic (สายต้น At1-At10) ในปี พ.ศ. 2552-2553 มีการปลูกทดสอบพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเชียงใหม่ โดยใช้มันฝรั่งสายต้น At-2, At-3, At-7, At-9, At-11, At-12, At-15 และ At-16 และสายต้น At1-At10 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับพันธุ์ Atlantic ดั้งเดิมที่ผลิตภายในประเทศเป็นชุดควบคุม พบว่ามันฝรั่งพันธุ์ Atlantic สายต้น A1, A3, A5 และ A9 เป็นโรคน้อยกว่าชุดควบคุม และในปี พ.ศ. 2554-2556 นำมันฝรั่งทั้ง 4 สายต้น มาปลูกทดสอบ โดย Jarintorn *et al.* (2016) เปรียบเทียบกับพันธุ์ Atlantic ดั้งเดิม ที่ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเชียงใหม่ (ฝาง) พบว่า สายต้น A3 และ A9 มีระดับการเกิดโรคใบไหม้เฉลี่ยต่ำที่สุด

การทดสอบพันธุ์มันฝรั่งเพื่อการปรับปรุงพันธุ์จึงมีความสำคัญในการแก้ไขปัญหาการระบาดของโรคใบไหม้ ดังนั้นศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ จึงได้มีการขออนุญาตนำเข้าพันธุ์มันฝรั่งที่ต้านทานโรคใบไหม้จาก CIP

เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงความต้านทานของพันธุ์มันฝรั่งในประเทศ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการประเมินความต้านทานของพันธุ์มันฝรั่งและคัดเลือกพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อโรคใบไหม้ เพื่อใช้เป็นแหล่งพันธุ์กรรมของความต้านทานสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

มันฝรั่ง

ประเมินความต้านทานโรคใบไหม้ของมันฝรั่งจำนวน 19 พันธุ์ โดยเป็นพันธุ์ที่ได้จากกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จำนวน 2 พันธุ์ (พันธุ์ต้านทาน) พันธุ์ที่ได้จาก International Potato Center (CIP) ประเทศเปรู จำนวน 16 พันธุ์ (พันธุ์ต้านทาน) และพันธุ์ Atlantic จำนวน 1 พันธุ์ (พันธุ์อ่อนแอ) การทดสอบทำในฤดูฝน ระหว่างเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2561 ในโรงเรือนแบบปิด ณ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) จำนวน 5 ซ้ำๆ ละ 3 ต้น โดยปลูกมันฝรั่งในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของพีทมอส และเพอร์ไลต์ ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ในถุงปลูกขนาดกว้าง 8 นิ้ว และสูง 16 นิ้ว ปลูก 1 ต้น/ถุง เมื่อต้นมันฝรั่งอายุ 1 เดือน จึงนำไปทดสอบการประเมินความต้านทานต่อโรค

การปลูกเชื้อราสาเหตุโรคใบไหม้ และการประเมินโรค

นำเชื้อรา *P. infestans* จำนวน 4 ไอโซเลท ได้แก่ ไอโซเลท KW3, Phrao3, MA6 และ MS8 ที่แยกได้จากพื้นที่อำเภอแม่วาง อำเภอพร้าว อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย ตามลำดับ ปรับความเข้มข้นของ Spore ให้ได้ 1×10^4 สปอร์แรงเจีย/มล. จากนั้นบ่ม Sporangia suspension ที่อุณหภูมิ 4°C. นาน 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ Zoospore suspension (Vleeshouwers *et al.*, 1999) นำ Inoculum ของเชื้อรา *P. infestans* แต่ละไอโซเลทมาฉีดพ่นลงบน

ใบของต้นมันฝรั่งในปริมาตร 5 มล./ต้น ตามวิธีการของ Sharma *et al.* (2013) ประเมินระดับคะแนนความรุนแรงของโรคในวันที่ 14, 25, 34, 43 และ 52 วันหลัง

การปลูกเชื้อ รวม 5 ครั้ง โดยใช้วิธีการประเมินโรคตามวิธีของ Henfling (1987) ที่กำหนดไว้ 9 ระดับ (Table 1)

Table 1 Field Key for assessing potato late blight (Henfling, 1987)

Score	Symptoms
1	No late blight observable
2	Late blight present maximum 10 lesions per plant.
3	Plant look healthy, but lesions are easily seen at closer distance. Maximum foliage area affected by lesions or destroyed corresponds to no more than 20 leaflets.
4	Late blight easily seen on most plants. About 25% of foliage is covered with lesions or destroyed.
5	Plot looks green; however, all plants are affected. Lower leaves are dead. About half the foliage area is destroyed.
6	Plot looks green with brown flecks. About 75% of each plant is affected. Leaves of the lower half of plants are destroyed.
7	Plot neither predominantly green nor brown. Only top leaves are green. Many stems have large lesions.
8	Plot is brown-colored. A few top leaves still have some green areas. Most stems have lesions or are dead.
9	All leaves and stems dead.

นำระดับคะแนนความรุนแรงของโรคที่ประเมินได้ไปคำนวณ Percent Severity Index (PSI) (Asefa *et al.*, 2016) โดยใช้สูตร

$$PSI \% = \frac{\text{Summation of numerical rating}}{\text{No. plants examined} \times \text{Maximum disease score}} \times 100$$

จากนั้นนำค่า PSI ที่ได้มาระบุลักษณะความต้านทานต่อโรค ตามวิธีการของ Mohan and Thind (1999) ที่ระบุไว้ 4 ลักษณะ ดังนี้ PSI ≤ 5% หมายถึง พืชมีความต้านทานสูง (Highly Resistant; HR), PSI = 5-20%

หมายถึง พืชมีความต้านทาน (Resistant; R), PSI = 21-40% หมายถึง พืชมีความต้านทานปานกลาง (Moderately Resistant; MR) และ PSI ≥ 40% หมายถึง พืชมีความอ่อนแอ (Susceptible; S)

นำค่าจากการประเมินระดับคะแนนความรุนแรงในการเกิดโรคไปคำนวณพื้นที่ใต้กราฟพัฒนาการของโรค (Area Under the Disease-progress Curve; AUDPC) ตามวิธีการของ Campbell and Madden (1990) ดังนี้

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

เมื่อ t = ระยะเวลาของการตรวจประเมิน

y = ร้อยละพื้นที่ใบและลำต้นของมันฝรั่งที่เป็นโรค
ขณะที่ตรวจประเมิน

n = จำนวนครั้งที่ทั้งหมดที่ตรวจประเมิน

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การประเมินพันธุ์มันฝรั่งที่ต้านทานต่อโรคใบไหม้ ทำการทดลองภายใต้สภาพโรงเรือนในฤดูฝน หลังการปลูกเชื้อราสาเหตุเป็นเวลา 52 วัน พบพันธุ์มันฝรั่งที่แสดงลักษณะต้านทานต่อโรคใบไหม้แต่ละไอโซเลทแตกต่างกัน ดังนี้

จากการทดสอบพันธุ์มันฝรั่งด้วยเชื้อราไอโซเลท KW3 พบว่า พันธุ์ CIP 391002.6, CIP 398098.119 และ CIP 398190.2 มีดัชนีความรุนแรงของโรคน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 33, 35 และ 35 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ Atlantic ($P \leq 0.05$) จัดอยู่ในกลุ่มต้านทานปานกลาง (MR) ในขณะที่มันฝรั่งพันธุ์ทดสอบอื่นๆ มีดัชนีความรุนแรงของโรคมากกว่าร้อยละ 40 จัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอ (S) และมันฝรั่งพันธุ์ Atlantic มีดัชนีความรุนแรงของโรคมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 100 จัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอ (S) เมื่อคำนวณค่า AUDPC พบว่า พันธุ์ CIP 398190.2 มีค่า AUDPC น้อยที่สุดเท่ากับ 782 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ Atlantic ($P \leq 0.05$) ที่มีค่า AUDPC สูงที่สุดเท่ากับ 2280 (Table 2)

ส่วนการทดสอบกับเชื้อราไอโซเลท Phrao3 พบว่า พันธุ์ CIP 398180.253, CIP 391002.6 และ CIP 398208.62 มีดัชนีความรุนแรงของโรคเท่ากับร้อยละ 31, 35 และ 35 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ Atlantic ($P \leq 0.05$) จัดอยู่ในกลุ่มต้านทานปานกลาง (MR) ในขณะที่มันฝรั่งพันธุ์ทดสอบอื่นๆ มีดัชนีความรุนแรงของโรคมากกว่าร้อยละ 40 จัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอ (S) และมันฝรั่งพันธุ์ Atlantic มีดัชนีความรุนแรงของโรคมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 100 จัดอยู่ใน

กลุ่มอ่อนแอ (S) เมื่อคำนวณค่า AUDPC พบว่า พันธุ์ CIP 391002.6 มีค่า AUDPC น้อยที่สุดเท่ากับ 621 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ Atlantic ($P \leq 0.05$) ที่มีค่า AUDPC สูงที่สุดเท่ากับ 2634 (Table 2)

สำหรับการทดสอบกับเชื้อราไอโซเลท MA6 พบว่า พันธุ์ CIP 398190.2, CIP 391002.6 และ CIP 398180.144 มีดัชนีความรุนแรงของโรคเท่ากับร้อยละ 31, 37 และ 37 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ Atlantic ($P \leq 0.05$) จัดอยู่ในกลุ่มต้านทานปานกลาง (MR) ในขณะที่มันฝรั่งพันธุ์ทดสอบอื่นๆ มีดัชนีความรุนแรงของโรคมากกว่าร้อยละ 40 จัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอ (S) และมันฝรั่งพันธุ์ Atlantic มีดัชนีความรุนแรงของโรคมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 100 จัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอ (S) เมื่อคำนวณค่า AUDPC พบว่า พันธุ์ CIP 391002.6 มีค่า AUDPC น้อยที่สุดเท่ากับ 739 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ Atlantic ($P \leq 0.05$) ที่มีค่า AUDPC สูงที่สุดเท่ากับ 2275 (Table 2)

การทดสอบกับเชื้อราไอโซเลท MS8 พบว่า พันธุ์ CIP 391002.6, CIP 398098.119, CIP 398190.2, CIP 398098.205 และ CIP 398180.144 มีดัชนีความรุนแรงของโรคเท่ากับร้อยละ 26, 26, 26, 33 และ 37 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ Atlantic ($P \leq 0.05$) จัดอยู่ในกลุ่มต้านทานปานกลาง (MR) ในขณะที่มันฝรั่งพันธุ์ทดสอบอื่นๆ มีดัชนีความรุนแรงของโรคมากกว่าร้อยละ 40 จัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอ (S) และมันฝรั่งพันธุ์ Atlantic มีดัชนีความรุนแรงของโรคมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 100 จัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอ (S) เมื่อคำนวณค่า AUDPC พบว่า พันธุ์ CIP 391002.6 มีค่า AUDPC น้อยที่สุดเท่ากับ 630 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ Atlantic ($P \leq 0.05$) ที่มีค่า AUDPC สูงที่สุดเท่ากับ 2604 (Table 2)

การประเมินความต้านทานของพันธุ์มันฝรั่งต่อโรคใบไหม้ด้วยการปลูกเชื้อราทั้ง 4 ไอโซเลท โดยใช้ข้อมูลดัชนีความรุนแรงของโรค (PSI) ในการจัดกลุ่มลักษณะ

ความต้านทานของพันธุ์มันฝรั่ง และค่าพื้นที่ใต้กราฟ พัฒนาการของโรค (AUDPC) ในการประเมินการลุกลาม และพัฒนาของโรคใบไหม้ในมันฝรั่งพบพันธุ์มันฝรั่งที่จัดอยู่ในระดับต้านทานปานกลาง (MR) จำนวน 7 พันธุ์ โดยมีค่าดัชนีความรุนแรงของโรคอยู่ในช่วง 21-40% ได้แก่ พันธุ์ CIP 391002.6 ต้านทานปานกลางต่อเชื้อราทั้ง 4 ไอโซเลท, CIP 398098.119 ต้านทานปานกลางต่อเชื้อรา ไอโซเลท KW3 และ MS8, CIP 398098.205 ต้านทานปานกลางต่อเชื้อราไอโซเลท MS8, CIP 398180.144 ต้านทานปานกลางต่อเชื้อราไอโซเลท MA6 และ MS8, CIP 398180.253 ต้านทานปานกลางต่อเชื้อราไอโซเลท Phrao3, CIP 398190.2 ต้านทานปานกลางต่อเชื้อรา ไอโซเลท KW3, MA6 และ MS8 และพันธุ์ CIP 398208.62 ต้านทานปานกลางต่อเชื้อราไอโซเลท Phrao3 และ MS8 ในขณะที่มันฝรั่งพันธุ์อื่นๆ สายต้น A3, A9 และพันธุ์ Atlantic จัดอยู่ในระดับอ่อนแอ (S) โดยมีดัชนีความรุนแรงของโรค $\geq 40\%$ ซึ่งแตกต่างจากการรายงานของ Jarintorn *et al.* (2016) ที่พบว่าสายต้น A3 และ A9 มีระดับการเกิดโรคใบไหม้เฉลี่ยต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบพันธุ์มันฝรั่งดังกล่าว ได้ทดสอบในสภาพแปลงที่อาศัยการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคตามธรรมชาติ โดยไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดการเกิดโรคใบไหม้ และสภาวะแวดล้อมได้ ดังที่ Perez *et al.* (2001) กล่าวว่า การทดสอบพันธุ์มันฝรั่งที่ไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้นั้น จะทำให้ผลการเปรียบเทียบพันธุ์ มีความคลาดเคลื่อน นอกจากนี้ Mohammed (2014) รายงานว่า เชื้อรา *P. infestans* นั้นมีวิวัฒนาการ โดยสามารถกลายพันธุ์ให้มีความรุนแรงมากขึ้นเพื่อเข้าทำลายพันธุ์มันฝรั่งที่มีความต้านทานโรคได้ จึงทำให้มันฝรั่ง

สายต้น A3 และ A9 ที่เคยมีรายงานว่ามีความต้านทานต่อโรคใบไหม้นั้น แสดงลักษณะอ่อนแอต่อเชื้อราทั้ง 4 ไอโซเลท ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

เมื่อพิจารณาค่า AUDPC ของกลุ่มพันธุ์มันฝรั่งที่ต้านทานปานกลาง (MR) ต่อเชื้อรา *P. infestans* พบว่า มันฝรั่งแต่ละพันธุ์จะมีค่า AUDPC ที่แตกต่างกันต่อเชื้อราแต่ละไอโซเลท จากผลการทดลองพบมันฝรั่งพันธุ์ CIP 391002.6 มีค่า AUDPC ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อทดสอบด้วยเชื้อราไอโซเลท Phrao3, MA6 และ MS8 ซึ่งมันฝรั่งพันธุ์ดังกล่าวมีลักษณะความต้านทานแบบ General resistance เป็นลักษณะที่มีความเหมาะสมในการคัดเลือกเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์มันฝรั่งที่ต้านทานต่อโรคใบไหม้ (Asefa *et al.*, 2016) และพันธุ์ CIP 398190.2 มีค่า AUDPC ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อทดสอบด้วยเชื้อราไอโซเลท KW3 (Figure 1) ซึ่งค่า AUDPC สามารถประเมินได้จากร้อยละการเกิดโรคที่พบในระยะเวลาที่แตกต่างกัน (CIP, 2006) เป็นการสรุปข้อมูลความรุนแรงของโรคเมื่อเวลาผ่านไปเพื่อใช้ในการจำแนกความต้านทานของมันฝรั่งแต่ละพันธุ์ต่อการเข้าทำลายของโรคได้ (Andre *et al.*, 2014) โดยค่า AUDPC ที่ต่ำจะแสดงแนวโน้มของความต้านทานต่อโรคใบไหม้ที่สูงขึ้นในพันธุ์มันฝรั่ง (Shrestha *et al.*, 2019) สอดคล้องกับ Jaime *et al.* (2014) ที่รายงานว่า พันธุ์มันฝรั่งที่มีค่า AUDPC สูงจะมีความอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรคที่มากกว่า โดยจากการวิจัยในครั้งนี้เห็นได้ว่าพันธุ์มันฝรั่งที่มีแนวโน้มต้านทานต่อโรคใบไหม้และมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นพ่อ-แม่พันธุ์ เพื่อการปรับปรุงพันธุ์มากที่สุด คือ พันธุ์ CIP 391002.6 รองลงมา คือ พันธุ์ CIP 398190.2

Table 2 Percent Severity Index (PSI) and area under the disease-progress curve (AUDPC) of potato varieties inoculated by *Phytophthora infestans* 4 isolates KW3, Phrao3, MA6 and MS8 under greenhouse condition in rainy season for 52 days after inoculation

Varieties	KW3		Phrao3		MA6		MS8	
	PSI ^{1/}	AUDPC ^{2/}	PSI	AUDPC	PSI	AUDPC	PSI	AUDPC
	(%)		(%)		(%)		(%)	
CIP 391002.6	33a ^{3/}	987abc	35ab	621a	37b	739a	26a	630a
CIP 398098.119	35ab	1218cdefg	40bc	739a	46c	1233cde	26a	664a
CIP 398098.205	40abc	915ab	42bcd	827abc	44c	852ab	33ab	743a
CIP 398180.144	44cd	1272defg	40bc	754ab	37b	1098bc	37bc	927abc
CIP 398180.253	49def	1040abcd	31a	883abcd	47c	1396defg	44c	1161cde
CIP 398180.292	42bc	1090bcde	42bcd	1222def	46c	1544fgh	42bc	1055bcd
CIP 398190.2	35ab	782a	40bc	681a	31a	830a	26a	749ab
CIP 398190.404	44cd	1466gh	46cde	1518fgh	46c	1389defg	42bc	1310def
CIP 398190.53	51ef	1322efgh	49de	1529fgh	58e	2066i	44c	1394ef
CIP 398190.605	44cd	1228cdefg	49de	1584gh	54de	1562fgh	44c	1362def
CIP 398190.735	44cd	1299defg	42bcd	1246efg	49cd	1148cd	46cd	1379ef
CIP 398192.41	46cde	1284defg	42bcd	1095bcde	44c	1327cdef	54d	1488f
CIP 398192.592	46cde	1298defg	49de	1253efg	49cd	1343cdef	46cd	1463ef
CIP 398193.65	44cd	1129bcdef	44cd	1323efgh	54de	1651gh	46cd	1489f
CIP 398201.51	54f	1455gh	46cde	1617h	56e	1433efg	44c	1352def
CIP 398208.62	44cd	1231cdefg	35ab	901abcd	44c	1240cde	33ab	702a
A3	51ef	1355fgh	54e	1368efgh	56e	1461efgh	71e	2013g
A9	54f	1577h	49de	1123cde	56e	1717h	74e	1956g
Atlantic	100g	2280i	100f	2634i	100f	2275i	100f	2604h
%CV	11.48	16.4	14.28	22.55	10.38	15.32	15.54	19.13
LSD_{0.05}	6.86	263.56	8.28	342.9	6.57	267.43	9.08	310.31

^{1/}percent severity index (PSI); ^{2/}area under the disease-progress curve (AUDPC); ^{3/}Means within the same column follow by different letters showed significantly different between treatment by LSD test at $P \leq 0.05$.

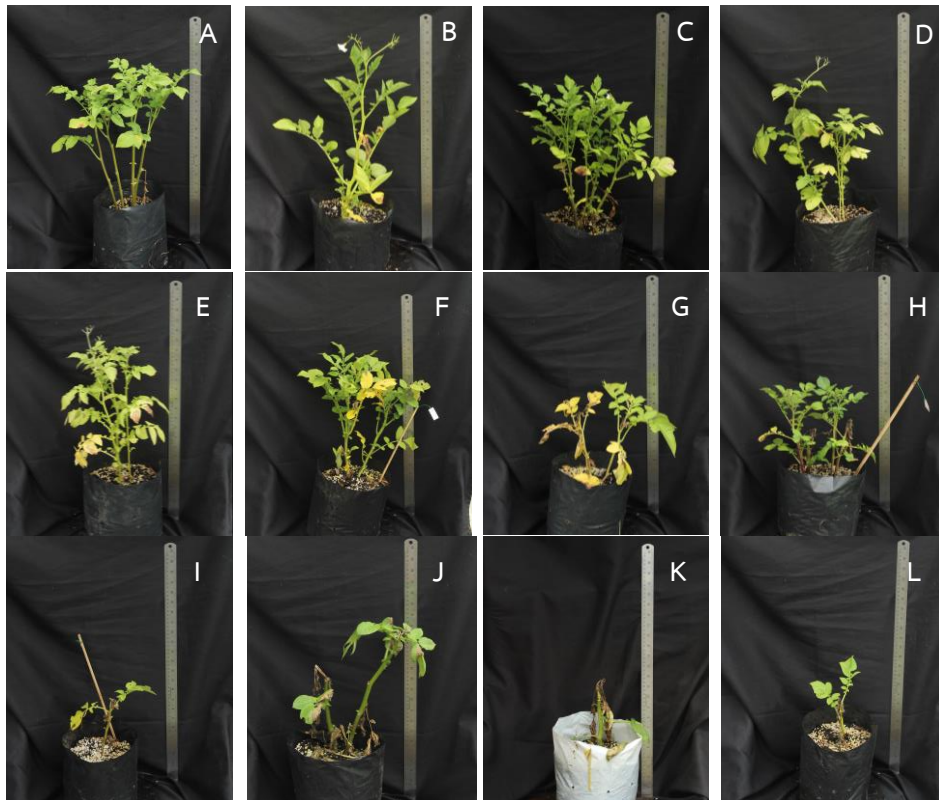


Figure 1 Comparison of potato varieties inoculated with *Phytophthora infestans* 4 isolates under greenhouse condition in rainy season at 30 days after inoculation; potato variety CIP 391002.6 inoculated with isolates KW3 (A), Phrao3 (B), MA6 (C) and MS8 (D), potato variety CIP 398190.2 inoculated with isolates KW3 (E), Phrao3 (F), MA6 (G) and MS8 (H) and Atlantic inoculated with isolates KW3 (I), Phrao3 (J), MA6 (K) and MS8 (L)

สรุปผลการวิจัย

การประเมินความต้านทานของพันธุ์มันฝรั่งต่อโรคใบไหม้ในสภาพโรงเรือน สามารถคัดเลือกพันธุ์มันฝรั่งที่มีความต้านทานต่อเชื้อรา *P. infestans* จำนวน 4 ไอโซเลต ที่มีความต้านทานต่อเชื้อราในระดับปานกลาง จำนวน 1 พันธุ์ คือ CIP 391002.6 ซึ่งพันธุ์ดังกล่าวมีแนวโน้มของความต้านทานที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้เพื่อเป็นแหล่งพันธุกรรมสำหรับการปรับปรุงพันธุ์มันฝรั่งให้มีความต้านทานต่อโรคใบไหม้ต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ และศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ ภูมิวิชาการเกษตร ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Andre, D., K. Peter and O. Oscar. 2014. Potatoes for sustainable global food security. **Potato Research** 57: 185-199.
- Asefa, G., W. Mohammed and T. Abebe. 2016. Evaluation of potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes for resistance to late blight at Sinana Southeastern Ethiopia. **International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology** 6(1): 21-25.
- Bradshaw, J.E. and M. Bonierbale. 2010. Potatoes. pp. 1-52. In Bradshaw, J.E. (ed.). **Root and Tuber Crops**. New York: Springer.
- Campbell, C.L. and L.V. Madden. 1990. **Introduction to Plant Disease Epidemiology**. New York: Wiley-Interscience. 532 p.
- CIP. 2006. **Procedures for Standard Evaluation Trials of Advanced Potato Clones**. Lima: International Potato Center. 124 p.
- Department of Agriculture. 2020. **Information of certified and recommend plant**. [Online]. Available <http://doa.go.th/cv/view.php?id=60> (23 June 2020). [in Thai]
- Ethel, N.W., D. Kariuki, J. Kinyua, A. Njoroge, M. Ghislain and E. Magembe. 2019. Extreme resistance to late blight disease by transferring 3 R genes from wild relatives into African farmer-preferred potato varieties. **African Journal of Biotechnology** 18(29): 845-846.
- Henfling, J.W. 1987. **Late Blight of Potato (*Phytophthora infestans*)**. Lima: International Potato Center. 25 p.
- Jaimasit, P. and W. Prakob. 2011. Characterization of *Phytophthora infestans* population in potato crops from Chiang Mai and Tak provinces. **Journal of Agricultural Technology** 7(2): 431-439.
- Jaime, S., A. Ivette, E. Florence and B. Philippe. 2014. Resistance to *Phytophthora infestans* in *Solanum tuberosum* landraces in Southern Chile. **Tropical Plant Pathology** 39(4): 307-315.
- Jarinthorn, S., O. Wongmetha, A. Pueakpong, M. Harntaewee, V. Panuampai, C. Promma, C. Kanoeithip, W. Udomdee, S. Rattanaburi and K. Saeyang. 2016. **Research and development of potato breeding and potato production**. [Online]. Available <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2151> (29 April 2020). [in Thai]

- Kuarayakul, S., V. Panuampai, S. Sanguanrungrasirikul, R. Khanthahut and S. Jarinthorn. 2011. **Reaction of selected clones of potato cv. Atlantic to late blight**. [Online]. Available <http://www.doa.go.th/research/showthread.php?tid=868> (25 August 2018). [in Thai]
- Lhakchaiyagul, A. and O. Wongmetha. 2014. Practice management. pp. 63-101. In Lhakchaiyagul, A. (ed.). **Potato Cultivation Manual**. Bangkok: The Agricultural Cooperative Federation of Thailand Ltd. [in Thai]
- Lhakchaiyagul, A. and S. Paein-Jarean. 2014. Potato. pp. 1-19. In Lhakchaiyagul, A. (ed.). **Potato Cultivation Manual**. Bangkok: The Agricultural Cooperative Federation of Thailand Ltd. [in Thai]
- Mohammed, W. 2014. Genetic variability in potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes for late blight [*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary] resistance and yield at Haramaya, Eastern Ethiopia. **East African Journal of Sciences** 8(1): 13-28.
- Mohan, C. and T.S. Thind. 1999. Resistance and relative performance of some new fungicides for active management of potato late blight in Punjab. **Indian Journal of Mycology and Plant Pathology** 29(1): 23-37.
- Office of Agricultural Economics. 2017. **The Situation of Major Agricultural Products and trends in 2018**. Bangkok: Bureau of Agricultural Economic Research, Office of Agricultural Economics. 227 p. [in Thai]
- Orozco, L.F.O., L.A.R. Franco and J.M.C. Torres. 2013. Evaluation of the heritability of resistance to *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary in a population of *Solanum phureja* Juz et Buk. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín** 66(1): 6833-6843.
- Perez, W.A., A. Salas, R. Raymundo, Z. Huaman, R. Nelson and M. Bonierbale. 2001. **Evaluation of Wild Potato Species for Resistance to Late Blight**. Lima: International Potato Center. 62 p.
- Sharma, B.P., G.A. Forbes, H.K. Manandhar, S.M. Shrestha and R.B. Thapa. 2013. Determination of resistance to *Phytophthora infestans* on potato plants in field, laboratory and greenhouse conditions. **Journal of Agricultural Science** 5(5): 148-157.
- Shrestha, S., H.K. Manandhar, S.M. Shrestha and A. Karkee. 2019. Response of local potato cultivars to late blight disease (*Phytophthora infestans* (mont.) De bary) under field and laboratory conditions at Pakhribas, Dhankuta, Nepal. **Advances in Cytology & Pathology** 4(1):10-13.

Soytong, K. and K. Ratanacherdchai. 2005.

Application of mycofungicide
to control late blight of potato.

Journal of Agricultural Technology
1(1): 19-32.

Van der Plank, J.E. 1963. **Plant Disease:**

Epidemics and Control. New York:
Academic Press. 349 p.

Vleeshouwers, V.G.A.A., W. Van Dooijeweert,

L.C.P. Keizer, L. Sijpkens, F. Govers and

L.T. Colon. 1999. A laboratory assay

for *Phytophthora infestans* resistance

in various *Solanum* species reflects

the field situation. **European Journal**

of Plant Pathology 105(3): 241-250.

Wongmetha, O., N. Chot-im-udom, S. Youngpong

and T. Ruangkul. 2019. The influence

of plant growth regulators on increase

of microtuber induction in potato.

Thai Agricultural Research Journal

37(1): 70-77. [in Thai]

การขาดฟอสฟอรัสในพืชกับบทบาทของแบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต Phosphorus Deficiency in Plant and Roles of Phosphate-solubilizing Bacteria

ขนิษฐา สมตระกูล¹ และวารภรณ์ จุ้ยฉาย^{2*}

Khanitta Somtrakoon¹ and Waraporn Chouychai^{2*}

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กันทรวิชัย มหาสารคาม 44150

²สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

¹Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai, Mahasarakham, Thailand 44150

²Biology Program, Faculty of Science and Technology, Nakhonsawan Rajabhat University, Nakhonsawan, Thailand 60000

*Corresponding author: waraporn.c@nsru.ac.th

Received: April 23, 2020

Revised: October 22, 2020

Accepted: November 25, 2020

Abstract

Phosphorus is critical component in plant biomolecules which often found in soil as inorganic phosphate. However, inorganic phosphate is not soluble and phosphorus deficiency is the important problem of plant growth. Some plants were adapted in phosphorus deficiency condition by symbiosis with mycorrhiza fungi and cluster root production. Another way to increase crops growth in phosphorus deficiency condition is phosphate fertilizer application but it could increase water pollution. Therefore, the used of phosphate-solubilizing bacteria with crop plant are more appropriate method. In this article, the mechanism and example of phosphate-solubilizing bacteria used in agricultural propose. The important mechanisms in phosphate solubilization were chemical production, such as acid, for inorganic phosphate solubilization and enzyme production for organic phosphate solubilization. However, phosphate solubilization capacity of phosphate-solubilizing bacteria depend on several environmental factors.

Keywords: economic crops, phosphate-solubilizing bacteria, plant growth promoting bacteria

บทคัดย่อ

ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในสารชีวโมเลกุลของพืช รูปที่พบบ่อยในดิน คือ รูปฟอสเฟตอนินทรีย์ แต่เนื่องจากฟอสเฟตอนินทรีย์มักพบในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้การขาดฟอสฟอรัสเป็นปัญหาที่สำคัญในพืช พืชบางชนิดมีการปรับตัวเพื่อแก้ปัญหการขาดแคลน

ฟอสฟอรัสโดยการอยู่ร่วมกับเชื้อราไมคอร์ไรซาและการสร้างรากกลุ่ม (Cluster root) ในขณะที่การเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจในสภาวะขาดฟอสฟอรัสด้วยการเพิ่มปุ๋ยฟอสเฟตทำให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้แบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตกับพืชเศรษฐกิจจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหามากกว่า ในบทความนี้ได้รวบรวมกลไก

และตัวอย่างการใช้แบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตทางการเกษตร กลไกสำคัญในการละลายฟอสเฟตได้แก่การสร้างสารเคมี เช่น กรดเพื่อละลายฟอสเฟตอนินทรีย์ และการสร้างเอนไซม์เพื่อละลายฟอสเฟตอินทรีย์ อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรียกลุ่มละลายฟอสเฟตขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมหลายประการ

คำสำคัญ: พืชเศรษฐกิจ แบคทีเรียละลายฟอสเฟต
แบคทีเรียกลุ่มสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืช

คำนำ

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต โดยเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นในทุกระยะการเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืช ธาตุฟอสฟอรัสพบเป็นองค์ประกอบของพืชถึงร้อยละ 0.2-0.8 ของน้ำหนักเซลล์แห้ง ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดนิวคลีอิก เอนไซม์ โคเอนไซม์ นิวคลีโอไทด์ และฟอสโฟลิปิด (Satyaprakash *et al.*, 2017; Kalayu, 2019) นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึม สรีรวิทยา และพัฒนาการของพืชด้วย เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง เมแทบอลิซึมของคาร์บอน การสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ และการยืดยาวของราก เป็นต้น ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ที่ดูดซึมโดยพืชจะถูกสะสมไว้ในเมล็ดพืชในรูปของกรดไฟติก (Phytic acid) ซึ่งเป็นรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ (Ingle and Padole, 2017) ฟอสฟอรัสที่พบในดินมีอยู่ในปริมาณร้อยละ 0.5 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) โดยมักพบในรูปของฟอสเฟต (Phosphate) ซึ่งเป็นรูปที่ถูกออกซิไดส์อย่างสมบูรณ์ ในจำนวนของฟอสฟอรัสที่พบในดินนี้มีธาตุฟอสฟอรัสเพียงหนึ่งในสิบส่วนเท่านั้นที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ในดินปรากฏอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ โดยสร้างพันธะเป็นสารประกอบฟอสเฟตอนินทรีย์อยู่กับธาตุเหล็ก อะลูมิเนียมในดินกรด และแคลเซียมในดินด่าง หรืออยู่ในรูปของสารประกอบ

ฟอสเฟตอินทรีย์ เช่น น้ำตาลฟอสเฟต (Sugar phosphate) กรดไฟติก พอลิฟอสเฟต (Polyphosphate) และฟอสโฟเนต (Phosphonate) เป็นต้น (Kalayu, 2019) พืชใช้ฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตไอออน (Phosphate anion) โดยเฉพาะออร์โทฟอสเฟต (Orthophosphate) ได้แก่ โมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) และไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (H_2PO_4^-) เป็นรูปที่ถูกพืชดูดซึมไปใช้งานได้มากที่สุด (Alori *et al.*, 2017; Kalayu, 2019) ซึ่งมีอยู่น้อยมาก ทำให้พืชมีโอกาสที่จะเผชิญกับการขาดแคลนฟอสฟอรัสได้ง่าย พืชที่ขาดฟอสฟอรัสจะมีอาการลำต้นแคระแกร็น ใบแก่เป็นสีม่วงแล้วกลายเป็นสีน้ำตาล ไม่ออกดอกและติดผล อย่างไรก็ตาม พืชและจุลินทรีย์บางชนิดมีกลไกที่สามารถละลายฟอสเฟตทั้งฟอสเฟตอินทรีย์และฟอสเฟตอนินทรีย์ให้ได้ฟอสเฟตไอออนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งองค์ความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของการขาดแคลนฟอสฟอรัสในพืช และการแก้ปัญหาด้วยการใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตจะเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ทางการเกษตร เพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจต่อไป

การตอบสนองของพืชในสภาวะขาดแคลนฟอสฟอรัส

การที่ฟอสฟอรัสในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปฟอสเฟตอนินทรีย์ ซึ่งเป็นรูปที่สิ่งมีชีวิตนำมาใช้ประโยชน์ได้น้อยและเคลื่อนที่ได้ยากโดยปริมาณฟอสเฟตอนินทรีย์ในดินมีอยู่เพียงประมาณ 1-10 ไมโครโมลาร์ในสารละลายดิน ทำให้พืชเกิดสภาวะขาดแคลนฟอสฟอรัสได้ การที่ฟอสเฟตเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ยากเพราะจะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำกับไอออนประจุบวก เช่น อะลูมิเนียม เหล็ก ในสภาวะที่เป็นกรด และแคลเซียมในสภาวะที่เป็นด่าง (Péret *et al.*, 2011) นอกจากนั้นการขาดฟอสฟอรัสยังทำให้พืชขาดโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมได้ด้วย (Onthong and Osaki, 2006) ฟอสฟอรัสจึงเป็นปัจจัยจำกัดของการเจริญเติบโตและพัฒนาการในพืช ดังนั้นพืชจึงต้องมีการปรับตัวทั้งด้านสรีรวิทยาและสัณฐานวิทยา เพื่อลดการใช้ฟอสเฟตและ

เพิ่มการนำฟอสเฟตเข้าสู่เซลล์และนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น การยับยั้งการเจริญเติบโตของรากแก้ว เพิ่มการสร้างรากแขนง เพิ่มจำนวนขนราก เพื่อเพิ่มการนำฟอสเฟตไปใช้ โครงสร้างของรากพืชมีการปรับเปลี่ยนไปตามปริมาณฟอสเฟต เกิดการเปลี่ยนอัตราการเจริญเติบโตของรากตอยอด (Root-to-shoot growth ratio) ซึ่งเป็นการตอบสนองโดยทั่วไปของพืชเมื่อมีการขาดแคลนธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสเฟต หรือกำมะถัน ทำให้น้ำหนักแห้งของรากเพิ่มขึ้นหรือมีการเจริญเติบโตของรากมากขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่ารากแก้วจะแตกรากแขนงมากขึ้นและมีขนรากมากขึ้น ทำให้รากแผ่ขยายไปในดินชั้นบนที่มีฟอสเฟตสะสมอยู่ได้ดีขึ้น ทั้งนี้การขาดธาตุอาหารที่จำเป็น เช่น เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และฟอสฟอรัส จะกระตุ้นการสร้างขนราก ซึ่งฟอสเฟตจะมีผลมากต่อทั้งความยาวและความหนาแน่นของขนราก ความหนาแน่นของขนรากจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฟอสเฟตที่นำไปใช้ได้ดินลดลง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซึมของราก และประสิทธิภาพการดูดซึมของขนรากยังเพิ่มขึ้นด้วย การเพิ่มความหนาแน่นของขนรากเกิดจากการลดความยาวของเซลล์ในชั้นอีพิเดอร์มิสเมื่อปริมาณฟอสเฟตลดลง (Péret *et al.*, 2011) ซึ่งทำให้มีจำนวนขนรากมากขึ้นต่อหน่วยความยาวของราก และขนรากยาวขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ชีวมวลของยอดลดลงและลดการสะสมฟอสฟอรัสในพืช (Zhu *et al.*, 2020) จากการทดลองปลูกข้าว 4 สายพันธุ์ ในสารละลายธาตุอาหารที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่างกันเป็นเวลา 28 วัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของรากอย่างชัดเจน โดยข้าวที่ปลูกในสารละลายที่มีฟอสฟอรัสร้อยละ 0 ทำให้รากพืชมีความยาวมากกว่า แต่จำนวนรากตอยอดน้อยกว่า และมีอัตราส่วนของน้ำหนักแห้งระหว่างรากตอยอดมากกว่าข้าวที่ปลูกในสารละลายที่มีฟอสฟอรัส ร้อยละ 50-200 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในสภาวะที่ขาดฟอสฟอรัส พืชสร้างรากใหม่ได้น้อย จึงเพิ่มความยาวของรากแทนในการหาธาตุอาหารให้พอเพียงกับการเจริญเติบโต นอกจากนั้น

อัตราส่วนของน้ำหนักแห้งระหว่างรากตอยอดที่สูงแสดงให้เห็นว่าข้าวต้องใช้รากปริมาณมากในการสร้างยอดเมื่อขาดแคลนฟอสฟอรัส (Bobeautong *et al.*, 2017)

นอกจากนี้ในสภาวะที่ขาดฟอสฟอรัสกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชจะเปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน เมื่อในดินมีฟอสเฟตมาก ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและกิจกรรมของเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์น้ำตาลในรากจะเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณ ATP ในรากลดลง เมื่อฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ได้ดินต่ำลง ลดการเจริญของปมและลดกิจกรรมของเอนไซม์ไนโตรจีเนสที่ปมรากถั่วเหลือง ถั่วโคลเวอร์ขาวที่เจริญเติบโตในสภาวะที่ฟอสฟอรัสจำกัดจะมีความเข้มข้นของกรดอะมิโนในเนื้อเยื่อรากสูงขึ้น รวมทั้งยังส่งผลต่อการปรับแรงดันออสโมติกของรากและการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระ หมวกรากเป็นบริเวณที่รับสัญญาณจากฟอสฟอรัสที่อยู่ภายนอกแรงดันออสโมติกของของเหลวในเซลล์ของหมวกรากจะขึ้นกับปริมาณฟอสฟอรัส การขาดฟอสฟอรัสจะเพิ่มการไหลของโปรตอนออกจากราก ทำให้ไรโซสเฟียร์เป็นกรดซึ่งจะทำให้ธาตุอาหารต่างๆ ในดินอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้มากขึ้น (Zhu *et al.*, 2020) การหลั่งกรดอินทรีย์จากราก เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดอะโคนิติก (Aconitic acid) กรดซิตริก (Citric acid) กรดฟูมาริก (Fumaric acid) กรดไกลโคลิก (Glycolic acid) กรดแลกติก (Lactic acid) กรดมาลิก (Malic acid) กรดออกซาลิก (Oxalic acid) และกรดซักซินิก (Succinic acid) จะเพิ่มขึ้นเมื่อขาดแคลนฟอสฟอรัสในพืชหลายสปีชีส์ เมื่อพืชเผชิญกับสภาวะขาดแคลนฟอสฟอรัส การหลั่งกรดออกจากรากจะเพิ่มขึ้น เช่น การหลั่งกรดซิตริกและกรดมาลิกจะเพิ่มขึ้นในบริเวณรากของ *Brassica napus* ทำให้ดูดซับฟอสฟอรัสจากดินฟอสเฟตได้ดีขึ้น ใน *Raghanus sativus* จะหลั่งกรดมาลิกและกรดซักซินิกเพิ่มขึ้น 60 และ 15 เท่า (Zhang *et al.*, 1997) ถั่วเหลืองจีโนไทป์ที่เจริญเติบโตได้ดีในดินที่ขาดแคลนฟอสฟอรัสจะยังมีการดูดซึมฟอสเฟตเพิ่มขึ้นและสังเคราะห์น้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นในสภาวะดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบกับ

ถั่วเหลืองจีโนไทป์ที่เจริญเติบโตได้ไม่ดีในสภาวะเดียวกัน (Zhu *et al.*, 2020) อย่างไรก็ตามหญ้าและถั่วในเขตร้อนส่วนใหญ่ไม่พบการหลังกรดอินทรีย์ที่ราก แต่พบการหลังกรดอินทรีย์จากรากของไม้ยืนต้น เช่น การหลังกรดซิตริกจากรากของกระถินเทพา (*Acacia mangium*) กรดออกซาลิกจากรากของมะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale*) และยางพารา (*Hevea brasiliensis*) และพบการหลังเอนไซม์ฟอสฟาเทสจากรากของถั่วฮามาต้า (*Stylosanthes hamata*) (Onthong and Osaki, 2006)

พืชบางชนิดปรับตัวโดยการอยู่ร่วมกับไมคอร์ไรซาเพื่อเพิ่มการดูดซึมฟอสเฟตไอออน ส่วนในกลุ่มของพืชที่ไม่อยู่ร่วมกับไมคอร์ไรซาในบางวงศ์ (Family) เช่น Proteaceae, Casuarinaceae, Fabaceae และ Myricaceae จะสร้างรากกลุ่ม (Cluster root) ที่รากแขนง เพื่อเพิ่มการดูดซึมฟอสเฟต (Péret *et al.*, 2011) รากกลุ่มเป็นรากที่แตกแขนงในลักษณะคล้ายแปรงล้างขวด ซึ่งแตกออกมาจากชั้นเพอริไซเคิลของรากแขนง เป็นการปรับตัวที่สำคัญของพืชเพื่อตอบสนองต่อสภาวะที่ขาดแคลนฟอสฟอรัส การทำงานของรากกลุ่มที่สำคัญ ได้แก่ เพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อเพิ่มการนำธาตุอาหารเข้าสู่พืช เพิ่มการเคลื่อนที่ของฟอสเฟตโดยการหลั่งสารจำพวกคาร์บอกซิเลตจำนวนมาก เพื่อให้ไรโซสเฟียร์อยู่ในสภาวะเป็นกรด หลังเอนไซม์ฟอสฟาเทสเพื่อย่อยสลายสารประกอบฟอสเฟตอินทรีย์ และหลั่งสารจำพวกฟีนอลิกและมูซิเลจ รากกลุ่มของพืชบางชนิด เช่น *Lupinus albus* จะหลั่งซิเตรตออกมาเป็นปริมาณมากคิดเป็นร้อยละ 11-23 ของน้ำหนักแห้งของพืชทั้งหมด ขึ้นกับอายุของพืชและระดับการขาดแคลนฟอสฟอรัส ซิเตรตจะเพิ่มฟอสฟอรัสในรูปแบบที่นำไปใช้ได้ โดยการทำให้ฟอสฟอรัสที่จับอยู่กับเหล็ก อะลูมิเนียม และแคลเซียมละลายออกมาด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ทำหน้าที่เป็นคีเลตจับกับไอออนบวกของโลหะในส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ในดิน และป้องกันการกลับไปดูดซับกันใหม่และการตกตะกอนของฟอสเฟตอินทรีย์ (Shu *et al.*, 2007; Sousa *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตามสำหรับพืชที่ไม่ได้สร้างรากกลุ่ม

การอยู่ร่วมกับจุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟตได้ จะมีประโยชน์ต่อพืชในการเพิ่มการนำฟอสเฟตไปใช้ในการเจริญเติบโต

บทบาทของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต

ดินที่มีการทำเกษตรกรรมและมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสต่ำจะถูกเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในรูปของปุ๋ยฟอสเฟต อย่างไรก็ตามปุ๋ยฟอสเฟตที่เติมลงไปดินถึงร้อยละ 75-90 พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ ปุ๋ยฟอสเฟตที่ใช้ไปในการทำเกษตรส่วนใหญ่จะร่วงไว้ในการทำปฏิกิริยา โดยจะตกตะกอนร่วมกับโลหะที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำแล้วจึงถูกตรึงเข้ากับดิน เช่น ตกตะกอนร่วมกับแคลเซียม (Ca^{2+}) ในดินต่างได้เป็นแคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) ส่วนในดินกรดมักตกตะกอนร่วมกับอะลูมิเนียม (Al^{3+}) และธาตุเหล็ก (Fe^{3+}) ได้เป็นอะลูมิเนียมฟอสเฟต (AlPO_4) และเฟอร์รัสฟอสเฟต (FePO_4) (Satyaprakash *et al.*, 2017; Kalayu, 2019) ข้อเสียอื่นๆ ของการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรที่มากเกินไป คือ จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยทำให้เกิดมลภาวะทางน้ำและทำให้เกิดยูโทรฟิเคชันได้ ดังนั้นการใช้จุลินทรีย์กลุ่มสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืชที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตเป็นทางเลือกหนึ่งที่เข้ามาแทนการใช้ปุ๋ยเคมี (Alori *et al.*, 2017)

จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตมีทั้งแบคทีเรียและเชื้อรา โดยในดินจะพบแบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตอยู่ร้อยละ 1-50 ของประชากรแบคทีเรียทั้งหมด ส่วนเชื้อราพบเพียงร้อยละ 0.1-0.5 ของประชากรเชื้อราทั้งหมด จุลินทรีย์กลุ่มนี้มักคัดแยกได้จากดินทั้งดินรอบรากพืชและดินรอบนอกรากพืช บริเวณพื้นผิวรากพืช รวมทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของพืช เป็นต้น (Sharma *et al.*, 2013) เช่น แบคทีเรียในสกุล (Genus) *Acinetobacter*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Sinorhizobium* และ *Staphylococcus* คัดแยกได้จากดินรอบรากดอกคำฝอย (*Carthamus tinctorious* L.) (Zhang *et al.*, 2019)

แบคทีเรียในสกุล *Serratia* คัดแยกได้จากปมรากถั่วลิสง (*Arachis hypogaea* L.) (Ludueña *et al.*, 2018) และแบคทีเรียในสกุล *Bacillus* ซึ่งคัดแยกได้จากดินที่ปลูกผักชีล้อม (*Foeniculum vulgare* Mill.) (Mishra *et al.*, 2016) ตัวอย่างสกุลของเชื้อราที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต เช่น *Aspergillus* และ *Penicillium* ซึ่งคัดแยกได้จากดินรอบรากของกะหล่ำปลี (*Brassica integrifolia*) ถั่วปากอ้า (*Vicia faba* L.) ถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris* L.) อ้อย (*Saccharum officinarum* L.) และมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Elias *et al.*, 2016) ถึงแม้ว่าเชื้อราจะมีประชากรเพียงจำนวนน้อยเท่านั้นที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตได้ แต่ความสามารถในการละลายฟอสเฟตของเชื้อรามักไม่สูญหายไประหว่างการถ่ายหัวเชื้อในห้องปฏิบัติการ (Sharma *et al.*, 2013)

กลไกการละลายฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์กลุ่มสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืช

กลไกการละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) การละลายฟอสเฟตที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์จะอาศัยกลไกการผลิตสารที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต เช่น กรดอินทรีย์ที่มีประจุลบไฮเดรโอฟอร์ และโปรตอน เป็นต้น และ 2) การละลายฟอสเฟตที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์มักอาศัยการผลิตเอนไซม์จากจุลินทรีย์แล้วขับออกนอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ (Sharma *et al.*, 2013)

การผลิตกรดอินทรีย์จากจุลินทรีย์เป็นเมแทบอลิต์จากกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์จากกระบวนการหมักหรือกระบวนการหายใจระดับเซลล์เมื่อเจริญบนซับสเตรตที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น กลูโคส (Kalayu, 2019) กรดอินทรีย์มีบทบาทในการละลายฟอสเฟตได้จากกลไกต่างๆ ดังนี้ 1) กรดอินทรีย์ที่ขับออกจากเซลล์จุลินทรีย์ทำให้พีเอชในเซลล์และสิ่งแวดล้อมโดยรวมลดต่ำลง สภาวะที่เป็นกรดทำให้เกิดการ

ปลดปล่อยฟอสเฟตได้จากปฏิกิริยาการแทนที่โดยโปรตอนในตำแหน่งที่มีไอออนของประจุบวกจับอยู่กับฟอสเฟต ฟอสเฟตจึงหลุดออกมาจากปฏิกิริยาการแทนที่โปรตอนกับแคลเซียมที่จับกับฟอสเฟตไว้ (Alori *et al.*, 2017; Satyaprakash *et al.*, 2017) 2) กรดอินทรีย์ที่ถูกผลิตขึ้นจากจุลินทรีย์จะเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตออกมา จากนั้นจะเปลี่ยนฟอสเฟตไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้โดยเกิดการคีเลชัน (Chelation) กรดอินทรีย์และกรดอินทรีย์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตสามารถละลายฟอสเฟตได้โดยเกิดปฏิกิริยาคีเลชันกับแคตไอออนที่จับอยู่กับสารประกอบของฟอสเฟตในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน เช่น เหล็ก (Fe^{3+}) อะลูมิเนียม (Al^{3+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) (Sharma *et al.*, 2013) 3) กรดอินทรีย์ที่มีประจุลบเกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุลบกับฟอสเฟตในตำแหน่งที่ฟอสเฟตชอบจับในดิน และ 4) กรดอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) หรือคาร์บอกซิล (Carboxyl group) มีความสามารถในการจับกับประจุบวกที่จับอยู่กับฟอสเฟต ทำให้ฟอสเฟตเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ (Kalayu, 2019)

ประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟตขึ้นอยู่กับความแรงและชนิดของกรด โดยกรดไตรคาร์บอกซิลิก (Tricarboxylic acid) และไดคาร์บอกซิลิก (Dicarboxylic acid) มีศักยภาพในการละลายฟอสเฟตมากกว่ากรดโมโนเบสิก (Monobasic acid) และกรดอะโรมาติก (Aromatic acid) นอกจากนี้ยังพบว่ากรดอะลิฟาติก (Aliphatic acid) มีประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟตมากกว่ากรดฟีนอลิก (Phenolic acid) กรดซิตริก และกรดฟูมาริก (Kalayu, 2019) โดยกรดกลูโคนิกเป็นชนิดของกรดที่มีบทบาทในการละลายฟอสเฟตมาก โดยทำหน้าที่เป็นสารคีเลต คือ จับกับโลหะที่จับอยู่กับฟอสเฟตทำให้ฟอสเฟตหลุดออกและถูกนำไปใช้โดยพืชได้ (Alori *et al.*, 2017) กรดอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่มีบทบาทในการละลายฟอสเฟต ได้แก่ กรดออกซาลิก กรดซัคซินิก และกรดซิตริก เป็นต้น โดยแบคทีเรียแต่ละชนิดจะสร้างกรด

ที่ช่วยในการละลายฟอสเฟตต่างกันไป ตัวอย่างเช่น *Bacillus megaterium* สามารถละลายฟอสเฟตได้ดี แต่สร้างกรดที่เกี่ยวข้องกับการละลายฟอสเฟตโดยทั่วไป คือ กรดกลูโคนิก กรดซิตริก และกรดออกซาลิกได้น้อย กรดที่สร้างได้มาก คือ กรดซักซินิก กรดแลกติก และกรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) โดยการหลั่งกรดซักซินิก มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับการละลายฟอสเฟต จึงเป็นกรดที่สำคัญในการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรียชนิดนี้ (Zheng *et al.*, 2018) นอกจากกรดอินทรีย์แล้วกรดอนินทรีย์ เช่น กรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟิวริก มีบทบาทในการละลายฟอสเฟตเช่นกัน (Sharma *et al.*, 2013) อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์อาจใช้กลไกอื่นๆ ในการละลายฟอสเฟตร่วมด้วย เช่น การผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จากจุลินทรีย์สามารถทำปฏิกิริยากับเฟอริกฟอสเฟต (Ferric phosphate) ได้เป็นเฟอรัสซัลเฟต (Ferrous sulfate) แล้วจึงปลดปล่อยฟอสเฟตอิสระออกมา (Ingle and Padole, 2017) ปฏิกิริยาการขับโปรตอนออกจากเซลล์จากกระบวนการนำแอมโมเนียมเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์ (Ammonium assimilation) และกระบวนการหายใจระดับเซลล์เป็นอีกกลไกหนึ่งที่มีบทบาทในการละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์ (Sharma *et al.*, 2013)

สารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่พบในดินสูงถึงร้อยละ 30-50 ของฟอสฟอรัสทั้งหมดส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอินโนซิทอลฟอสเฟต (Inositol phosphate) (Alori *et al.*, 2017) สารอินทรีย์ที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบอื่นๆ เช่น กรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิปิด น้ำตาลฟอสเฟต กรดไฟติก พอลิฟอสเฟต และฟอสโฟเนต (Kalayu, 2019) สารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบมักย่อยสลายยากเนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลสูง สารอินทรีย์ฟอสเฟตเหล่านี้ต้องถูกย่อยสลายไปเป็นฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) โมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต หรือเป็นสารอินทรีย์ฟอสเฟตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำก่อนจึงจะถูกนำเข้าสู่เซลล์พืชได้ (Alori *et al.*, 2017) เอนไซม์ที่มีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ได้แก่

เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ดึงหมู่ฟอสเฟตออกจากพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ (Phosphodiester) หรือพันธะฟอสโฟไฮไดรด์ (Phosphohydride) ตัวอย่างเอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ เอนไซม์ฟอสฟาเทส (phosphatase) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเอนไซม์ฟอสโฟโมโนเอสเทอเรส (Phosphomonoesterase) (Alori *et al.*, 2017) เอนไซม์อีกชนิดที่มีบทบาทย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เอนไซม์ไฟเทส (Phytase) ทำหน้าที่ย่อยสลายฟอสเฟตที่อยู่ในรูปของกรดไฟติก (Phytic acid) เอนไซม์อีกชนิดหนึ่ง ได้แก่ เอนไซม์ฟอสโฟนาเทส (Phosphonate) และคาร์บอน-ฟอสฟอรัสไลเอส (Carbon-phosphorus lyase) จะทำหน้าที่ทำลายพันธะระหว่างคาร์บอนและฟอสฟอรัสในสารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ (Ingle and Padole, 2017)

การใช้งานแบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต

แบคทีเรียที่ละลายฟอสเฟตได้มักมีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในลักษณะอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ความสามารถในการผลิตไซโตโครฟอร์ ความสามารถในการผลิตสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และความสามารถในการผลิตสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคพืช เป็นต้น ดังนั้นผลส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยแบคทีเรียกลุ่มละลายฟอสเฟตอาจเป็นผลร่วมกันจากความสามารถอื่นๆ ของแบคทีเรียด้วย (Taurian *et al.*, 2010) ความสามารถในการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรียกลุ่มละลายฟอสเฟตขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมด้วย เช่น ปฏิสัมพันธ์กับจุลินทรีย์ชนิดอื่นในดิน ระยะเวลาในการปลูกพืช สภาพทางนิเวศวิทยา สภาพภูมิอากาศ ชนิดของดิน ชนิดของพืช ลักษณะการทำเกษตรกรรม และลักษณะการใช้ที่ดิน เป็นต้น (Alori *et al.*, 2017) แบคทีเรียที่ละลายฟอสเฟตพบมากในดินที่มีความชื้นมากกว่าดินที่แห้งแล้ง เนื่องจากบริเวณที่มีสภาวะอากาศแบบแห้งแล้งจะขาดแคลนสารอินทรีย์ รวมทั้งยังเป็นสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งจำกัด

การเจริญของจุลินทรีย์ด้วย (Satyaprakash *et al.*, 2017) เช่น แบคทีเรีย *Acinetobacter* sp. L176, *Pantoea* sp. J49 และ *Serratia* sp. J260 ละลายฟอสเฟตได้เมื่อเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 37°C. แต่ไม่สามารถละลายฟอสเฟตได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 42°C. เนื่องจากเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย (Anzuay *et al.*, 2017)

แบคทีเรียกลุ่มละลายฟอสเฟตมักจะคัดแยกจากดินบริเวณรอบรากพืชและช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชหลายชนิด ทั้งพืชที่คัดแยกมาและพืชชนิดอื่น เช่น *Acinetobacter* sp. RC04 และ *Sinorhizobium* sp. RC02 เป็นแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากดินรอบรากดอกคำฝอย (*Carthamus tinctorious* L.) โดยที่ *Acinetobacter* sp. RC04 มีศักยภาพในการละลายฟอสเฟตได้ดีกว่า *Sinorhizobium* sp. RC02 ความสามารถในการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรียขึ้นอยู่กับแหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) เริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อ แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม คือ กลูโคส แหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม คือ แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl_3) ส่วนความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการละลายฟอสเฟต คือ 6 และ 30°C. ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่าการแช่เมล็ดพันธุ์ดอกคำฝอยในหัวเชื้อแบคทีเรีย *Acinetobacter* sp. RC04 และ *Sinorhizobium* sp. RC02 ร่วมกัน ให้ผลส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของต้นดอกคำฝอย เมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้หัวเชื้อแต่ละชนิดแยกกัน (Zhang *et al.*, 2019)

Pseudomonas sp. MS16 และ *Enterobacter* sp. MS32 ซึ่งคัดแยกได้จากดินรอบรากข้าวสาลี มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตร่วมกับความสามารถในการผลิตกรดอินโดล-3-แอซิดิก กรดจิบเบอเรลลิก ความสามารถในการละลายสังกะสี และผลิตเอนไซม์ไนโตรจีเนสและเอนไซม์กรด 1-อะมิโนไซโคลโพรเพน-1-คาร์บอกซิลิกไดอะมิเนสด้วยการใช้หัวเชื้อแบคทีเรียร่วมกับการเพาะเมล็ดพันธุ์ข้าวสาลีพันธุ์ NN-Gandum-1 พบว่าแบคทีเรียช่วยส่งเสริมการงอกและดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า นอกจากนี้การใช้

แบคทีเรีย *Pseudomonas* sp. MS16 ร่วมกับการปลูกข้าวสาลียังช่วยเพิ่มผลผลิตของพืชได้ทั้งในระดับกระถาง ทดลองและภาคสนามอีกด้วย (Suleman *et al.*, 2018) ในขณะที่ *Pantoea* sp. S32 ซึ่งคัดแยกได้จากดินรอบรากถั่วอัลฟัลฟา มีความสามารถในการละลายไตรแคลเซียมฟอสเฟต และผลิตเอนไซม์ฟอสฟาเทสได้ สภาวะที่เหมาะสมต่อการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรีย คือ การเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน อุณหภูมิ 30°C. และ pH 7.0 การแช่เมล็ดพันธุ์ข้าวในหัวเชื้อแบคทีเรีย *Pantoea* sp. S32 ส่งผลเพิ่มความสูง ชีวมวลของพืช และการเจริญเติบโตของรากข้าวได้ (Chen and Liu, 2019)

แบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตยังมีความสามารถในการละลายธาตุอาหารอื่นได้ด้วย เช่น โพแทสเซียม ตัวอย่างเช่น *Enterobacter* sp. KM977992, *Pantoea ananatis* KM977993 และ *Rahnella aquatilis* KM977991 และสามารถละลายโพแทสเซียมจากแร่ไมกาได้ การละลายฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมได้นี้ คาดว่ามาจากความสามารถในการผลิตกรดอินทรีย์ โดยการแช่เมล็ดข้าวพันธุ์ cv. Tarom Hashemi ในสารละลายเซลล์แบคทีเรีย *Pantoea ananatis* KM977993 และ *Enterobacter* sp. KM977992 ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของข้าวได้ดีกว่า *Rahnella aquatilis* KM977991 เนื่องจากส่งเสริมให้ต้นกล้าของข้าวมีน้ำหนักแห้งของราก น้ำหนักแห้งของลำต้น น้ำหนักแห้งของใบ รวมถึงการนำโพแทสเซียมเข้าสู่ใบ ลำต้น และราก ได้มากกว่า *Rahnella aquatilis* KM977991 (Bakhshandeh *et al.*, 2017)

การใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยเพิ่มศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช การเติมซิลิกอนในรูปที่พืชนำไปใช้ได้จะเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชและความทนทานของพืชต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ปุ๋ยซิลิกอนเพียงอย่างเดียวสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและลดความเครียดที่เกิดจากการขาดฟอสฟอรัสในพืช

การใช้ซิลิกอนร่วมกับแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจะช่วยเพิ่มความทนทานของพืชต่อสิ่งแวดล้อมด้วยกลไกต่างๆ เช่น เพิ่มระบบรากของพืช เพิ่มการนำธาตุอาหารไปใช้ เพิ่มการสร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระในพืช การเติมแบคทีเรียละลายฟอสเฟต 2 สายพันธุ์ *Pseudomonas* sp. FA1 และ *Bacillus simplex* UT1 ร่วมกับการเติมซิลิกอนในรูปกรดซิลิกิก 150-600 mg/kg เพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างได้ทั้งในสถานะที่เติมปุ๋ยฟอสเฟตรูปที่ละลายได้และละลายไม่ได้ (Rezakhani *et al.*, 2020)

นอกจากนี้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่เจริญเติบโตในสถานะที่กดดัน เช่น ในดินที่ปนเปื้อนสารมลพิษ ดินเค็ม และอื่นๆ แบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานในสถานะเช่นนี้ จำเป็นต้องทนทาน สามารถรอดชีวิตและละลายฟอสเฟตได้ในสถานะดังกล่าวด้วย เช่น แบคทีเรีย *Serratia* sp. J260 และ *Pantoea* sp. J49 ละลายฟอสเฟตได้ในสถานะที่มีการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืช Imazapic และการปนเปื้อนร่วมกันของสารฆ่าเชื้อรา Pyraclostrobin และ Epoxiconazole ในระดับความเข้มข้นที่พบปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม แบคทีเรียทั้งสองยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของถั่วลิสงและข้าวโพด รวมทั้งการปลูกพืชในสถานะที่เติมหัวเชื้อแบคทีเรียยังส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในพืชเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Anzuay *et al.*, 2017) *Bacillus subtilis* สายพันธุ์ PSB-36 ซึ่งละลายฟอสเฟตได้และคัดแยกได้จากดินเค็มที่มีการปลูกผักชีล้อมสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักชีล้อมได้ดี โดยให้ผลผลิตของเมล็ดสูงสุดเท่ากับ 2,146.88 กก. และผักชีล้อมที่ปลูกในสถานะที่ได้รับเชื้อแบคทีเรียมีองค์ประกอบของน้ำมันที่จำเป็นเพิ่มสูงขึ้น จากการวิเคราะห์คุณภาพของดินหลังเก็บเกี่ยวพืชพบว่าดินมีคุณภาพดีขึ้น โดยพบปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในดินร้อยละ 0.59 ปริมาณไนโตรเจน 78.25 กก./เฮกเตอร์ ฟอสฟอรัส 28.54 กก./เฮกเตอร์ และโพแทสเซียม 178.3 กก./เฮกเตอร์ เป็นต้น (Mishra *et al.*, 2016)

นอกจากนั้น ในกระบวนการผลิตปุ๋ยที่มีแบคทีเรียผสมอยู่ด้วยนั้น ในกระบวนการผลิตปุ๋ยมีกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง การคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่ทนต่ออุณหภูมิสูงได้ จึงเป็นประโยชน์สำหรับการผลิตปุ๋ยนี้ เช่น การคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตจากตัวอย่างดินที่อบที่อุณหภูมิ 55°C. ทำให้ได้แบคทีเรีย *Pantoea agglomerans* RPS9 ซึ่งเมื่อนำไปผลิตปุ๋ยแล้ว สามารถอยู่รอดได้หลังจากเก็บที่ 28°C. เป็นเวลา 4 เดือน และเมื่อนำปุ๋ยที่ผสมแบคทีเรียนี้ใส่ให้ข้าวโพด ทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ดีและมีปริมาณ ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น (Sarikhani *et al.*, 2019)

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญในพืช การขาดแคลนฟอสฟอรัสส่งผลกระทบต่อทั้งกับสัณฐานและสรีรวิทยาของราก ทำให้พืชต้องมีการปรับตัวเพื่ออยู่รอดในสถานะที่ขาดแคลนฟอสฟอรัส ทั้งการอยู่ร่วมกับไมคอร์ไรซา การสร้างรากกลุ่ม และการอยู่ร่วมกับแบคทีเรียที่ละลายฟอสเฟต แบคทีเรียละลายฟอสเฟตนี้มีกลไก 2 ประการในการละลายฟอสเฟต คือ การหลั่งกรดสำหรับละลายฟอสเฟตอินทรีย์ และการหลั่งเอนไซม์สำหรับย่อยสลายฟอสเฟตอินทรีย์ แบคทีเรียกลุ่มนี้มีประโยชน์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจได้หลายชนิด และการคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่มีคุณสมบัติเพิ่มเติม เช่น ทนอุณหภูมิสูง ทนสารมลพิษ ทนต่อสถานะที่ไม่เหมาะสมในดิน เช่น ความเค็ม จะสามารถนำแบคทีเรียละลายฟอสเฟตไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้กว้างขวางยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่อำนวยความสะดวกระหว่างการทำงานนี้

เอกสารอ้างอิง

- Alori, E.T., B.R. Glick and O.O. Babalola. 2017. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Frontiers in Microbiology**. 8: 971. [Online]. Available <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971> (25 October 2020).
- Anzuay, M.S., M.G.R. Ciancio, L.M. Ludueña, J.G. Angelini, G. Barros, N. Pastor and T. Taurian. 2017. Growth promotion of peanut (*Arachis hypogaea* L.) and maize (*Zea mays* L.) plants by single and mixed cultures of efficient phosphate solubilizing bacteria that are tolerant to abiotic stress and pesticides. **Microbiological Research** 199: 98-109. [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.03.006> (25 October 2020).
- Bakhshandeh, E., H. Pirdashti and K.S. Lendeh. 2017. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. **Ecological Engineering** 103: 164-169. [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.008> (25 October 2020).
- Bobautong, T., N. Insalud, W. Sungpalee and C. Atnaseo. 2017. Effect of phosphorus level on rice root development. **Khon Kaen Agricultural Journal** 45(Suppl.1): 997-1002.
- Chen, Q. and S. Liu. 2019. Identification and characterization of the phosphate-solubilizing bacterium *Pantoea* sp. S32 in reclamation soil in Shanxi, China. **Frontiers in Microbiology** 10: 2171. [Online]. Available <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02171> (25 October 2020).
- Elias, F., D. Woyessa and D. Muleta. 2016. Phosphate solubilization potential of rhizosphere fungi isolated from plants in Jimma zone, southwest Ethiopia. **International Journal of Microbiology** 2016: 11. [Online]. Available <https://doi.org/10.1155/2016/5472601> (25 October 2020).
- Ingle, K.P. and D.A. Padole. 2017. Phosphate solubilizing microbes: an overview. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 6(1): 844-852.
- Kalayu, G. 2019. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. **International Journal of Agronomy**. 2019: 7. [Online]. Available <https://doi.org/10.1155/2019/4917256> (25 October 2020).

- Ludueña, L.M., M.S. Anzuay, J.G. Angelini, M. McIntosh, A. Becker, O. Rupp, A. Goesmann, J. Blom, A. Fabra and T. Taurian. 2018. Strain *Serratia* sp. S119: a potential biofertilizer for peanut and maize and a model bacterium to study phosphate solubilization mechanisms. **Applied Soil Ecology** 126: 107-112. [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.12.024> (25 October 2020).
- Mishra, B.K., K.K. Meena, P.N. Dubey, O.P. Aishwath, K. Kant, A.M. Sorty and U. Bitla. 2016. Influence on yield and quality of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) grown under semi-arid saline soil, due to application of native phosphate solubilizing rhizobacterial isolates. **Ecological Engineering** 97: 327-333. [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.034> (25 October 2020).
- Onthong, J. and M. Osaki. 2006. Adaptations of tropical plants to acid soils. **Tropics** 15(4): 337-347.
- Péret, B., M. Clément, L. Nussaume and T. Desnos. 2011. Root developmental adaptation to phosphate starvation: better safe than sorry. **Trends in Plant Science** 16(8): 442-450.
- Rezakhani, L., B. Motesarezadeh, M.M. Tehrani, H. Etesami and H.M. Hosseini. 2020. Effect of silicon and phosphate-solubilizing bacteria on improved phosphorus (P) uptake is not specific to insoluble P-fertilized sorghum (*Sorghum bicolor* L.) plants. **Journal of Plant Growth Regulation** 39(1): 239-253.
- Sarikhani, M.R., B. Khoshru and R. Greiner. 2019. Isolation and identification of temperature tolerant phosphate solubilizing bacteria as a potential microbial fertilizer. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 35(8): 126.
- Satyaprakash, M., T. Nikitha, E.U.B. Reddi, B. Sadhana and S.S. Vani. 2017. Phosphorus and phosphate solubilizing bacteria and their role in plant nutrition. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 6(4): 2133-2144.
- Sharma, S.B., R.Z. Sayyed, M.H. Trivedi and T.A. Gobi. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. **Springerplus** 2: 587. [Online]. Available <https://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/2193-1801-2-587> (25 October 2020).

- Shu, L., J. Shen, Z. Rengel, C. Tang, F. Zhang and G.R. Cawthray. 2007. Formation of cluster roots and citrate exudation by *Lupinus albus* in response to localized application of different phosphorus sources. **Plant Science** 172(5): 1017-1024.
- Sousa, M.F., A.R. Façanha, R.M. Tavares, T. Lino-Neto and H. Gerós. 2007. Phosphate transport by proteoid roots of *Hakea sericea*. **Plant Science** 173(5): 550-558.
- Suleman, M., M. Yasmin, M. Rasul, M. Yahya, B.M. Atta and M.S. Mirsa. 2018. Phosphate solubilizing bacteria with glucose dehydrogenase gene for phosphorus uptake and beneficial effects on wheat. **Plos One** 13(9): e0204408. DOI: 10.1371/journal.pone.0204408.
- Taurian, T., M.S. Anzuay, J.G. Angelini, M.L. Tonelli, L. Ludueña, D. Pena, F. Ibáñez and A. Fabra. 2010. Phosphate-solubilizing peanut associated bacteria: screening for plant growth-promoting activities. **Plant and Soil** 329(1-2): 421-431.
- Zhang, F.S., J. Ma and Y.P. Cao. 1997. Phosphorus deficiency enhances root exudation of low-molecular weight organic acids and utilization of sparingly soluble inorganic phosphates by radish (*Raghanus sativus* L.) and rape (*Brassica napus* L.) plants. **Plant and Soil** 196(2): 261-264.
- Zhang, T., F. Hu and L. Ma. 2019. Phosphate-solubilizing bacteria from safflower rhizosphere and their effect on seedling growth. **Open Life Science** 14(1): 246-254.
- Zheng, B., M. Ibrahim, D. Zhang, Q. Bi, H. Li, G. Zhou, K. Ding, J. Peñuelas, Y. Zhu, and X. Yang. 2018. Identification and characterization of inorganic-phosphate-solubilizing bacteria from agricultural fields with a rapid isolation method. **AMB Express** 8: 47. [Online]. Available <https://amb-express.springeropen.com/articles/10.1186/s13568-018-0575-6> (25 October 2020).
- Zhu, Q., H. Wang, Y.Z. Shan, H.Y. Ma, H.Y. Wang, F.T. Xie and X. Ao. 2020. Physiological response of phosphorus-efficient and inefficient soybean genotypes under phosphorus-deficiency. **Russian Journal of Plant Physiology** 67(1): 175-184.

การคัดแยกและบทบาทของแบคทีเรียชอบเกลือและแบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือ
ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาชีวเคมีในกระบวนการหมักปลาร้า
Isolation and Role of Halophilic Bacteria and Halotolerant Lactic Acid Bacteria
Involved in Biochemical Reactions in Fermented Fish Fermentation Process

สมเกียรติ ศีลสุทธิ สุภาณี ด่านวิริยะกุล อำนาจ ภัคดีโต* จันทรรัตน์ พิษณุณ

สันติธรรม โชติประทุม และจัชชดา อารยกาญจน์

Somkiat Seilsuth, Supanee Danviriyakul, Amnat Pakdeeto*, Chantharat Phitchayaphon

Suntitham Chotipratoom and Tajchada Arayakarn

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพฯ 10900

Program in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture and Life Sciences

Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok, Thailand 10900

*Corresponding author: amnat.p@chandra.ac.th

Abstract

Received: June 19, 2020

Revised: January 26, 2021

Accepted: May 25, 2021

The objectives of this study were to isolate and characterize microorganisms presented in fermented fish (*pla-ra*). Forty-two samples from *pla-ra* producers and vendors in Sapphaya district, Chainat province were collected for the isolation of halophilic and halotolerant lactic acid bacteria that may potentially produce enzymes necessary for the fermentation process. The salt (NaCl) content varied from 9.2 to 24.5% with pH from 4.57 to 7.13. The total halophilic bacteria count was found to be in the range of 3.3×10^5 - 2.1×10^8 CFU/g. Out of 181 isolated halophilic strains, only 10 showed the ability to produce different enzymes including *Halobacillus* sp. 10MK2-2A and 10SB1-2 (protease); *Halobacillus* sp. 10PL2-1 and 10BL1-5A and *Halococcus* sp. 10BL2-3 and 10CL2-2B (gelatinase); *Halobacillus* sp. 10BL2-1 and *Halococcus* sp. 10PJ1-5B (lipase); *Halobacillus* sp. 10BL1-1S (amylase); and *Halobacillus* sp. 10PY2-2 (gelatinase and lipase). There were 104 isolates of halotolerant lactic acid bacteria presented and identified as *Pediococcus*, *Weissella* and *Lactobacillus*. The inhibitory effect of antimicrobial activities against *Bacillus cereus* ATCC 9634^T, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538^T, *Salmonella abony* NCTC6017^T, *Escherichia coli* ATCC 8739^T and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853^T were observed from all sixteen strains of *Pediococcus* spp., *Weissella* spp. and *Lactobacillus* spp.

Keywords: halophilic bacteria, halotolerant lactic acid bacteria, fermented fish (*pla-ra*)

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการคัดแยกและศึกษาคุณสมบัติของแบคทีเรียชอบเกลือและแบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือที่สามารถผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการหมักและสารยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคในผลิตภัณฑ์ปลาร้าจากโรงงานผลิต และผู้จำหน่ายปลาร้าอำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาหัวเชื้อทำปลาร้า โดยจากการศึกษาคุณลักษณะทั่วไปของตัวอย่างปลาร้าจำนวน 42 ตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณเกลือในช่วง 9.2-24.5% ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.57-7.13 และแบคทีเรียทั้งหมด $3.3 \times 10^5 - 2.1 \times 10^8$ CFU/กรัม สามารถแยกแบคทีเรียชอบเกลือรูปร่างแท่งและกลมได้ 181 ไอโซเลต และมีแบคทีเรียที่ผ่านการคัดเลือกกว่าสามารถผลิตเอนไซม์ได้ 10 ไอโซเลต ได้แก่ *Halobacillus* sp. 10MK2-2A และ 10SB1-2 (ผลิตโปรติเอส) *Halobacillus* sp. 10PL2-1 และ 10BL1-5A และ *Halococcus* sp. 10BL2-3 และ 10CL2-2B (ผลิตเจลาติเนส) *Halobacillus* sp. 10BL2-1 และ *Halococcus* sp. 10PJ1-5B (ผลิตไลเปส) *Halobacillus* sp. 10BL1-1S (ผลิตอะไมเลส) และ *Halobacillus* sp. 10PY2-2 (ผลิตเจลาติเนสและไลเปส) จากแบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือที่แยกได้จำนวน 104 ไอโซเลตจัดอยู่ในสกุล *Pediococcus*, *Weissella* และ *Lactobacillus* พบว่าแบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือสายพันธุ์ *Pediococcus* spp. *Weissella* spp. และ *Lactobacillus* spp. จำนวน 16 สายพันธุ์ มีคุณสมบัติในการสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียสายพันธุ์มาตรฐานก่อโรคและทำให้อาหารเน่าเสีย คือ *Bacillus cereus* ATCC 9634^T, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538^T, *Salmonella abony* NCTC6017^T, *Escherichia coli* ATCC 8739^T และ *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853^T

คำสำคัญ: แบคทีเรียชอบเกลือ แบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือ ปลาร้า

คำนำ

ปลาร้า (*pla-ra*, fermented fish, salt-fermented fish) เป็นอาหารพื้นเมืองที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั่วทุกภาคของประเทศไทยรวมทั้งการส่งออก ปลาร้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักปลากับเกลือ ซึ่งอาจมีการเติมรำข้าว รำข้าวคั่ว หรือข้าวคั่ว (Sangjindavong *et al.*, 2008) ขึ้นอยู่กับภูมิปัญญาของแต่ละท้องถิ่น อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท เป็นแหล่งผลิตปลาร้าที่มีชื่อเสียงแห่งหนึ่งของประเทศ มีโรงงานผลิตปลาร้า จำนวน 17 แห่ง เป็นอุตสาหกรรมระดับจังหวัดที่สามารถส่งปลาร้าออกจำหน่ายไปทั่วประเทศ การผลิตปลาร้าเป็นภูมิปัญญาดั้งเดิมที่ใช้ในการถนอมอาหาร เกลือที่เติมลงไปจะทำให้เกิดการเน่าเสีย โดยที่จุลินทรีย์บางชนิดยังสามารถเจริญได้ การผลิตปลาร้าด้วยภูมิปัญญาท้องถิ่นทั่วไปอาศัยกระบวนการหมักที่เกิดจากจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ ชาติความสม่ำเสมอของคุณภาพทั้งในแง่ของการควบคุมปริมาณเกลือที่ใช้และรสชาติของปลาร้าที่ได้ (Pumipan and Inmaung, 2016) รสชาติของปลาร้าแต่ละท้องถิ่นที่มีความเป็นเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับส่วนผสมและกรรมวิธีในการผลิต ซึ่งส่งผลให้เกิดความแตกต่างขององค์ประกอบและความหลากหลายของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมัก (Mozzi *et al.*, 2013)

จุลินทรีย์ที่พบในกระบวนการหมักปลาร้า ได้แก่ *Halobacterium piscisalsi*, *Salinivibrio siamensis*, *Virgibacillus siamensis*, *Gracilibacillus thailandensis*, *Piscibacillus salipiscarius*, *Pediococcus halophilus*, *Lactobacillus acidipiscis*, *Weissella thailandensis* (Chamroensaksri *et al.*, 2009, 2010; Tanasupawat *et al.*, 2000, 2007, 2009, 2010; Yachai *et al.*, 2008) ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียชนิดชอบเกลือปานกลาง (ร้อยละ 3-15) และชอบเกลือสูง (ร้อยละ 15-30) ส่วนแบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือเป็นพวกสามารถเจริญได้ทั้งสภาพมีเกลือและ

ไม่มีเกลือ โดยทั่วไปแบคทีเรียพวกนี้สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีเกลือร้อยละ 5 หรือมากกว่า (Chaikulsareewath *et al.*, 2015; Namwong, 2010) ซึ่งมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นและให้ผลผลิตจากการหมักที่แตกต่างกัน รวมทั้งบทบาทในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียและทำให้เกิดโรค ซึ่งเป็นหน้าที่ที่จะช่วยส่งเสริมการผลิตอาหารที่ปลอดภัยได้อีกประการหนึ่ง (El Sheikha and Hu, 2018 อ้างใน Das *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2009) โดยมีรายงานการศึกษาความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคโดยใช้แบคทีเรียกรดแลกติก (LAB) ที่แยกได้จากอาหารหมักประเภทผักดอง กิมจิ และผลิตภัณฑ์นมหมัก เช่น *Lactobacillus plantarum* 307, *Lactobacillus brevis* 308, *Lactobacillus plantarum/pentosus* 358 (Grosu-Tudor and Zamfir, 2013) *Lactobacillus plantarum* 86, *Weissella cibaria* 92 (Patel *et al.*, 2014) *Lactococcus lactis* W8 (Mitra *et al.*, 2010) *Lactobacillus citreum* GJ7 (Chang *et al.*, 2007) และ *Lactococcus lactis* BH5 (Hur *et al.*, 2000) เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกและศึกษาคุณลักษณะของแบคทีเรียชอบเกลือและแบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือจากปลาร้า เพื่อใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการหมักและคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค และเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาหัวเชื้อเริ่มต้นสำหรับปรับปรุงและพัฒนากระบวนการหมักปลาร้าต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์คุณภาพ และการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์

สุ่มตัวอย่างปลาร้าจำนวน 42 ตัวอย่าง จากโรงงานและผู้จำหน่ายปลาร้า 13 ราย อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท มาทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

(Seven Compact pH/ion meter S220, Mettler Toledo) วัดปริมาณเกลือ (NaCl) ด้วยวิธีการไทเทรตแบบมอห์ร์ ด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.1M AgNO₃ โดยใช้เครื่องไทเทรตอัตโนมัติ (Titrator Excellence T5, Mettler Toledo) และตรวจนับแบคทีเรียชอบเกลือทั้งหมดด้วยวิธี Spread plate technique ลงบนอาหาร Halobacterium medium agar (JCM No. 377) (Chamroensaksri *et al.*, 2009) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C. นาน 7 วัน จากนั้นทำการตรวจนับจำนวนโคโลนี (CFU/กรัม)

การแยก การจำแนกชนิดแบคทีเรียและการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค

ทำการแยกแบคทีเรียชอบเกลือดัดแปลงจากวิธีของ Chamroensaksri *et al.* (2009) ด้วยวิธี Spread plate technique บนอาหารแข็ง JCM No. 377 (NaCl 100 กรัม Casamino acid 5 กรัม Yeast extract 5 กรัม Sodium glutamic 1 กรัม KCl 2 กรัม Trisodium citrate 3 กรัม MgSO₄·7H₂O 20 กรัม FeCl₂·4H₂O 0.362 กรัม MnCl₂·4H₂O 0.0362 กรัม Agar 20 กรัม และ Distilled water 1,000 มล. และปรับ pH 7.2) ทำการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C. นาน 7 วัน เลือกเก็บโคโลนีเชื้อที่แตกต่างกันมาทำการศึกษาคูณสมบัติทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยาและชีวเคมี เช่น รูปร่าง การจัดเรียงตัวของเซลล์ สีโคโลนี การติดสีแกรม และการสร้างเอนไซม์แคตาเลส (Catalase) ส่วนการแยกแบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือทำตามวิธีการของ Tanasupawat *et al.* (2000) โดยการนำตัวอย่างปลาร้าใส่ในอาหารเหลว MRS บ่มเชื้อที่ 30°C. นาน 48 ชม. และนำน้ำหมักที่ได้มาทำการ Streak plate บนอาหารแข็งดัดแปลง (MRS ที่ประกอบด้วย CaCO₃ 0.5%) ที่ระดับความเข้มข้นเกลือ 5 และ 7% บ่มเชื้อที่ 30°C. นาน 3-5 วัน เลือกเชื้อที่มีการสร้างโซนใสรอบๆ โคโลนีไปศึกษาคูณสมบัติของเชื้อ โดยเฉพาะการสร้างแก๊สจากกลูโคส การเจริญที่ความเป็นกรด-ด่าง 4.4 และ 9.6 เกลือ 5 และ 7% ในอาหารเหลว MRS (Axelsson, 1998; Collins *et al.*,

1993; Dicks *et al.*, 1995) เก็บรักษาโคโลนีเดี่ยวของเชื้อแต่ละชนิดในสารละลายกลีเซอรอล 10% ที่อุณหภูมิ -40 ถึง -50°C.

ทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค โดยเตรียมสารแขวนลอยเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติก ทนเกลือที่แยกได้แต่ละชนิดด้วยการเลี้ยงเชื้อบนอาหารแข็งในจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 30°C. เป็นเวลานาน 2 วัน จากนั้นถ่ายเชื้อลงในน้ำเกลือเข้มข้น 0.85% (w/v) ทำการปรับความขุ่นของเชื้อให้เท่ากัน ($OD_{600}=0.5$) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer รุ่น Specord210 plus) ถ่ายสารละลายเชื้อปริมาณ 5% ลงในอาหารเหลว MRS บ่มที่ 30°C. นาน 5 วัน ทดสอบการสร้างกรดของเชื้อโดยการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคและทำให้อาหารเน่าเสียด้วยวิธีการทดสอบแบบ Kirby-Bauer disk diffusion (Hudzicki, 2009) โดยนำกระดาษปลอดเชื้อ (Paper discs; Whatman™ Grade AA, Ø 6 มม., CAT no. 2017-006) จุ่มลงในอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว (Cultured medium) พอหมาดๆ นำมาวางทับบนเชื้อ *Bacillus cereus* ATCC 9634^T, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538^T, *Escherichia coli* ATCC 8739^T, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853^T (ATCC, American Type Cultures Collection) และ *Salmonella abony* NCTC6017^T (National Collection of Type Cultures (NCTC), England) ที่ถูกเกลี่ยไว้ก่อนบนอาหาร Nutrient agar แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30°C. นาน 3 วัน ทำการบันทึกผลการยับยั้งเชื้อ

การทดสอบประสิทธิภาพการสร้างเอนไซม์

ทดสอบการสร้างเอนไซม์โปรติเอส เจลาติเนส ไลเปส และอะไมเลส ของเชื้อแบคทีเรียขอบเกล็ดตามวิธีของ Chamroensakri *et al.* (2009) โดยเตรียมสารแขวนลอยเชื้อแบคทีเรียขอบเกล็ดที่แยกได้แต่ละชนิดด้วยเกลือ 0.85% และปรับความขุ่นให้เท่ากัน ($OD_{600}=0.5$) ถ่ายสารละลายเชื้อที่ได้ลงในอาหารเหลว JCM No. 377

บ่มที่อุณหภูมิ 37°C. นาน 7 วัน จากนั้นนำกระดาษปลอดเชื้อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. จุ่มสารละลายเชื้อพอหมาดๆ และวางทับบนอาหารแข็งทดสอบแต่ละชนิด (ความเป็นกรด-ด่าง 7.2) ประกอบด้วย Casein agar (JCM No.377 agar ที่ใส่ Skim milk 1% แทน Casamino acid) Starch agar (JCM No.377 agar + Soluble starch 10%) Tween 80 agar (JCM No.377 agar + Tween 80 2%) และ Gelatin agar (JCM No.377 agar ที่ใส่ gelatin 10% แทน Casamino acid) เพื่อทดสอบการสร้างเอนไซม์โปรติเอส อะไมเลส ไลเปส และเจลาติเนสตามลำดับ บ่มเชื้อที่ 37°C. นาน 5 วัน บันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยเชื้อที่สร้างเอนไซม์โปรติเอส จะเกิดโซนใสรอบโคโลนี ในขณะที่เอนไซม์อะไมเลสจะเกิดโซนใสเมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีน เอนไซม์ไลเปสจะเกิดตะกอนขุ่น และเอนไซม์เจลาติเนสจะเกิดโซนใสเมื่อหยดสารละลาย Trichloroacetic acid 10% บริเวณที่เกิดตะกอนขุ่นรอบๆ โคโลนี

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การวิเคราะห์คุณภาพและจำนวนจุลินทรีย์ในปลาร้า

จากการสุ่มตัวอย่างปลาร้าจากโรงงานปลาร้าและผู้จำหน่ายจำนวน 13 ราย (Factory/Vendor A-M) ในอำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท รวมทั้งสิ้นจำนวน 42 ตัวอย่าง และนำมาทำการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณเกลือ พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระหว่าง 4.57-7.13 (5.20 ± 0.62) และมีปริมาณเกลือระหว่าง 9.2-24.5% (15.9 ± 3.8) โดยมีปริมาณเกลือสูงใกล้เคียงกับปลาร้าที่ผลิตใน 4 จังหวัด ในภาคอีสานตอนบน ได้แก่ จังหวัดอุดรธานี หนองคาย นครพนม และสกลนคร โดยมีความเข้มข้นของเกลือ 24.53% (Suriyanont and Chancharoonpong, 2018) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของปลาร้าส่วนใหญ่ (86.4%) มีค่าต่ำกว่า 5.5 ส่วนแบคทีเรียทั้งหมดพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 3.3×10^5 - 2.1×10^8 CFU/กรัม (Table 1) ความแตกต่าง

ของปริมาณเกลือที่พบซึ่งนอกเหนือจากปัจจัยที่มาจาก การใช้สูตรที่ต่างกันแล้ว พบว่ายังขาดความสม่ำเสมอ ในการควบคุมการผลิต โดยในรายของ Factory A (11.0-24.5%) และ Factory B (11.5-22.6%) พบว่ามีความ

แตกต่างของปริมาณเกลือระหว่างตัวอย่างที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ในปริมาณสูงถึง 13.5 และ 11.1% ตามลำดับ

Table 1 Chemical properties and total halophilic bacterial cell counts of *pla-ra*

Source of samples	Code	Number of samples	Chemical properties		Halophilic bacterial counts (CFU/g)
			pH	NaCl (%)	
Factory A	SB	6	4.60-5.36	11.0-24.5	1.0×10^6 - 1.4×10^8
Factory B	MK	7	4.59-5.71	11.5-22.6	3.3×10^5 - 2.0×10^7
Factory C	JV	3	4.66-6.57	12.7-18.6	4.7×10^6 - 2.1×10^8
Factory D	PL	4	4.83-5.27	15.6-18.5	2.5×10^6 - 2.1×10^7
Factory E	PB	2	5.54-7.13	11.9-12.9	2.3×10^6 - 1.6×10^7
Factory F	CL	2	4.57-4.60	11.9-12.6	3.1×10^6 - 2.2×10^7
Factory G	BL	2	5.03-5.07	20.3-22.1	1.5×10^6 - 1.7×10^7
Factory H	PJ	3	4.93-5.32	14.7-22.1	2.7×10^6 - 2.4×10^7
Factory I	SC	3	4.66-6.57	17.2-19.5	1.1×10^7 - 1.5×10^7
Factory J	PY	4	4.65-4.89	12.6-16.5	1.4×10^7 - 1.7×10^8
Factory K	SS	2	5.16-5.62	18.6-23.1	2.4×10^6 - 2.1×10^7
Vendor L	JP	2	5.13-7.03	12.7-17.2	3.4×10^6 - 2.4×10^7
Vendor M	CD	2	4.77-5.00	9.2-10.3	3.6×10^6 - 3.4×10^7
Total		42	4.57-7.13	9.2-24.5	3.3×10^5 - 2.1×10^8

การแยก จำแนกชนิดแบคทีเรียและการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค

จากการแยกแบคทีเรียในปลาร้า พบว่ามีแบคทีเรียชอบเกลือจำนวนทั้งหมด 181 ไอโซเลต เซลล์ติดสีทั้งแกรมบวกและแกรมลบ จัดเรียงตัวแบบเดี่ยวและคู่ โคโลนีมีลักษณะกลมมน ขอบเรียบ มันวาว มีสีและขนาดที่ต่างกัน เช่น สีครีมขนาดใหญ่ (Figure 1D) ขนาดกลาง (Figure 1A) ขนาดเล็ก (Figure 1B) และสีขาวที่มีขนาดแตกต่างกัน (Figure 1C) ส่วนใหญ่รูปร่างแท่งมากกว่ารูปร่างกลม เจริญในอาหารเหลวแบบต้องการอากาศ (Aerobe) สร้างเอนไซม์แคตาเลสเมื่อทดสอบด้วย

สารละลาย H_2O_2 3% แล้วเกิดแก๊ส อาศัยคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมีนี้สามารถแบ่งแบคทีเรียชอบเกลือออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 มีรูปร่างแท่งจัดอยู่ในสกุล *Halobacillus* (Namwong *et al.*, 2006) และกลุ่มที่ 2 มีรูปร่างกลมจัดอยู่ในสกุล *Halococcus* (Namwong *et al.*, 2007)

ส่วนแบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือที่คัดแยกได้ทั้งหมดมีจำนวน 104 ไอโซเลต ติดสีแกรมบวก ไม่สร้างเอนไซม์แคตาเลส มีลักษณะแตกต่างกันทางด้านขนาด การจัดเรียงเซลล์ และสีของโคโลนี เช่น ขาวขุ่น กลมมน เจริญในอาหารเหลวแบบ Facultative anaerobe มีการ

สร้างโซนใสรอบๆ โคลนบนอาหารแข็งดัดแปลง MRS ที่มี NaCl 5% สามารถเจริญได้เร็วและสร้างกรดแลกติกได้สูงกว่า NaCl 7% โดยสังเกตได้จากปฏิกิริยาการเกิดโซนใสที่แตกต่างกัน (Figure 1E and 1F) พบเซลล์ส่วนใหญ่เป็นรูปร่างกลมมากกว่าแท่ง สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 Homofermentative LAB ที่มีรูปร่างกลมต่อกันสี่เซลล์ (Tetrad) ไม่สามารถสร้าง CO₂ จากน้ำตาลกลูโคส เจริญได้ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.4 แต่ไม่เจริญที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.6 อาศัยคุณสมบัติทาง

สัณฐานวิทยาและชีวเคมีนี้สามารถจัดจำแนกอยู่ในสกุล *Pediococcus* (Axelsson, 1998; Collins *et al.*, 1993) กลุ่มที่ 2 Heterofermentative LAB รูปร่างกลม สร้างแก๊สสร้างเมือก (Slime) ไม่เจริญที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.6 จัดอยู่ในสกุล *Weissella* (Collins *et al.*, 1993; Tanasupawat *et al.*, 2000) และกลุ่มที่ 3 Homofermentative LAB รูปร่างแท่ง ไม่สร้างแก๊ส ไม่สามารถเจริญที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.6 จัดอยู่ในสกุล *Lactobacillus* (Tanasupawat *et al.*, 2000)

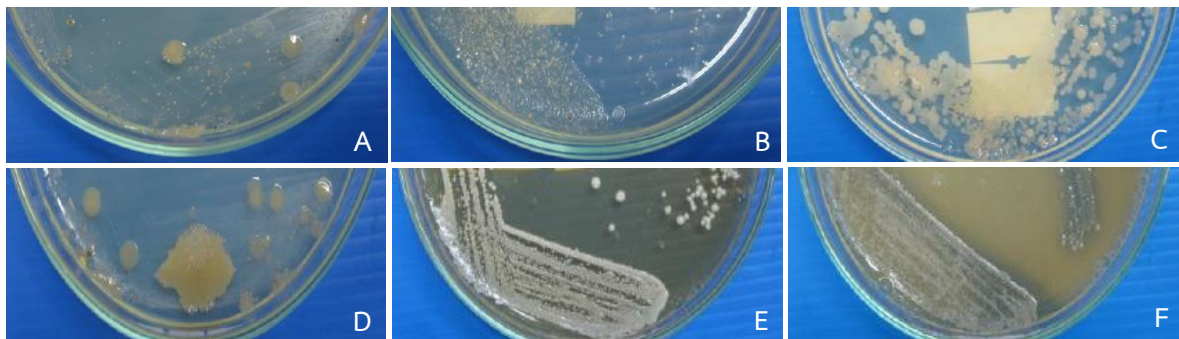


Figure 1 Differential colony characteristics of halophilic bacteria grown on JCM No.377 agar after incubation at 37°C for 7 days (A-D) and halotolerant lactic acid bacteria grown on modified MRS agar + 5% NaCl (E) and 7% NaCl (F) after incubation at 30°C for 5 days

นอกจากนี้ยังสามารถคัดเลือกแบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคและทำให้อาหารเน่าเสียได้จำนวน 16 ไอโซเลต ในด้านประสิทธิภาพของการสร้างกรดพบว่าแบคทีเรียรูปร่างแท่ง (ความเป็นกรด-ด่าง 4.15-4.16) มีแนวโน้มในการผลิตกรดได้ในปริมาณที่สูงกว่าแบคทีเรียรูปร่างกลม (ความเป็นกรด-ด่าง 4.60-6.39) (Table 2) จากการศึกษาคุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคและทำให้อาหารเน่าเสีย พบว่าเชื้อกลุ่ม *Pediococcus* spp., *Lactobacillus* spp. และ *Weissella* spp. สามารถผลิตสารยับยั้ง

แบคทีเรียก่อโรคและทำให้อาหารเน่าเสีย สายพันธุ์มาตรฐาน (T=type strain) คือ *Bacillus cereus* ATCC 9634^T, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538^T, *Salmonella abony* NCTC6017^T, *Escherichia coli* ATCC 8739^T และ *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853^T ได้น้อยกว่า 9 มม. ของเส้นผ่าศูนย์กลางของโซนใส (Clear zone) ตามมาตรฐาน (Hudzik, 2009) (Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานการผลิตสารยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคของแบคทีเรียทนเกลือที่พบในอาหารหมัก (Sumitha *et al.*, 2018)

Table 2 Morphology, biochemistry and antimicrobial activity of selected halotolerant lactic acid bacteria

Strains	Shape	Gas from glucose ^a	pH	Inhibition effect ^b					
				<i>B. cereus</i> ATCC 9634 ^T	<i>S. aureus</i> ATCC 6538 ^T	<i>S. abony</i> NCTC 6017 ^T	<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853 ^T	<i>E. coli</i> ATCC 8739 ^T	
<i>Pediococcus</i> sp.									
CD2-2	cocci (tetrad)	-	5.53	-	+	+	+	+	
CL1-1B	Cocci (tetrad)	-	5.39	-	+	+	-	+	
CL1-1C	cocci (tetrad)	-	5.04	-	+	+	-	+	
JV1-2M	cocci (tetrad)	-	4.63	+	-	+	-	+	
JV1-1S	cocci (tetrad)	-	4.77	+	-	+	-	+	
JV1-1B	cocci (tetrad)	-	4.76	+	+	+	+	+	
JV1-4B	cocci (tetrad)	-	6.39	+	-	+	+	+	
JV2-1	cocci (tetrad)	-	5.27	-	-	+	-	+	
PL2-3A	cocci (tetrad)	-	4.95	+	+	+	+	+	
<i>Weissella</i> sp.									
CD2-1B	cocci	+	4.60	+	+	+	+	+	
CD2-1BS	cocci	+	4.60	+	+	+	+	+	
<i>Lactobacillus</i> sp.									
SB3-1B	rods	-	4.16	+	-	+	+	+	
SB3-2B	rods	-	4.16	+	-	+	+	+	
SB3-5B	rods	-	4.17	+	-	+	+	+	
SB3-1S	rods	-	4.16	+	+	+	+	+	
SB3-2S	rods	-	4.15	+	-	+	-	+	

^a (-) negative; (+) positive reaction; ^b (-) absence of clear zone; (+) resistant visible clear zone (<9 mm diameter) data from Hudzicki, (2009); T=type strain

ประสิทธิภาพการสร้างเอนไซม์

จากการทดสอบการสร้างเอนไซม์ของแบคทีเรียที่ชอบเกลือ พบว่ามีแบคทีเรียที่ผ่านการคัดเลือกกว่าสามารถผลิตเอนไซม์ได้สูง 10 ไอโซเลต (Table 3) ในจำนวนนี้มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ที่ระดับปานกลาง-สูง จำนวน 9 ไอโซเลต ประกอบด้วยแบคทีเรียรูปร่างแท่ง 7 สายพันธุ์ ได้แก่ *Halobacillus* sp. 10MK2-2A และ 10SB1-2 (ผลิตโปรติเอส) *Halobacillus* sp. 10PL2-1 และ 10BL1-5A (ผลิตเจลาติเนส) *Halobacillus* sp. 10BL2-1 (ผลิตไลเปส) *Halobacillus* sp. 10BL1-1S (ผลิตอะไมเลส) และ *Halobacillus* sp. 10PY2-2 (ผลิตเจลาติเนสและไลเปส) และแบคทีเรียรูปร่างกลม 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Halococcus* sp. 10BL2-3 และ 10CL2-2B (ผลิตเจลาติเนส) ส่วน *Halococcus* sp. 10PJ1-5B สามารถผลิตไลเปสได้ในระดับเล็กน้อย (Das *et al.*, 2019; Gaonkar and Furtado, 2020)

การย่อยของสารอาหารประเภทโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันที่เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ในกระบวนการหมักส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติของปลาร้า เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมักมีแหล่งที่มาจากสารประกอบที่อาจพบในตัวปลาที่ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นของการทำปลาร้า หรือผลิตโดยจุลินทรีย์ที่เจริญในปลาร้า จากรายงานของ Thongthai *et al.* (1990) อ้างใน Namwong (2010) พบว่า 15% ของเอนไซม์โปรติเอสที่พบในการผลิตน้ำปลาเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ในระบบย่อยอาหารของปลาและ 85% มาจากจุลินทรีย์ ดังนั้นการคัดแยกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ได้ดีจะช่วยในการพัฒนาการออกแบบกระบวนการผลิต โดยการนำจุลินทรีย์บริสุทธิ์มาใช้ในการผลิตปลาร้าและผลิตภัณฑ์อาหารหมักชนิดอื่นๆ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

Table 3 Morphology and enzyme production of selected halophilic bacteria

Strains	Shape	Enzyme activity			
		Protease	Gelatinase	Lipase	Amylase
<i>Halobacillus</i> sp. 10BL1-5A	rods	+	++	-	-
<i>Halobacillus</i> sp. 10BL1-1S	rods	+	-	-	++
<i>Halobacillus</i> sp. 10BL2-1	rods	-	-	++	-
<i>Halobacillus</i> sp. 10MK2-2A	rods	+++	-	-	-
<i>Halobacillus</i> sp. 10PL2-1	rods	+	+++	-	-
<i>Halobacillus</i> sp. 10PY2-2	rods	+	++	++	-
<i>Halobacillus</i> sp. 10SB1-2	rods	++	-	-	-
<i>Halococcus</i> sp. 10BL2-3	cocci	+	+++	-	-
<i>Halococcus</i> sp. 10CL2-2B	cocci	-	++	+	-
<i>Halococcus</i> sp. 10PJ1-5B	cocci	-	-	+	-

(-) negative; (+) low activity (within 1 cm diameter zone); (++) moderate activity (within 2 cm diameter zone);

(+++ high activity (larger than 2 cm diameter zone)

สรุปผลการวิจัย

แบคทีเรียชอบเกลือทั้งหมดที่พบในโรงงานปลาร้า และผู้จำหน่ายปลาร้า จังหวัดชัยนาท มีค่าอยู่ระหว่าง 3.3×10^5 - 2.1×10^8 CFU/กรัม มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 4.57-7.13 และมีปริมาณเกลือระหว่าง 9.2-24.5% แบคทีเรียชอบเกลือส่วนใหญ่พบรูปร่างแท่ง มากกว่ารูปร่างกลม ในขณะที่แบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือพบมีรูปร่างกลมมากกว่า แบคทีเรียชอบเกลือรูปร่างแท่งสามารถผลิตเอนไซม์โปรติเอสได้ดี ได้แก่ *Halobacillus* sp. 10MK2-2A และ 10SB1-2 เอนไซม์เจลาติเนส ได้แก่ *Halobacillus* sp. 10PL2-1, 10BL1-5A และ 10PY2-2 เอนไซม์ไลเปส ได้แก่ *Halobacillus* sp. 10BL2-1 และ 10PY2-2 และผลิตเอนไซม์อะไมเลส ได้แก่ *Halobacillus* sp. 10BL1-1S ส่วนเชื้อแบคทีเรียชอบเกลือรูปร่างกลมผลิตเอนไซม์เจลาติเนสได้ดี ได้แก่ *Halococcus* sp. 10BL2-3 และ 10CL2-2B แบคทีเรียชอบเกลือเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นหัวเชื้อเริ่มต้นในการผลิตปลาร้าร่วมกับแบคทีเรียกรดแลกติกทนเกลือในกลุ่ม *Pediococcus* spp., *Lactobacillus* spp. และ *Weissella* spp. ซึ่งมีคุณสมบัติในการผลิตกรดแลกติกและสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียสายพันธุ์มาตรฐานก่อโรค และทำให้อาหารเน่าเสียได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ที่สนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ขอขอบคุณกลุ่มสถานประกอบการผลิตปลาร้าอำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท และเจ้าหน้าที่สาธารณสุขจังหวัดชัยนาททุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและตัวอย่างปลาร้าสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Axelsson, L. 1998. Lactic Acid Bacteria: Classification and Physiology. pp. 1-72. In Salminen, S. and A. von Wright (eds.). **Lactic Acid Bacteria: Microbiology and Function Aspects**. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Chaikulsareewath, A., C. Chooprom and A. Mana. 2015. Screening of protease producing halophilic bacteria from fermented fish (pla-ra). **J. Food Technol SU**. 10(1): 1-8. [in Thai]
- Chamroensaksri, N., S. Tanasupawat, A. Akarachanya, W. Visessanguan and T. Kudo. 2009. *Salinivibrio siamensis* sp. nov., from fermented fish (pla-ra) in Thailand. **Int. J. Syst. Evol. Microbiol**. 59: 880-885.
- Chamroensaksri, N., S. Tanasupawat, A. Akarachanya, W. Visessanguan, T. Kudo and T. Itoh. 2010. *Gracilibacillus thailandensis* sp. nov., from fermented fish (pla-ra) in Thailand. **Int. J. Syst. Evol. Microbiol**. 60: 944-948.
- Chang, J.Y., H.J. Lee and H.C. Chang. 2007. Identification of the agent from *Lactobacillus plantarum* KFRI464 that enhances bacteriocin production by *Leuconostoc citreum* GJ7. **J. Appl. Microbiol**. 103: 2504-2515.

- Collins, M.D., J. Samelis, J. Metaxopoulos and S. Wallbanks. 1993. Taxonomic studies on some leuconostoc-like organisms from fermented sausages: description of a new genus *Weissella* for the *Leuconostoc paramesenteriodes* group of species. **J. Appl. Bacteriol.** 75: 595-603.
- Das, D., I. Kalra, K. Mani, B.B. Salgaonkar and J.M. Braganca. 2019. Characterization of extremely halophilic archaeal isolates from Indian salt pans and their screening for production of hydrolytic enzymes. **Environ. Sustainability** 2: 227-239.
- Das, O., S.H. Kumar and B.B. Nayak. 2020. Relative abundance of halophilic archaea and bacteria in diverse salt-fermented fish products. **LWT-Food Sci. Technol.** 117: 1-7.
- Dicks, L.M.T., F. Dellaglio and M.D. Collins. 1995. Proposal to reclassify *Leuconostoc oenos* as *Oenococcus oeni* [Corrig.] gen. nov. **Int. J. Syst. Bacteriol.** 45: 395-397.
- El Sheikha, A.F. and D.-M. Hu. 2018. Molecular techniques reveal more secrets of fermented foods. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 60(1): 1-22. [Online]. Available <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1506906> (9 May 2020).
- Gaonkar, S.K. and I.J. Furtado. 2020. Characterization of extracellular protease from the *Haloarcheon Halococcus* sp. strain GUGFAWS-3 (MF425611). **Curr. Microbiol.** 77(6): 1024-1034.
- Grosu-Tudor, S.S. and M. Zamfir. 2013. Functional properties of LAB isolated from Romanian fermented vegetables. **Food Biotechnol.** 27(3): 235-248. [Online]. Available <https://doi.org/10.1080/08905436.2013.811082> (29 March 2021).
- Hudzicki, J. 2009. **Kirby-Bauer Disk Diffusion Susceptibility Test Protocol.** American Society for Microbiology. 23 p.
- Hur, J.W., H.H. Hyun, Y.R. Pyun, T.S. Kim, I.H. Yeo and H.D. Paik. 2000. Identification and partial characterization of lacticin BH5, a bacteriocin produced by *Lactococcus lactis* BH5 isolated from kimchi. **J. Food Prot.** 63(12): 1707-1712.
- Lee, J.K., D.W. Jung, Y.J. Kim, S.K. Cha, M.K. Lee, B.H. Ahn, N.S. Kwak and S.W. Oh. 2009. Growth inhibitory effect of fermented kimchi on food-borne pathogens. **Food Sci. Biotechnol.** 18(1): 12-17.
- Mitra, S., P.K. Chakrabartty and S.R. Biswas. 2010. Potential production and preservation of dahi by *Lactococcus lactis* W8, a nisin-producing strain. **LWT-Food Sci. Technol.** 43(2): 337-342.
- Mozzi, F., M.E. Ortiz, J. Bleckwedel, L. De Vuyst and M. Pescuma. 2013. Metabolomics as a tool for the comprehensive understanding of fermented and functional foods with lactic acid bacteria. **Food Res. Int.** 54: 1152-1161.

- Namwong, S., K. Hiraga, K. Takada, S. Tanasupawat and K. Oda. 2006. A halophilic serine proteinase from *Halobacillus* spp. SR5-3 isolated from fish sauce: purification and characterization. **Biosci. Biotechnol. Biochem.** 70(6): 1395-1401.
- Namwong, S., S. Tanasupawat, W. Visessanguan, T. Kudo and T. Itoh. 2007. *Halococcus thailandensis* sp. nov., from fish sauce in Thailand. **Int. J. Syst. Evol. Microbiol.** 57: 2199-2203.
- Namwong, S. 2010. Halophilic bacteria potential for development of Thai fish sauce industry. **J. Sci. Technol. MSU.** 29(4): 470-477. [in Thai]
- Patel, A., J.B. Prajapati, O. Holst and A. Ljungh. 2014. Determining probiotic potential of exopolysaccharide producing LAB isolated from vegetables and traditional Indian fermented food products. **Food Biosci.** 5: 27-33.
- Pumipan, T. and U. Inmaung. 2016. Hygiene of Thai traditional fermented fish production in One District, Khon Kaen province. **KKU. Res. J. (GS).** 16(2): 75-85. [in Thai]
- Sangjindavong, M., P. Chuapoehuk, J. Runglerdkriangkrai, W. Klaypradit and D. Vareevanich. 2008. Fermented fish product (*pla-ra*) from marine fish and preservation. **Kasetsart J. (Nat. Sci.).** 42: 129-136.
- Sumitha, D., D. Preetha and J.C. Daniel. 2018. Functional properties of halophilic bacteria isolated from fermented foods. **Indian J. Appl. Microbiol.** 21(1): 37-45.
- Suriyanont, A. and C. Chancharoonpong. 2018. Making process and factors associating to properties of fermented fish (*pla-ra*) in some parts of upper Northeast area of Thailand. **Burapha Sci. J.** 23(1): 566-578. [in Thai]
- Tanasupawat, S., O. Shida, S. Okada and K. Komagata. 2000. *Lactobacillus acidipiscis* sp. nov. and *Weissella thailandensis* sp. nov., isolated from fermented fish in Thailand. **Int. J. Syst. Evol. Microbiol.** 50: 1479-1485.
- Tanasupawat, S., S. Namwong, T. Kudo and T. Itoh. 2007. *Piscibacillus salipiscarius* gen. nov., sp. nov., a moderately halophilic bacterium from fermented fish (*pla-ra*) in Thailand. **Int. J. Syst. Evol. Microbiol.** 57: 1413-1417.
- Tanasupawat, S. 2009. Thai lactic acid bacteria: diversity and applications. **SWU. Sci. J.** 25(1): 1-13.
- Tanasupawat, S., N. Chamroensaksri, T. Kudo and T. Itoh. 2010. Identification of moderately halophilic bacteria from Thai fermented fish (*pla-ra*) and proposal of *Virgibacillus siamensis* sp. nov. **J. Gen. Appl. Microbiol.** 56: 369-379.

- Thongthai, C., W. Panbangred, C. Khoprasert and S. Dhaweetianond. 1990. Protease Activity in the Traditional Process of Fish Sauce Fermentation. pp 61-65. *In* Reilly, P.J.A., R.W.H. Parry and L.E. Bariles (eds.). **Post-Harvest Technology, Preservation and Quality of Fish in Southeast Asia**. Manila: Echanis Press.
- Yachai, M., S. Tanasupawat, T. Itoh, S. Benjakul, W. Visessanguanand and R. Valyasevi. 2008. *Halobacterium piscisalsi* sp. nov., from fermented fish (*pla-ra*) in Thailand. **Int. J. Syst. Evol. Microbiol.** 58: 2136-2140.

การพัฒนาปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสแบบมัลติเพล็กซ์สำหรับตรวจวินิจฉัยการติดเชื้อ
Ehrlichia canis, *Hepatozoon canis*, *Babesia canis* and *Anaplasma platys* ในสุนัข
Development of Multiplex Polymerase Chain Reaction for Detection
of *Ehrlichia canis*, *Hepatozoon canis*, *Babesia canis* and *Anaplasma platys* in Dogs

เพ็ญภา ตาคำ¹ เรือนแก้ว ประพฤติ² แสงทอง พงษ์เจริญกิจ³ และวสิน เจริญตันธนกุล^{1*}

Pennapa Takam¹, Reankeaw Praphet², Saengtong Pongjareankit³

and Wasin Charentantanakul^{1*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

³สาขาวิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

²Institute of Product Quality and Standardization, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

³Program in Genetics, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: wasin@mju.ac.th

Received: April 30, 2020

Revised: March 24, 2021

Accepted: July 15, 2021

Abstract

This study developed multiplex polymerase chain reaction (mPCR) as a diagnostic technique for canine blood parasite infections. It was improved from our previous version of technique that could detect only *Ehrlichia canis*, *Hepatozoon canis* (protozoa), and *Babesia canis* (protozoa). In this study, we developed mPCR for simultaneous detection of *VirB9* gene of *E. canis*, *18S rRNA* gene of *H. canis* and *B. canis*, and *groEL* of *Anaplasma platys* in canine blood sample. All four pathogens require brown dog ticks (*Rhipicephalus sanguineus*) as carrier. Infected dogs usually present similar symptoms, i.e. anemia, anorexia, and lethargy. Current diagnostic techniques employ Wright Giemsa staining of thin blood smear, immunochromatographic assay for detection of specific antibody, and PCR. Among these techniques, PCR has the highest sensitivity, but it is time-consuming, particularly when used for detection of individual pathogen. The mPCR technique developed in this study should reduce duration of assay for simultaneous detection of these four pathogens.

Keywords: *Ehrlichia canis*, *Hepatozoon canis*, *Babesia canis*, *Anaplasma platys*, multiplex PCR

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พัฒนาเทคนิคปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสแบบมัลติเพล็กซ์ เพื่อช่วยในการวินิจฉัยการติดเชื้อก่อโรคพยาธิในเลือดในสุนัข โดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นต่อยอดจากเทคนิคที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นก่อนหน้านี้ ซึ่งสามารถตรวจพบเชื้อก่อโรคได้ 3 ชนิด ได้แก่ *Ehrlichia canis*, *Hepatozoon canis* (โปรโตซัว) และ *Babesia canis* (โปรโตซัว) โดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้สามารถตรวจหา *VirB9* ของเชื้อ *E. canis*, ยีน *18S rRNA* ของเชื้อ *H. canis* และ *B. canis* และยีน *groEL* ของเชื้อ *Anaplasma platys* จากตัวอย่างเลือดของสุนัข เชื้อก่อโรคทั้งสี่ชนิดมีพาหะร่วมกันคือเห็บสุนัขสีน้ำตาล (*Rhipicephalus sanguineus*) และทำให้สุนัขแสดงอาการป่วยที่คล้ายกัน ได้แก่ ซีด เบื่ออาหาร และอ่อนแรง วิธีการวินิจฉัยการติดเชื้อเหล่านี้ในปัจจุบันใช้วิธีการย้อมฟิล์มเลือดบางด้วยสี Wright-Giemsa วิธี Immunochromatographic เพื่อตรวจหาแอนติบอดี และวิธีปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส ในวิธีต่างๆ เหล่านี้วิธีปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสให้ความไวในการตรวจพบเชื้อสูงที่สุด แต่ใช้ระยะเวลาในการตรวจนานที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อตรวจหาเชื้อก่อโรคทีละเชื้อ เทคนิคปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสแบบมัลติเพล็กซ์ที่พัฒนาขึ้นนี้จะช่วยลดระยะเวลาในการวินิจฉัยการติดเชื้อโรคทั้งสี่ชนิดได้

คำสำคัญ: *Ehrlichia canis*, *Hepatozoon canis*, *Babesia canis*, *Anaplasma platys*
ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสแบบมัลติเพล็กซ์

บทนำ

โรคพยาธิในเลือด (Blood parasites) เป็นโรคที่พบได้บ่อยในสุนัขในประเทศไทย โรคนี้เกิดจากการติดเชื้อโปรโตซัว ได้แก่ *Hepatozoon canis*, *Babesia canis* และ *Babesia gibsoni* เชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ *Bartonella*

vinsonii, *Ehrlichia canis*, *Ehrlichia chaffeensis*, *Ehrlichia ewingii*, *Anaplasma platys* และ *Anaplasma phagocytophila* (Little, 2010; Baneth, 2011; Chomel, 2011; Solano-Gallego et al., 2016) โรคนี้มีพาหะ คือ เห็บสุนัขสีน้ำตาล (*Rhipicephalus sanguineus*) ที่มีเชื้อก่อโรคอยู่ภายในตัว สำหรับประเทศไทยเชื้อก่อโรคที่พบได้บ่อย ได้แก่ *E. canis* (ก่อโรคชื่อว่า Ehrlichiosis), *H. canis* (ก่อโรคชื่อว่า Hepatozoonosis), *B. canis* (ก่อโรคชื่อว่า Babesiosis) และ *A. platys* (ก่อโรคชื่อว่า Anaplasmosis) (Jittapalapong et al., 2006; Laummaunwai et al., 2014; Piratae et al., 2015; Liu et al., 2016) สุนัขติดเชื้อ *E. canis*, *B. canis* และ *A. platys* จากการถูกเห็บที่มีเชื้อกัดและเชื้อถูกปล่อยผ่านทางน้ำลายของเห็บเข้าสู่กระแสเลือดของสุนัข และติดเชื้อ *H. canis* จากการกินเห็บที่มีเชื้อเข้าไป (Pantchev et al., 2015)

เมื่อเชื้อเข้าสู่กระแสเลือดของสุนัข เชื้อจะติดเข้าสู่เซลล์เป้าหมายต่างๆ ได้แก่ เชื้อ *E. canis*, *E. chaffeensis* และ *E. ewingii* จะติดเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์ (Monocyte) และลิมโฟไซต์ (Lymphocyte) เชื้อ *H. canis* ติดเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์ และนิวโทรฟิล (Neutrophil) เชื้อ *B. canis* และ *B. gibsoni* ติดเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดง เชื้อ *A. platys* และ *A. phagocytophila* ติดเข้าสู่เกล็ดเลือด (Platelets) และเชื้อ *B. vinsonii* ติดเข้าสู่เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelial cells) (Skotarczak, 2003; Carrade et al., 2009; Baneth et al., 2015) เชื้อเหล่านี้มีระยะฟักตัวประมาณ 2-3 สัปดาห์ ก่อนจะแสดงอาการทางคลินิก ซึ่งที่พบบ่อย ได้แก่ โลหิตจาง เยื่อเมือกซีด ไข้และซึม สุนัขบางตัวที่ติดเชื้อ *E. canis* จะมีเลือดกำเดาออกง่ายและอาจแสดงอาการทางประสาทร่วมด้วย สุนัขบางตัวที่ติดเชื้อ *H. canis* อาจแสดงอาการเจ็บกล้ามเนื้อขาโดยเฉพาะขาหลัง ทำให้ขาหลังไม่มีแรงลุกยืนลำบาก จนถึงเป็นอัมพาตของขาหลัง สุนัขอายุน้อยมักจะตายถ้าไม่ได้รับการวินิจฉัยที่ถูกต้องและได้รับการรักษาทันเวลา

ปัจจุบันการวินิจฉัยโรคพยาธิในเลือดในสุนัขสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้ชุดตรวจสำเร็จรูป (Rapid test kit) ซึ่งให้ผลตรวจรวดเร็ว สามารถตรวจหาแอนติบอดีต่อเชื้อ *E. canis*, *E. ewingii*, *A. platys* และ *A. phagocytophila* ได้ แต่ยังไม่สามารถตรวจหาแอนติบอดีต่อเชื้ออื่นๆ นอกเหนือจากนี้ได้ วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ สามารถบอกได้เพียงว่าสุนัขมีแอนติบอดีต่อเชื้อ แต่ไม่สามารถแยกแยะได้ว่าแอนติบอดีนั้นเกิดจากการที่สุนัขกำลังติดเชื้อหรือเป็นแอนติบอดีที่เกิดขึ้นจากการติดเชื้อครั้งก่อน วิธีการทำฟิล์มเลือดบาง (Thin blood smear) และย้อมด้วยสี Wright–Giemsa เพื่อตรวจหาเชื้อภายใต้กล้องจุลทรรศน์ วิธีนี้มีข้อดี คือ ให้ผลตรวจรวดเร็วและมีค่าใช้จ่ายน้อย แต่มีข้อจำกัด คือ มีความไว (Sensitivity) ต่ำ และต้องอาศัยความชำนาญของผู้ตรวจ และวิธีปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอไรส (Polymerase Chain Reaction; PCR) เพื่อตรวจหาสารพันธุกรรมของเชื้อ ซึ่งมีทั้งวิธีปฏิกิริยา PCR แบบทั่วไป (Conventional PCR) ที่ตรวจหาสารพันธุกรรมของเชื้อทีละเชื้อ และวิธีปฏิกิริยา PCR แบบมัลติเพล็กซ์เรียลไทม์ (Multiplex real-time PCR) ที่สามารถตรวจหาสารพันธุกรรมได้ตั้งแต่ 2 เชื้อขึ้นไปพร้อมกัน (Bell and Patel, 2005; Peleg *et al.*, 2010; Harrus and Waner, 2011; Allison and Little, 2013; Kongklieng *et al.*, 2014; René-Martellet *et al.*, 2015; Modrý *et al.*, 2017) ซึ่งวิธีปฏิกิริยา PCR แบบมัลติเพล็กซ์เรียลไทม์ต้องอาศัยเครื่องเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมแบบเวลาจริงที่มีราคาสูงมากไม่ได้มีใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป วิธีปฏิกิริยา PCR มีข้อดี คือ มีความไวและความจำเพาะ (Specificity) สูง สามารถตรวจได้ทุกชนิดเชื้อและเป็นวิธีทางห้องปฏิบัติการที่ใช้ตรวจวินิจฉัยยืนยันการติดเชื้อพยาธิในเลือด แต่วิธีนี้มีข้อจำกัด คือ มีขั้นตอนที่ซับซ้อนและใช้เวลานานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นโดยเฉพาะเมื่อตรวจทีละเชื้อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต่อยอดเทคนิคการตรวจหาเชื้อพยาธิในเลือดด้วยวิธีปฏิกิริยา PCR แบบมัลติเพล็กซ์ (multiplex PCR; mPCR) โดยในงานวิจัยก่อนหน้านี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาเทคนิค mPCR

ที่สามารถตรวจหาสารพันธุกรรมของเชื้อ *E. canis*, *H. canis* และ *B. canis* พร้อมกันได้ (Nithikadpanich *et al.*, 2019) ในงานวิจัยนี้เทคนิค mPCR ถูกพัฒนาขึ้นให้สามารถตรวจหาสารพันธุกรรมของเชื้อ *E. Canis*, *H. canis*, *B. canis* และ *A. platys* ได้พร้อมกัน 4 ชนิด โดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นจะช่วยลดระยะเวลาการตรวจวินิจฉัยทางห้องปฏิบัติการ

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวอย่างเลือดสุนัข

เจาะเก็บเลือดปริมาตร 2 มล. จากหลอดเลือดดำขาหน้า (Cephalic vein) ของสุนัขจากศูนย์พักพิงสุนัขในอำเภอตอยสะเกิด และอำเภอสนป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวนรวม 195 ตัว ใส่ในหลอดที่มีสารกันเลือดแข็งตัวชนิด EDTA (BD Vacutainer, USA) แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C. ในระหว่างรอการสกัดดีเอ็นเอ งานวิจัยนี้ได้ผ่านการอนุมัติจากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (Approval No. MACUC 005S/2562)

การสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างเลือด

การสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างเลือดทำภายใน 12 ชั่วโมงหลังได้รับเลือด โดยเปิดตัวอย่างเลือดปริมาตร 30 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดปั่นเหวี่ยง เติมน้ำกลั่นปราศจากเชื้อปริมาตร 1 มล. กลับหลอด 3-4 ครั้ง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบ/นาที นาน 1 นาที ทิ้งส่วนใสและล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อปริมาตร 1 มล. ผสมตะกอนกับน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบ/นาที นาน 1 นาที ทิ้งส่วนใสทำซ้ำ 1 ครั้ง แล้วเติมสาร 5% Chelex resin (Sigma-Aldrich, USA) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และเอนไซม์ Proteinase K (Invitrogen, USA) ปริมาตร 10 ไมโครลิตร (ความเข้มข้น 10 มก./มล.) ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 56°C. นาน 30 นาที แล้วบ่มต่อ

ที่อุณหภูมิ 95°C. นาน 10 นาที จากนั้นตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบ/นาที นาน 1 นาที เก็บส่วนใสให้หลอดปั่นเหวี่ยงหลอดใหม่แล้วเก็บดีเอ็นเอที่สกัดได้ที่ -20°C. ตรวจวัดปริมาณและคุณภาพของดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230, 260 และ 280 นาโนเมตร โดยเครื่อง Nanodrop 2000/2000C spectrophotometer V1.0 (Thermo Fisher Scientific, USA)

การตรวจสอบยีน *VirB9* ของ *E. canis*, *18S rRNA* ของ *H. canis* และ *B. canis* และ *groEL* ของ *A. platys*

นำดีเอ็นเอที่สกัดได้มาเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของยีนเป้าหมายด้วยปฏิกิริยา PCR ด้วยชุด Quick Taq® HS DyeMix (Toyobo, Japan) โดยใช้ไพรเมอร์ (Primer) ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Primer sequence for *VirB9* gene of *E. canis*, *18S rRNA* gene for *H. canis* and *B. canis*, and *groEL* gene for *A. platys*

Pathogen	Gene	Primer name	Primer sequence (5'-3')	Product size (base pair; bp)	T _m
<i>E. canis</i>	<i>VirB9</i>	Ehr1401F	CCATAAGCATAGCTGATAACCCTGTTACAA	380	62
		Ehr1780R	TGGATAATAAAACCGTACTATGTATGCTAG		
<i>H. canis</i>	<i>18S</i>	Hs462F	TGTGTACAAAGGGCAGGGACG	462	62
	<i>rRNA</i>	Hs462R	GCGGCTTAATTTGACTCAACAC		
<i>B. canis</i>	<i>18S</i>	Ba103F	CCAATCCTGACACAGGGAGGTAGTGACA	619	68
	<i>rRNA</i>	Ba721R	CCCCAGAACCCAAAGACTTTGATTTCTCTCAAG		
<i>A. platys</i>	<i>groEL</i>	Ap724F	AAGGCGAAAGAAGCAGTCTTA	724	58
		Ap724R	CATAGTCTGAAGTGGAGGAC		

สภาวะที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของยีนเป้าหมายทั้ง 4 ยีนเหมือนกัน ได้แก่ Initial-denaturation (94°C. นาน 3 นาที จำนวน 1 รอบ) Denaturation (94°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) Annealing (58°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) Extension (68°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) และ Final extension (72°C. นาน 10 นาที จำนวน 1 รอบ)

นำผลผลิตดีเอ็นเอที่ได้จากปฏิกิริยา PCR มาแยกตามน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีอิเล็กโตรโฟรีซิส (Electrophoresis) โดยใช้อะกาโรสเจล (Agarose gel; Biobasic, Canada) ที่ความเข้มข้น 2% และใช้ 1x Tris-

Borate-EDTA (TBE) buffer (Biobasic) เป็นตัวนำไฟฟ้า ใช้กระแสไฟฟ้า 80 โวลต์ นาน 60 นาที ย้อมเจลด้วยเอทิดียมโบรไมด์ (Ethidium bromide) (Biobasic) เพื่อให้เห็นแถบดีเอ็นเอ ตัดเจลของแถบดีเอ็นเอที่ขึ้นตรงตำแหน่งขนาด 380 bp (สำหรับยีน *VirB9*) 462 bp (สำหรับยีน *18S rRNA* ของ *H. canis*) 619 bp (สำหรับยีน *18S rRNA* ของ *B. canis*) และ 724 bp (สำหรับยีน *groEL*) มาทำบริสุทธิ์ด้วย PCR Clean-Up & Gel Extraction Kit (Bio-Helix, Taiwan) แล้วส่งวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ (Nucleotide sequencing) ที่บริษัท 1st Base จำกัด ประเทศมาเลเซีย เปรียบเทียบลำดับ

นิวคลีโอไทด์ที่ได้กับลำดับนิวคลีโอไทด์ในฐานข้อมูล NCBI ด้วยโปรแกรม BLAST ใช้ดีเอ็นเอดังกล่าวเป็นกลุ่มควบคุมเชิงบวก (Positive control) ของปฏิกิริยา mPCR ต่อไป

การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอน Annealing

เตรียมปฏิกิริยา PCR ที่สภาวะ Initial-denaturation (94°C. นาน 3 นาที จำนวน 1 รอบ) Denaturation (94°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) Annealing (57, 58, 59 และ 60°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) Extension (68°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) และ Final extension (72°C. นาน 10 นาที จำนวน 1 รอบ) ปฏิกิริยา PCR ประกอบด้วย Quick Taq® HS DyeMix ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ไพโรเมอร์ที่ความเข้มข้น 500 nM และดีเอ็นเอปริมาตร 1 ไมโครลิตร (10⁴ copy numbers) ปริมาตรรวมของปฏิกิริยาเท่ากับ 20 ไมโครลิตร อ่านผลด้วยวิธีอิเล็กโตรโฟรีซิส เปรียบเทียบความเข้มของแถบดีเอ็นเอภายใต้แสงเหนือม่วง (Ultraviolet) บันทึกภาพด้วยเครื่อง GelMax® UV Gel Imager (Labortechnik, Germany) เลือกอุณหภูมิ Annealing ที่สามารถให้ความเข้มของแถบดีเอ็นเอของยีน *VirB9*, *18S rRNA* และ *AgroEL* มากที่สุด และไม่มีแถบดีเอ็นเอที่ไม่จำเพาะเกิดขึ้น เพื่อใช้ในปฏิกิริยา mPCR ต่อไป

การศึกษาความเข้มข้นของไพโรเมอร์ที่เหมาะสม

เตรียมปฏิกิริยา PCR ที่สภาวะ Initial-denaturation (94°C. นาน 3 นาที จำนวน 1 รอบ) Denaturation (94°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) Annealing (58°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) Extension (68°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) และ Final extension (72°C. นาน 10 นาที จำนวน 1 รอบ) ปฏิกิริยา PCR ประกอบด้วย Quick Taq® HS DyeMix ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ไพโรเมอร์ที่ความเข้มข้น 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 nM

และดีเอ็นเอปริมาตร 1 ไมโครลิตร (10⁴ copy numbers) ปริมาตรรวมของปฏิกิริยาเท่ากับ 20 ไมโครลิตร เปรียบเทียบความเข้มของแถบดีเอ็นเอหลังการทำอิเล็กโตรโฟรีซิส เลือกความเข้มข้นของไพโรเมอร์ที่ให้ความเข้มของแถบดีเอ็นเอของยีน *VirB9*, *18S rRNA* และ *AgroEL* มากที่สุดและไม่มีแถบดีเอ็นเอที่ไม่จำเพาะเกิดขึ้น เพื่อใช้ในปฏิกิริยา mPCR ต่อไป

การศึกษาปริมาณของดีเอ็นเอน้อยที่สุดที่สามารถ

ตรวจพบผลิตภัณฑ์ด้วยปฏิกิริยา mPCR

เตรียมปฏิกิริยา PCR ที่สภาวะ Initial-denaturation (94°C. นาน 3 นาที จำนวน 1 รอบ) Denaturation (94°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) Annealing (58°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) Extension (68°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) และ Final extension (72°C. นาน 10 นาที จำนวน 1 รอบ) ปฏิกิริยา PCR ประกอบด้วย Quick Taq® HS DyeMix ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ดีเอ็นเอมีความเข้มข้นที่ 10⁵, 10⁴, 10³, 10², 10¹ และ 10⁰ copy numbers ไพโรเมอร์ที่ความเข้มข้น 400 nM ของ Ap724F และ Ap724R, ที่ 200 nM ของ Ehr1401F, Ehr1780R, Ba103F และ Ba721R และที่ 100 nM ของ Hs462F และ Hs462R ปริมาตรรวมของปฏิกิริยาเท่ากับ 20 ไมโครลิตร เปรียบเทียบความเข้มของแถบดีเอ็นเอหลังการทำอิเล็กโตรโฟรีซิส

การศึกษาความจำเพาะในการตรวจพบยีน *VirB9*, *18S rRNA* และ *AgroEL* ด้วยปฏิกิริยา mPCR ในตัวอย่างเลือดของสุนัขป่วย

นำตัวอย่างเลือดสุนัขที่ตรวจพบยีน *VirB9* ของ *E. canis*, *18S rRNA* ของ *B. canis* และ *H. canis* และ/หรือ *groEL* ของ *A. platys* มาศึกษาความจำเพาะของปฏิกิริยา mPCR โดยเตรียมปฏิกิริยา mPCR ที่สภาวะ

Initial–denaturation (94°C. นาน 3 นาที จำนวน 1 รอบ) Denaturation (94°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) Annealing (58°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) Extension (68°C. นาน 30 วินาที จำนวน 35 รอบ) และ Final extension (72°C. นาน 10 นาที จำนวน 1 รอบ) ปฏิกริยา mPCR ประกอบด้วย Quick Taq® HS DyeMix ปริมาตร 15 ไมโครลิตร ดีเอ็นเอปริมาตร 1 ไมโครลิตร (0.5 นาโนกรัม) ไพรมเมอร์ที่ความเข้มข้น 400 nM ของ Ap724F และ Ap724R ที่ 200 nM ของ Ehr1401F, Ehr1780R, Ba103F และ Ba721R และที่ 100 nM ของ Hs462F และ Hs462R ปริมาตรรวมของปฏิกริยาเท่ากับ 25 ไมโครลิตร

ผลการวิจัยและวิจารณ์

เมื่อนำดีเอ็นเอซึ่งเตรียมขึ้นจากปฏิกริยา PCR ด้วยคู่ไพรมเมอร์ Ehr1401F/Ehr1780R, Hs462F/Hs462R, Ba103F/Ba721R และ Ap724F/Ap724R มาวิเคราะห์ความเหมือน (Identity) กับยีน *VirB9* ของเชื้อ *E. canis* ยีน *18S rRNA* ของเชื้อ *H. canis* และ *B. canis* และยีน *AgroEL* ของเชื้อ *A. platys* ตามลำดับ ด้วยโปรแกรม BLAST กับฐานข้อมูล NCBI พบว่าชิ้นดีเอ็นเอที่เตรียมขึ้นมีความเหมือนกับยีน *VirB9* ของ *E. canis* ยีน *18S rRNA* ของ *B. canis* และยีน *AgroEL* ของ *A. platys* ร้อยละ 100 และมีความเหมือนกับยีน *18S rRNA* ของ *H. canis* ร้อยละ 99.74 (Table 2)

Table 2 Nucleotide sequence homology of *VirB9*, *18S rRNA* and *groEL* PCR products compared to NCBI database

Pathogen	Homologous gene	GenBank accession No.	BLAST details			
			Max score	% Query coverage	% Identity	E-value
<i>E. canis</i>	<i>VirB9</i>	CP025749.1	1853	100	100	0.0
<i>H. canis</i>	<i>18S rRNA</i>	MH615006.1	712	99	99.74	0.0
<i>B. canis</i>	<i>18S rRNA</i>	MG586235.1	1947	100	100	0.0
<i>A. platys</i>	<i>groEL</i>	LC428207.1	1125	100	100	0.0

นำชิ้นดีเอ็นเอดังกล่าวมาใช้เป็นกลุ่มควบคุมเชิงบวกเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในขั้นตอน Annealing เพื่อนำไปใช้ในปฏิกริยา mPCR ต่อไป โดยเลือกอุณหภูมิทดสอบ 4 อุณหภูมิ ได้แก่ 57, 58, 59 และ 60°C. พบว่าที่อุณหภูมิ 58°C. สามารถตรวจพบแถบดีเอ็นเอที่มีขนาดความยาวของนิวคลีโอไทด์ตรงกับที่ต้องการ คือ 380 bp

สำหรับ *E. canis*, 462 bp สำหรับ *H. Canis*, 619 bp สำหรับ *B. canis* และ 724 bp สำหรับ *A. platys* และมีความเข้มและความคมชัดมากกว่าที่อุณหภูมิ 57, 59 และ 60°C. และไม่มีแถบดีเอ็นเอที่ไม่จำเพาะเกิดขึ้น (Figure 1) ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิ 58°C. เป็นอุณหภูมิสำหรับขั้นตอน Annealing ในปฏิกริยา mPCR ต่อไป

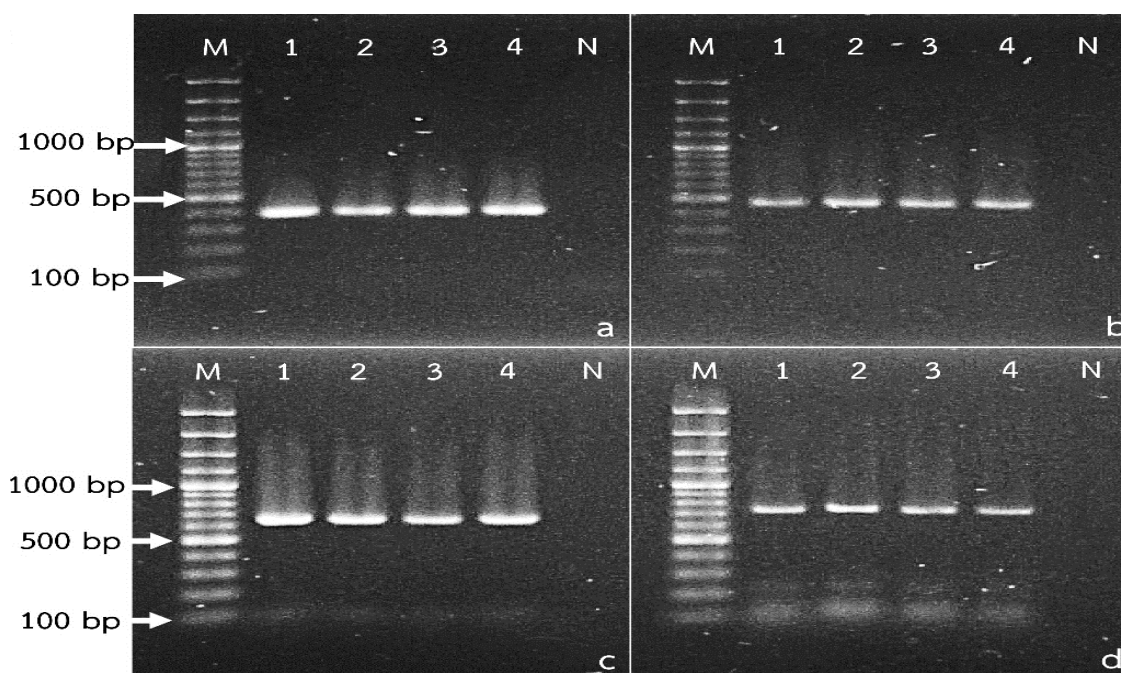


Figure 1 Optimization of annealing temperature for (a) *VirB9* of *E. canis*; (b) *18S rRNA* of *H. canis*; (c) *18S rRNA* of *B. canis* and (d) *groEL* of *A. platys*. (Lane M = 100 bp plus DNA marker; 1 = 57°C; 2 = 58°C; 3 = 59°C; 4 = 60°C; N = negative control)

นำชิ้นดีเอ็นเอของกลุ่มควบคุมเชิงบวกมาศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของไพรเมอร์ โดยเลือกความเข้มข้นที่ทดสอบ 10 ความเข้มข้น ได้แก่ 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 nM พบว่าที่ความเข้มข้น 100 nM ขึ้นไป สามารถตรวจพบแถบดีเอ็นเอที่มีขนาดความยาวของนิวคลีโอไทด์ตรงกับที่ต้องการ แต่แถบที่เกิดจากความเข้มข้น 200 nM สำหรับไพรเมอร์

Ehr1401F/Ehr1780R และ Ba103F/Ba721R, 100 nM สำหรับไพรเมอร์ Hs462F/Hs462R และ 400 nM สำหรับไพรเมอร์ Ap724F/Ap724R มีความเข้มข้นและความคมชัดมากกว่าที่ความเข้มข้นอื่น (Figure 2) ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นดังกล่าวของแต่ละไพรเมอร์สำหรับใช้ในปฏิกิริยา mPCR ต่อไป

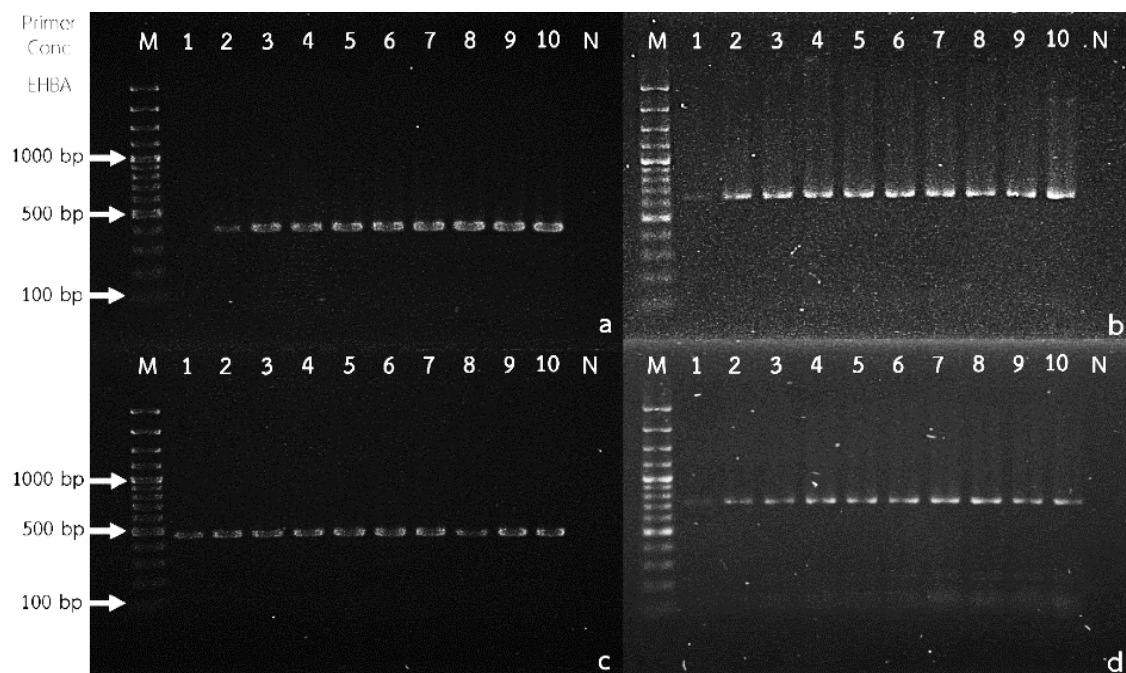


Figure 2 Optimization of primer concentration for (a) *VirB9* of *E. canis*; (b) *18S rRNA* of *H. canis*; (c) *18S rRNA* of *B. canis* and (d) *groEL* of *A. platys*. (Lane M = 100 bp plus DNA marker; 1 = 50 nM; 2 = 100 nM; 3 = 150 nM; 4 = 200 nM; 5 = 250 nM; 6 = 300 nM; 7 = 350 nM; 8 = 400 nM; 9 = 450 nM; 10 = 500 nM; N = negative control)

นำชิ้นดีเอ็นเอของกลุ่มควบคุมเชิงบวกมาศึกษาต่อเพื่อหาปริมาณดีเอ็นเอต้นแบบที่น้อยที่สุดที่ปฏิกิริยา PCR สามารถตรวจพบได้ โดยศึกษาปริมาณดีเอ็นเอต้นแบบที่ 10^5 , 10^4 , 10^3 , 10^2 , 10^1 และ 10^0 copy numbers พบว่าปฏิกิริยา PCR สามารถตรวจพบแถบดีเอ็นเอที่เห็นได้ชัดของยีน *VirB9* ของ *E. canis*, *18S rRNA*

ของ *H. canis* และ *B. canis* และ *groEL* ของ *A. platys* ได้ที่ปริมาณดีเอ็นเอต้นแบบเท่ากับ 10^1 copy numbers ของเชื้อ *E. canis* และ *B. canis*, 10^4 copy numbers ของเชื้อ *H. canis* และ 10^3 copy numbers ของเชื้อ *A. platys* (Figure 3)

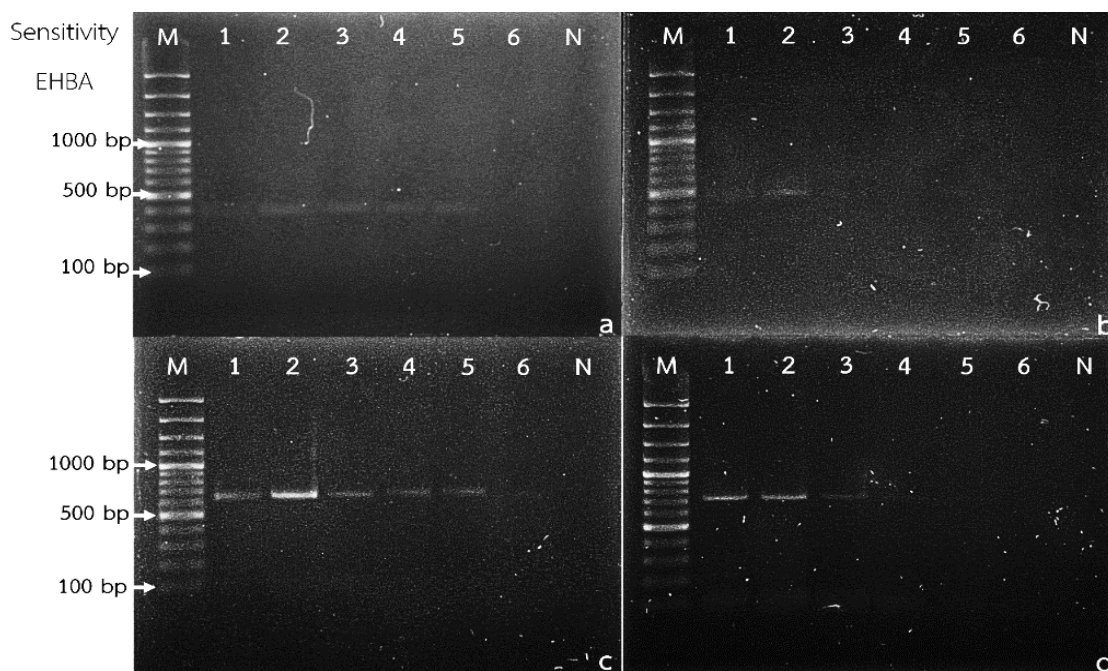


Figure 3 Determination of least detectable DNA template by PCR for (a) *VirB9* of *E. canis*; (b) *18S rRNA* of *H. canis*; (c) *18S rRNA* of *B. canis* and (d) *groEL* of *A. platys*. (Lane M = 100 bp plus DNA marker; 1-6 = 10^5 - 10^0 copy numbers, respectively; N = negative control)

ศึกษาความจำเพาะของปฏิกิริยา mPCR ที่พัฒนาขึ้นกับตัวอย่างดีเอ็นเอที่แยกได้จากเลือดสุนัขที่ป่วยจากการติดเชื้อ *E. canis*, *H. canis*, *B. canis* หรือ *A. platys* อย่างใดอย่างหนึ่งหรือร่วมกัน พบว่าจากตัวอย่างเลือดสุนัขที่ติดเชื้อ *E. canis* เพียงอย่างเดียว ปฏิกิริยา mPCR ที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างแถบดีเอ็นเอที่มีน้ำหนักโมเลกุลตรงกับยีน *VirB9* ของ *E. canis* และไม่สร้างแถบดีเอ็นเอที่มีน้ำหนักโมเลกุลตรงกับยีน *18S rRNA* ของ *H. canis* และ *B. canis* และยีน *groEL* ของ *A. platys* และจากตัวอย่างเลือดสุนัขที่ติดเชื้อ *H. canis* หรือ *B. canis* เพียงอย่างเดียว ปฏิกิริยา mPCR ที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างแถบดีเอ็นเอที่มีน้ำหนักโมเลกุลตรงกับยีน *18S rRNA* ของ *H. canis* และ *B. canis* และไม่สร้างแถบดีเอ็นเอที่มีน้ำหนักโมเลกุลตรงกับยีน *VirB9* ของ *E. canis* และยีน *groEL* ของ *A. platys* และจาก

ตัวอย่างเลือดสุนัขที่ติดเชื้อ *A. platys* เพียงอย่างเดียว ปฏิกิริยา mPCR ที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างแถบดีเอ็นเอที่มีน้ำหนักโมเลกุลตรงกับยีน *groEL* ของ *A. platys* และไม่สร้างแถบดีเอ็นเอที่มีน้ำหนักโมเลกุลตรงกับยีน *VirB9* ของ *E. canis* และยีน *18S rRNA* ของ *H. canis* และ *B. canis*

จากตัวอย่างเลือดสุนัขที่ติดเชื้อทั้ง *E. canis*, *H. canis*, *B. canis* และ *A. platys* ปฏิกิริยา mPCR ที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างแถบดีเอ็นเอที่มีน้ำหนักโมเลกุลตรงกับทั้งยีน *VirB9* ของ *E. canis*, *18S rRNA* ของ *H. canis* และ *B. canis* และ *groEL* ของ *A. platys* (Figure 4) ซึ่งผลการศึกษานี้บ่งชี้ว่าปฏิกิริยา mPCR ที่พัฒนาขึ้นมีความจำเพาะในการตรวจพบยีน *VirB9* ของ *E. canis*, *18S rRNA* ของ *H. canis* และ *B. canis* และ *groEL* ของ *A. platys*

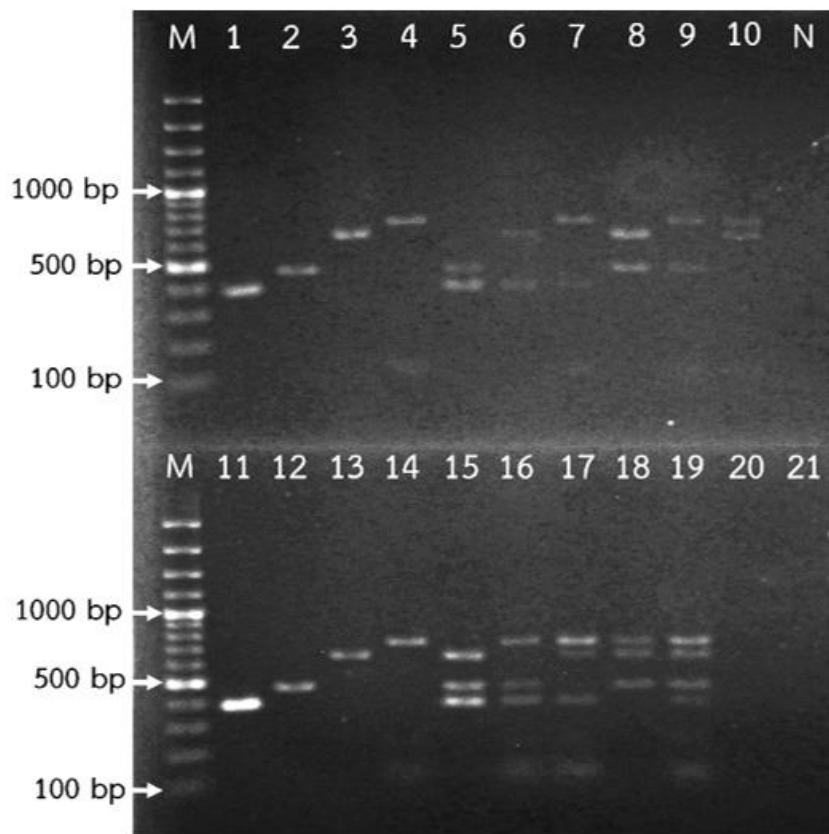


Figure 4 Determination of specificity of mPCR (Lane M = 100 bp plus DNA marker; 1 and 11 = *VirB9* of *E. canis*; 2 and 12 = *18S rRNA* of *H. canis*; 3 and 13 = *18S rRNA* of *B. canis*; 4 and 14 = *groEL* of *A. platys*; 5 = *VirB9* of *E. canis* and *18S rRNA* of *H. canis*; 6 = *VirB9* of *E. canis* and *18S rRNA* of *B. canis*; 7 = *VirB9* of *E. canis* and *groEL* of *A. platys*; 8 = *18S rRNA* of *B. canis* and *H. canis*; 9 = *18S rRNA* of *H. canis* and *groEL* of *A. platys*; 10 = *18S rRNA* of *B. canis* and *groEL* of *A. platys*; 15 = *VirB9* of *E. canis* and *18S rRNA* of *H. canis* and *B. canis*; 16 = *VirB9* of *E. canis*, *18S rRNA* of *H. canis* and *groEL* of *A. platys*; 17 = *VirB9* of *E. canis*, *18S rRNA* of *B. canis* and *groEL* of *A. platys*; 18 = *18S rRNA* of *H. canis* and *B. canis* and *groEL* of *A. platys*; 19 = *VirB9* of *E. canis*, *18S rRNA* of *H. canis* and *B. canis*, and *groEL* of *A. platys*; 20 = blood sample from an uninfected dog; 21 = empty lane; N = negative control)

ผลการศึกษาจะเป็นประโยชน์ต่อการวินิจฉัยการติดเชื้อ *E. canis*, *H. canis*, *B. canis* และ *A. platys* ในสุนัข โดยจะช่วยลดระยะเวลาในการตรวจทางห้องปฏิบัติการ เพราะสามารถตรวจหา 4 เชื้อพร้อมกันได้ในเวลาเดียวกัน และจะช่วยลดค่าใช้จ่ายของเจ้าของสุนัขในการตรวจวินิจฉัยโรคทางห้องปฏิบัติการด้วย

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้พัฒนาเทคนิคปฏิกิริยา mPCR เพื่อตรวจหายีน *VirB9* ของ *E. canis*, *18S rRNA* ของ *H. canis* และ *B. canis* และ *groEL* ของ *A. platys* เพื่อช่วยในการวินิจฉัยทางห้องปฏิบัติการต่อโรคติดเชื้อทั้งสี่ชนิดนี้ในสุนัข ผลที่ได้จากการศึกษาคือสถานะที่เหมาะสมของปฏิกิริยา mPCR ที่สามารถตรวจพบยีน *VirB9* ของ *E. canis*, *18S rRNA* ของ *H. canis* และ *B. canis* และ *groEL* ของ *A. platys* ได้อย่างแม่นยำ และประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาคือ การช่วยลดระยะเวลาของการตรวจวินิจฉัยโรคติดเชื้อ *E. canis*, *H. canis*, *B. canis* และ *A. platys* ในสุนัข

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

เอกสารอ้างอิง

- Allison, R.W. and S.E. Little. 2013. Diagnosis of rickettsial diseases in dogs and cats. **Veterinary Clinical Pathology** 42(2): 127-144.
- Baneth, G. 2011. Perspectives on canine and feline hepatozoonosis. **Veterinary Parasitology** 181(1): 3-11.
- Baneth, G., S. Harrus, A. Gal and I. Aroch. 2015. Canine vector-borne co-infections: *Ehrlichia canis* and *Hepatozoon canis* in the same host monocytes. **Veterinary Parasitology** 208(1): 30-34.
- Bell, C.A. and R. Patel. 2005. A real-time combined polymerase chain reaction assay for the rapid detection and differentiation of *Anaplasma phagocytophilum*, *Ehrlichia chaffeensis*, and *Ehrlichia ewingii*. **Diagnostic Microbiology and Infectious Disease** 53: 301-306.
- Carrade, D.D., J.E. Foley, D.L. Borjesson and J.E. Sykes. 2009. Canine granulocytic anaplasmosis: a review. **Journal of Veterinary Internal Medicine** 23: 1129-1141.
- Chomel, B. 2011. Tick-borne infections in dogs-an emerging infectious threat. **Veterinary Parasitology** 179(4): 294-301.

- Harrus, S. and T. Waner. 2011. Diagnosis of canine monocytotropic ehrlichiosis (*Ehrlichia canis*): an overview. **The Veterinary Journal** 187: 292-296.
- Jittapalapong, S., O. Rungphisutthipongse, S. Maruyama, J.J. Schaefer and R.W. Stich. 2006. Detection of *Hepatozoon canis* in stray dogs and cats in Bangkok, Thailand. **Annals of the New York Academy of Sciences** 1081: 479-488.
- Kongklieng, A., T. Thanchomnang, P.M. Intapan, T. Boonmars, P. Janwan, O. Sanpool, V. Lulitanond, P. Taweethavonsawat, S. Chungpivat, N. Morakote and W. Maleewong. 2014. Detection of *Ehrlichia canis* in canine blood samples by real-time fluorescence resonance energy transfer (FRET) PCR and melting curve analysis. **The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health** 45(5): 1149-1156.
- Laummaunwai, P., P. Sriraj, R. Aukkanimart, T. Boonmars, S. Boonjaraspinyo, S. Sangmaneedet, P. Potchimplee, P. Khianman and W. Maleewong. 2014. Molecular detection and treatment of tick-borne pathogens in domestic dogs in Khon Kaen, northeastern Thailand. **The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health** 45(5): 1157-1166.
- Little, S.E. 2010. Ehrlichiosis and anaplasmosis in dogs and cats. **Veterinary Clinics of North America; Small Animal Practice** 40(6): 1121-1140.
- Liu, M., N. Ruttayaporn, V. Saechan, C. Jirapattharasate, P. Vudriko, P.F. Moumouni, S. Cao, T. Inpankaew, A.P. Ybañez, H. Suzuki and X. Xuan. 2016. Molecular survey of canine vector-borne diseases in stray dogs in Thailand. **Parasitology International** 65(4): 357-361.
- Modrý, D., R. Beck, K. Hrazdilová and G. Baneth. 2017. A review of methods for detection of *Hepatozoon* infection in carnivores and arthropod vectors. **Vector-Borne and Zoonotic Diseases** 17(1): 66-72.
- Nithikadpanich, C., P. Takam and W. Charerntantanakul. 2019. Development of multiplex polymerase chain reaction for simultaneous detection of *Ehrlichia canis*, *Hepatozoon canis* and *Babesia canis* in canine blood. **Journal of Agricultural Research and Extension** 36(2): 80-90. [in Thai]

- Pantchev, N., S. Pluta, E. Huisinga, S. Nather, M. Scheufelen, M.G. Vrhovec, A. Schweinitz, H. Hampel and R.K. Straubinger. 2015. Tick-borne diseases (Borreliosis, Anaplasmosis, Babesiosis) in German and Austrian dogs: Status quo and review of distribution, transmission, clinical findings, diagnostics and prophylaxis. **Parasitology Research** 114(Suppl.1): S19-54.
- Peleg, O., G. Baneth, O. Eyal, J. Inbar and S. Harrus. 2010. Multiplex real-time qPCR for the detection of *Ehrlichia canis* and *Babesia canis vogeli*. **Veterinary Parasitology** 173(3-4): 292-299.
- Piratae, S., K. Pimpjong, K. Vaisusuk and W. Chatan. 2015. Molecular detection of *Ehrlichia canis*, *Hepatozoon canis* and *Babesia canis vogeli* in stray dogs in Mahasarakham province, Thailand. **Annals of Parasitology** 61(3): 183-187.
- René-Martellet, M., I. Lebert, J. Chêne, R. Massot, M. Leon, A. Leal, S. Badavelli, K. Chalvet-Monfray, C. Ducrot, D. Abrial, L. Chabanne and L. Halos. 2015. Diagnosis and incidence risk of clinical canine monocytic ehrlichiosis under field conditions in Southern Europe. **Parasites & Vectors** 8(1): 3.
- Skotarczak, B. 2003. Canine ehrlichiosis. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine** 10: 137-141.
- Solano-Gallego, L., A. Sainz, X. Roura, A. Estrada-Peña and G. Miró. 2016. A review of canine babesiosis: the European perspective. **Parasites & Vectors** 9(1): 336.

ผลของการอนุบาลปูนา (*Sayamia bangkokensis*) ด้วยการเสริมสาหร่ายอาร์โธรสไปรา
ต่อการเจริญเติบโตและต้นทุนในการอนุบาล

Effects of Nursing Rice-field Crab (*Sayamia bangkokensis*) with *Spirulina*
(*Arthrospira*) *platensis* Supplemented Diets on Growth Performance and Cost

ธนบดี ปิ่นทศิริ จงกล พรหมยะ* ชนกกันต์ จิตมนัส และสุดาพร ตงศิริ

Thanabodee Pintasiri, Jongkorn Promya*, Chanagun Chitmanat and Sudaporn Tongsi

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resource, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: jongkolp@mju.ac.th

Received: February 25, 2020

Revised: July 08, 2020

Accepted: August 06, 2020

Abstract

Effects of *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* supplemented diets on growth performance and cost of rice-field crab (*Sayamia bangkokensis*) nursing were investigated. Four treatments with three replications, four experimental diets were T1 control (Pellets feed; PF) T2, T3 and T4 pellet feed mixed with dry *Arthrospira* 3, 5 and 10% (PFA 3%, PFA 5%, and PFA 10%), respectively. The initial average weight was 0.0082 ± 0.0002 g/crab. Nursing was conducted in round plastic basin, 25 crab/unit or 385 crab/m² give some information how to feed the crab 60 days. Growth performance in terms of weight, length and carapace width were collected every 10 days. Results showed that juvenile crab fed with PFA 5% had average weight gain (1.2900 ± 0.2011 g/crab) average daily growth (0.021 ± 0.0033 g/crab/day), specific growth rate ($2.1500 \pm 0.3351\%$), feed conversion rate (0.9200 ± 0.2007), protein efficiency rate (0.0342 ± 0.0053), and survival rate ($87.33 \pm 1.2018\%$) better than other experimental groups ($p < 0.05$). Water qualities and cost of rearing (2.0320 ± 0.4351 - 3.4998 ± 0.2356 Baht/crab), respectively were not significantly different ($p > 0.05$) in all treatments. Therefore, nursing rice-field crab with 5% of *A. platensis* provided the highest growth performances and its development including acceptable production cost which will be a suitable feed for nursing rice-field in the future.

Keywords: nursing, rice-field crab, *Sayamia bangkokensis*, *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis*

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสาหร่ายอาร์โธรสไปราในอาหารต่อการเจริญเติบโตและต้นทุนการอนุบาลลูกปูนา (*Sayamia bangkokensis*) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design; CRD) แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) อาหารเม็ดสำเร็จรูป (Pellet feed; PF) ชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปราผง 3, 5 และ 10% (Pellet feed mixed with dry *Arthrospira*; PFA 3%, PFA 5% and PFA 10%) ตามลำดับ ลูกปูนามีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.0082 ± 0.0002 กรัม/ตัว อนุบาลในกะละมังทรงกลม ความหนาแน่น 25 ตัว/กะละมัง หรือ 385 ตัว/ตรม. โดยอนุบาลเป็นระยะเวลา 60 วัน เก็บข้อมูลโดยการชั่งน้ำหนักวัดความยาว และความกว้างกระดอง (Carapace) ของลูกปูนาทุกๆ 10 วัน พบว่าลูกปูนาที่อนุบาลด้วยอาหารผสมอาร์โธรสไปราผง 5% (PFA 5%) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.2900 ± 0.2011 กรัม/ตัว อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน 0.021 ± 0.0033 กรัม/ตัว/วัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ $2.1500 \pm 0.3351\%$ อัตราการแลกเนื้อ 0.9200 ± 0.2007 ประสิทธิภาพในการใช้โปรตีน 0.0342 ± 0.0053 และอัตราการรอด $87.33 \pm 1.2018\%$ ดีกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คุณภาพน้ำ และต้นทุนการผลิตลูกปูนาทั้ง 4 ชุดการทดลองอยู่ระหว่าง 2.0320 ± 0.4351 - 3.4998 ± 0.2356 บาท/ตัว ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) สรุปได้ว่าการอนุบาลลูกปูนาด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปราผง 5% ช่วยให้มีการเจริญเติบโตดีที่สุด รวมถึงต้นทุนการอนุบาลที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาไปใช้เป็นสูตรอาหารในการอนุบาลลูกปูนาต่อไป

คำสำคัญ: การอนุบาล ปูนา อาร์โธรสไปรา

คำนำ

ปูนามีบทบาทที่สำคัญในระบบนิเวศ สามารถพบได้ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะปูนา *Sayamia bangkokensis* ที่แพร่กระจายและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว เป็นแหล่งโปรตีนสูงที่มีราคาถูก หาง่าย และนำมาประกอบอาหารได้หลากหลาย จึงเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ปูนายังสามารถทำเป็นอาชีพประมงขนาดเล็กในครัวเรือนเกษตรกรได้ ทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้น ซึ่งในปัจจุบันแหล่งน้ำธรรมชาติรวมถึงนาข้าว ปริมาณปูนามีแนวโน้มลดน้อยลงมาก (Pachanawan and Khampuch, 2008; Thaiso and Wongmaniprathip, 2012) เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้สารเคมีในนาข้าว และแหล่งน้ำ ทำให้จำนวนปูนาลดน้อยลง ประกอบกับการเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อม และการคุกคามจากการขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรม อุตสาหกรรม และชุมชน ทำให้ปูนาถูกกำจัดไปทั้งทางตรงและทางอ้อม (Dulyachindachabaporn *et al.*, 2001; Phakdinarong *et al.*, 2009.) จากสาเหตุดังกล่าวทำให้เกษตรกรมีแนวคิดที่จะเพาะเลี้ยงปูนาเพื่อจำหน่าย แต่ขาดข้อมูลและเอกสารวิชาการในการเพาะ อนุบาล และเลี้ยงปูนา ทำให้ไม่ประสบผลสำเร็จ Cannicci (1996) กล่าวว่าปัจจัยที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงปูนาให้ประสบผลสำเร็จและยั่งยืน คือ การอนุบาล และการเลือกใช้อาหารในการอนุบาล เนื่องจากอาหารมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต อัตราการตาย รวมถึงการสืบพันธุ์ของสัตว์น้ำกลุ่ม Crustacean จากการศึกษาที่ผ่านมามีการใช้สาหร่าย *Spirulina (Arthrospira) platensis* มาเสริมและเป็นส่วนผสมอาหารให้กับสัตว์น้ำหลายชนิด (Hangsapreuke, 2013) ส่งผลให้การเจริญเติบโต อัตราการตาย การเจริญพันธุ์ รวมถึงภูมิคุ้มกันต่างๆ มีประสิทธิภาพ และส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้นด้วย Promkunthong and Pipattanwattankhul (2005) พบว่า *A. platensis* ทำให้กุ้งทะเลที่ได้รับอาหาร

ผสม *A. platensis* มีการเจริญเติบโตดี มีภูมิคุ้มกันโรค มีอัตราการรอดสูง ลอกคราบได้ง่าย และลำตัวใสสะอาด Pintasiri and Promya (2019) ใช้ *A. platensis* ผสมในอาหารเม็ดสำเร็จรูป 3-5% เลี้ยงปูนาส่งผลให้มีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนัก ความยาว และอัตราการรอดเพิ่มขึ้น และดีที่สุด นอกจากนี้ Promya *et al.* (2005) ใช้ *A. platensis* ผสมในอาหารกุ้งก้ามกราม 1-3% สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตกุ้งก้ามกรามในบ่อดิน และยังช่วยทำให้กุ้งมีสีเข้มขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจนำสาหร่าย *A. platensis* มาเสริมในอาหารเม็ดสำเร็จรูป เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและต้นทุนในการอนุบาลลูกปูนาสายพันธุ์กำแพงเพชร เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับเกษตรกรและผู้สนใจ และเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการเพาะอนุบาล และเลี้ยงปูนา เพื่อเพิ่มผลผลิตให้มีคุณภาพและปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของตลาดต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design; CRD) แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ อนุบาลลูกปูนาเป็นระยะเวลา 60 วัน ซึ่งแบ่งชุดการทดลองดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารเม็ดสำเร็จรูป (Pellet Feed; PF) ชุดควบคุม

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปราผง 3% (Pellet feed mixed with dry *Arthrospira*; PFA 3%)

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปราผง 5% (Pellet feed mixed with dry *Arthrospira*; PFA 5%)

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปราผง 10% (Pellet feed mixed with dry *Arthrospira*; PFA 10%)

ก่อนทำการทดลองนำอาหารทุกสูตรวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และความชื้นตามวิธี AOAC (2000) (Tabel 1)

Table 1 Proximate composition of experimental diets

Treatment	%Proximate composition (dry weight on basis)				
	Protein	Lipid	Fiber	Ash	Moisture
PF (Control)	35.10±0.05	13.56±0.03	2.26±0.05	2.26±0.05	9.43±0.20
PFA 3%	36.70±0.10	13.20±0.11	1.30±0.17	1.60±0.45	9.26±0.20
PFA 5%	37.70±0.05	13.46±0.06	1.26±0.15	1.26±0.15	9.26±0.28
PFA 10%	39.60±0.05	14.10±0.23	1.56±0.05	1.56±0.05	8.26±0.20

วิธีการทดลอง

การเตรียมลูกปูนา นำลูกปูนาที่เพาะพันธุ์จากพ่อแม่เดียวกันจากคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีน้ำหนักเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 0.0082-0.0083 กรัม/ตัว ความกว้างและความยาวกระดองเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 2.6875-3.3090 มม./ตัว และ 2.3643-2.9073 มม./ตัว ตามลำดับ (Table 2) อนุบาลในกะละมังทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 ซม. ปริมาตร 5 ลิตร หลังจากนั้นปล่อยลูกปูนาลงเลี้ยงในอัตราความหนาแน่น 25 ตัว/กะละมัง หรือ 385 ตัว/ตร.ม. (Thaiso and Wongmaniprathip, 2012; Pinthasiri and Srinaunsom, 2019) โดยให้อาหาร 5% ของน้ำหนักตัววันละ 2 มื้อ คือ 08.00-08.30 น. และ 17.00-17.30 น. เปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 50% ทุกวันในช่วงเย็นก่อนให้อาหาร นอกจากนี้มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำทุกๆ 10 วัน อนุบาลลูกปูนาเป็นระยะเวลา 60 วัน

การศึกษากาการเจริญเติบโต โดยการชั่งน้ำหนัก

วัดความยาว ความกว้างของกระดองปูนา (Carapace) (Figure 1) และนับจำนวนลูกปูนาทั้งหมดของการทดลองทุกๆ 10 วัน เป็นเวลา 60 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ย (Weight average) ความยาวกระดองเฉลี่ย (Length average) ความกว้างของกระดองเฉลี่ย (Width average) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (Weight gain) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average daily growth) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate) อัตราการแลกเนื้อ (Feed conversion rate) ประสิทธิภาพในการใช้โปรตีน (Protein Efficiency Rate) อัตราการรอด (Survival rate) และต้นทุนการผลิตลูกปูนา (Production cost of crab)

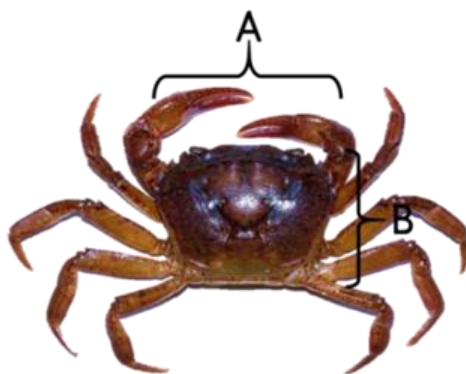


Figure 1 Bio metric rice-filled crab nursing

Thaiso and Wongmaniprathip (2012); Pintasiri and Promya (2019)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลในแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-way Analysis of Variance; One-Way ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลในแต่ละชุดการทดลอง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการวิจัย

จากการทดลองอนุบาลลูกปูนาด้วยการเสริมสาหร่ายอาร์โธรสไปราฟงในอาหาร โดยมีน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 0.0082 ± 0.0001 - 0.0083 ± 0.0002 กรัม/ตัว

ความกว้างและความยาวกระดอง (Carapace) เริ่มต้นเท่ากับ 2.6708 ± 0.1269 - 3.3090 ± 0.3397 มม./ตัว และ 2.2745 ± 0.0840 - 2.5739 ± 0.1503 มม./ตัว ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (Table 2) ลูกปูนามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการอนุบาล โดยลูกปูนาที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปราฟง 3% (PFA 3%) และ 5% (PFA 5%) มีน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่าที่ได้รับอาหารเม็ดสำเร็จรูป (PF) ชุดควบคุม และอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปราฟง 10% (PFA 10%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตั้งแต่ 10 วันแรกของการอนุบาลจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (Figure 2)

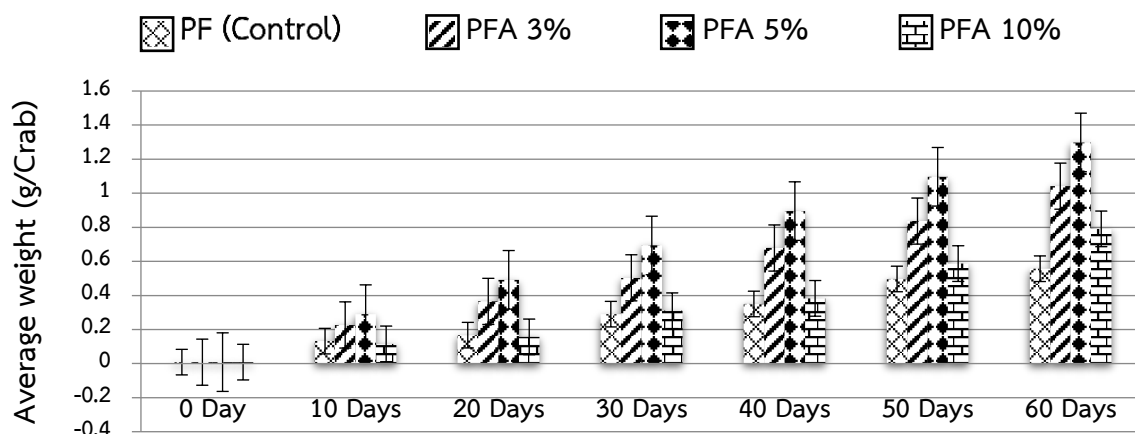


Figure 2 Average weight of rice-field crab fed with different levels of *A. platensis* for 60 days

Table 2 Initial average weight (g/crab), Length (mm/crab.) and Width (mm/crab.) of rice-field crab fed with different diets

Growth performance	Treatment				P-value
	PF (Control)	PFA 3%	PFA 5%	PFA 10%	
Initial average weight, g/crab	0.0083±0.0003 ^{ns}	0.0082±0.0001 ^{ns}	0.0083±0.0003 ^{ns}	0.0083±0.0002 ^{ns}	0.971
Initial average length, mm/crab	2.6875±0.0533 ^{ns}	2.6903±0.0846 ^{ns}	2.6708±0.1269 ^{ns}	3.3090±0.3397 ^{ns}	0.111
Initial average width, mm/crab	2.2985±0.0470 ^{ns}	2.2745±0.0840 ^{ns}	2.3643±0.0221 ^{ns}	2.5739±0.1503 ^{ns}	0.115

Values are means±S.E., letters ns=no significantly differ (P>0.05)

ด้านการเจริญเติบโตลูกปูนาที่อนุบาลด้วยสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าผง 5% ในชุดการทดลองที่ 3 (PFA 5%) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการแลกเนื้อ ประสิทธิภาพในการใช้โปรตีนดีที่สุดเท่ากับ 1.2900±0.2011 กรัม/ตัว 0.0215±0.0033 กรัม/ตัว/วัน

2.1500±0.3351%, 0.9200±0.2007 และ 0.0342±0.0053 ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (Table 3) และอัตราการรอดลูกปูนาที่อนุบาลด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าผงทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มให้อัตรารอดดีกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (Figure 3)

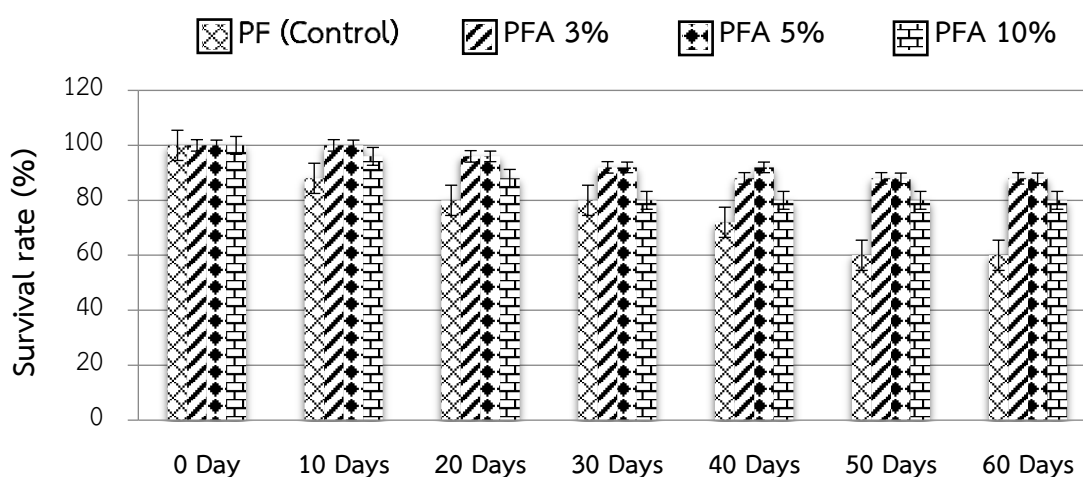
**Figure 3** Survival rate of rice-field crab fed with different diets for 60 days

Table 3 Growth performance, production cost of rice-field crab fed with different diets for 60 days

Growth performance	Treatment				P-value
	PF (Control)	PFA 3%	PFA 5%	PFA 10%	
Initial average weight, g/crab	0.0083±0.0003 ^{ns}	0.0082±0.0001 ^{ns}	0.0083±0.0003 ^{ns}	0.0083±0.0002 ^{ns}	0.971
Final average weight, g/crab	0.5566±0.1246 ^b	1.0416±0.2085 ^a	1.2983±0.2009 ^a	0.6937±0.0505 ^b	0.289
Maximum length, mm/crab	3.3398±0.2025 ^a	4.5283±0.7577 ^a	4.7911±0.0735 ^a	4.0482±0.3448 ^a	0.550
Maximum width, mm/crab	2.7075±0.1623 ^b	4.4475±0.8596 ^{ab}	4.8850±0.2707 ^a	3.2434±0.5029 ^{ab}	0.660
Weight gain, g/crab	0.5483±0.1249 ^b	1.0334±0.2087 ^{ab}	1.2900±0.2011 ^a	0.6853±0.0507 ^b	0.041
Average daily growth, g/crab/day	0.0091±0.0020 ^b	0.0172±0.0034 ^{ab}	0.0215±0.0033 ^a	0.0114±0.0008 ^b	0.040
Specific growth rate, %	0.9138±0.2082 ^b	1.7224±0.3478 ^{ab}	2.1500±0.3351 ^a	1.1422±0.0846 ^b	0.041
Feed conversion rate, units	1.3000±0.1126 ^{ns}	1.1433±0.1155 ^{ns}	0.9200±0.2007 ^{ns}	1.1333±0.0973 ^{ns}	0.344
Protein Efficiency rate, units	0.0156±0.0035 ^b	0.0281±0.0056 ^{ab}	0.0342±0.0053 ^a	0.0238±0.0029 ^b	0.046
Survival rate, %	61.0±0.5773 ^c	85.33±1.4529 ^a	87.33±1.2018 ^a	78.0±1.5275 ^b	0.290
Production Cost of Crab; PC, Baht/crab	2.0320±0.4351 ^{ns}	3.4297±0.8122 ^{ns}	3.4807±0.8714 ^{ns}	3.4998±0.2356 ^{ns}	0.347

Values are means±S.E. in the same row with different superscripts significantly different (P<0.05). ns=no significantly different

ด้านคุณภาพน้ำของการอนุบาลลูกปูนาด้วยการเสริมสาหร่ายอาร์โธรสไปราผงในอาหาร มีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ซึ่งค่าอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 29.00±0.577°ซ. ค่าอุณหภูมิน้ำเท่ากับ 27.66±0.333°ซ. ค่าออกซิเจนละลายในน้ำอยู่

ระหว่าง 5.540±0.124 - 5.810±0.257 มก./ลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 7.393±0.0829 - 7.463±0.0696 และค่าแอมโมเนียอยู่ระหว่าง 0.015±0.0011 - 0.017±0.0003 มก./ลิตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4)

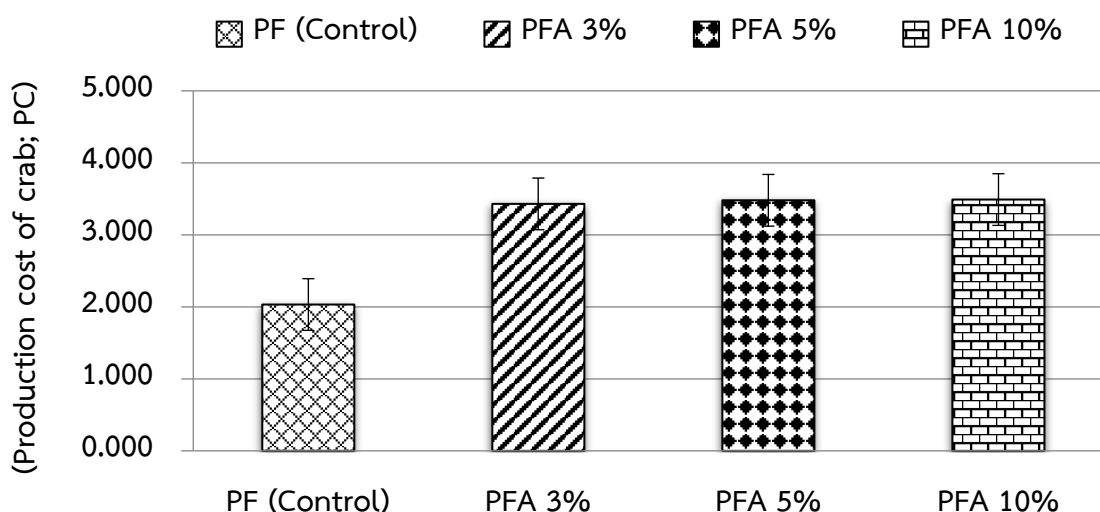
Table 4 Water quality parameters of rice-field crab

Parameter	Treatment				P-value
	PF (Control)	PFA 3%	PFA 5%	PFA 10%	
Air temperature (°C)	29.00±0.577 ^{ns}	29.00±0.577 ^{ns}	29.00±0.577 ^{ns}	29.00±0.577 ^{ns}	1.00
Water temperature (°C)	27.66±0.333 ^{ns}	27.66±0.333 ^{ns}	27.66±0.333 ^{ns}	27.66±0.333 ^{ns}	1.00
DO (mg/l)	5.81±0.257 ^{ns}	5.54±0.124 ^{ns}	5.75±0.098 ^{ns}	5.65±0.123 ^{ns}	0.303
pH	7.43±0.0554 ^{ns}	7.43±0.0669 ^{ns}	7.39±0.0829 ^{ns}	7.46±0.0696 ^{ns}	0.520
Ammonia (mg/l)	0.017±0.0003 ^{ns}	0.016±0.0010 ^{ns}	0.015±0.0011 ^{ns}	0.015±0.0014 ^{ns}	0.135

Values are means±S.E., letters ns=no significantly different (P>0.05)

ด้านต้นทุนการผลิตของการอนุบาลลูกปูนาด้วยการเสริมสาหร่ายอาร์โธรสไปราผงในอาหาร ทั้ง 4 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(p>0.05) ซึ่งมีต้นทุนการอนุบาลอยู่ระหว่าง 2.0320±0.4351 - 3.4998±0.2356 บาท/ตัว (Figure 4 และ Table 3)

**Figure 4** Production Cost of rice-field crab fed with different diets for 60 days

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการทดลองอนุบาลลูกปูนาเป็นระยะเวลา 60 วัน ด้วยการเสริมสาหร่ายอาร์โธรสไปราผง โดยมีน้ำหนักเริ่มต้นอนุบาลอยู่ระหว่าง 0.0082-0.0083 กรัม/ตัว พบว่าลูกปูนาในทุกชุดการทดลอง มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะชุดการทดลองที่ 3 (PFA 5%) มี

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการแลกเนื้อ ประสิทธิภาพในการใช้โปรตีน และอัตราการรอดดีที่สุด เท่ากับ 1.2900±0.2011 กรัม/ตัว, 0.0215±0.00033 กรัม/ตัว/วัน, 2.1500±0.3351%, 0.9200±0.2007, 0.0342±0.0053 และ 87.33±1.2018% ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เพราะมีคุณค่า

ทางโภชนาการอาหารโปรตีน ถึง 37-38% จึงเหมาะสม และเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของลูกปูนา (Figure 2, 3 และ Table 3) ซึ่งสอดคล้องกับ Pintasiri and Promya (2019) รายงานการเลี้ยงปูนาสายพันธุ์กำแพงเพชรด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมอาร์โธรสไปร่าที่ 3-5% ส่งผลให้การเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนัก ความยาว ความกว้าง กระดอง และอัตราการรอดสูงและดีกว่าชุดการทดลองอื่น โดย Lee (1971) และ Pintasiri and Promya (2019) กล่าวว่าสัตว์น้ำกลุ่ม Crustacean ต้องการโปรตีนในอาหารแตกต่างกันตามขนาดตัว รวมถึงคุณภาพของโปรตีนที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกลุ่ม Crustacean การเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปูจะดีขึ้น ต้องใช้อาหารเสริมมาช่วย เพื่อเพิ่มภูมิคุ้มกันให้แข็งแรง และจะต้องขึ้นอยู่กับการเลือกใช้แหล่งโปรตีน รวมถึงอาหารที่ใช้ในการอนุบาลต้องเพียงพอเหมาะสม จึงจะส่งผลให้มีการเจริญเติบโต อัตราการรอดได้ดีที่สุด (Thaiso and Wongmaniprathip, 2012; Promya and Chitmanat, 2011; Dulyachindachabaporn *et al*, 2001; Hemanon *et al*, 2004)

สอดคล้องกับ Hangsapreuke (2013) รายงานว่าการเสริมสาหร่ายสไปรูลิน่าในไข่ตุนทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดสูงขึ้นเพราะสาหร่ายสไปรูลิน่ามีโปรตีนสูงถึง 70% อีกทั้งยังมีวิตามิน เกลือแร่ และรงควัตถุที่สำคัญอีกหลายชนิดที่สามารถช่วยด้าน Immunoassays microscopy จึงทำให้ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน แข็งแรง และมีอัตราการรอดสูง Promya (2009) กล่าวว่า *A. platensis* มีโปรตีนสูงถึง 64-72% ซึ่งมีกรดอะมิโน วิตามิน เกลือแร่ต่างๆ ที่สำคัญมีรงควัตถุ ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ แคโรทีนอย และไฟโคบิลิน (สารต้านอนุมูลอิสระ) ที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกัน รวมถึงไขมันในสาหร่ายอาร์โธรสไปร่า ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะกรดไลโนลิก (Linoleic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อสัตว์น้ำจำพวก ปลา กุ้ง ปู ทำให้มีการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์

และช่วยให้ร่างกายเผาผลาญได้ดีขึ้น (Choubert, 1979; Venkataraman, 1983; Nakamura, 1982; Liulimon, 1986; Pornchalermping and Rattanapanon, n.d.) ส่วนด้านคุณภาพน้ำของปูนาไม่ใกล้เคียงกัน และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (Boyd and Tucker, 1992) ซึ่งมีค่าอุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 28-32°C. อุณหภูมิน้ำอยู่ระหว่าง 26-28°C. ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 7.3-7.5 ค่าออกซิเจนละลายในน้ำอยู่ระหว่าง 5.0-5.8 มก./ลิตร และค่าแอมโมเนียอยู่ระหว่าง 0.015-0.02 มก./ลิตร เนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกๆ วัน ทำให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน และด้านต้นทุนในการอนุบาลลูกปูนาด้วยสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าผง มีต้นทุนไม่แตกต่างกับการอนุบาลด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูป สอดคล้องกับ Pintasiri and Promya (2019) การเลี้ยงปูนาด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปมีต้นทุนไม่แตกต่างกับการเสริมสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าในอาหาร ซึ่งการเสริมสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าในอาหารที่เหมาะสม เพื่อพัฒนามาใช้เป็นสูตรอาหารในการอนุบาลลูกปูนาต่อไป

สรุปผลการวิจัย

ลูกปูนาที่อนุบาลด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าผง 5% มีประสิทธิภาพการเจริญเติบโต อัตราการรอดดีที่สุด และนอกจากนี้ลูกปูนาที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปผสมสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าผงทุกชุดการทดลอง มีอัตราการรอดสูงกว่าการเลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูป ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเสริมสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าผงช่วยสร้างความแข็งแรงในการพัฒนาการเจริญเติบโต เพิ่มอัตราการรอดให้กับลูกปูนาได้ และมีต้นทุนไม่แตกต่างกับการอนุบาลด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูป ซึ่งเหมาะสมเพื่อพัฒนามาใช้เป็นสูตรอาหารในการอนุบาลลูกปูนาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์และความร่วมมือจากหลายฝ่าย ซึ่งทางผู้วิจัยขอขอบคุณฝ่ายบัณฑิตศึกษา สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการมหาวิทยาลัยแม่โจ้ “ทุนศิษย์ก้นกุฏิ ประจำปีการศึกษา 2561” ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่คอยแนะนำ และให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis**. 17th edition. Maryland: AOAC. 2200 p.
- Boyd, D. and C. Tucker. 1992. **Water Quality and Pond Soil Analysis for Aquacult.** Alabama: Auburn University. 183 p.
- Cannicci, S. 1996. Natural diet and feeding habits of *Thalamita crenata*. **J. Crustacean Biol** 16(4): 678-683.
- Choubert, G. 1979. Tentative utilization of *Spirulina* algae as a source of carotenoid pigments for rainbow trout. **International J. AGR. Biol** 18: 135-143.
- Dulyachindachabaporn, S., P. Charuratchamorn, K. Somnai and T. DunchindaChabaporn. 2001. Study of the age and growth of Natural food. pp. 260-265. *In* **Proceedings of The 39th Kasetsart University Annual Conference (Abstract)**. Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]
- Hangsapreuke, K. 2013. **Nursing of giant freashwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) using spirulina in a closed recirculating system**. 49 p. *In* Research Report. Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]
- Hemanon, P., M. Kanarong., S. Trikheet and I. Hemanon. 2004. **Effects of *Arthrospira platensis* in prawn (*Penaeus merguensis*) post larva range**. 10 p. *In* Research Report. Nakhon Si Thammarat: Inland Aquaculture Research and Department Center, Nakhon Si Thammarat Department of Fisheries. [in Thai]
- Lee, D. 1971. Studies on the protein utilization related to growth of *Penaeus monodon* Fabricius. **International J. AGR. Biol.** 1: 1-13.
- Liulimon, K. 1986. Algae research in Thailand. **Kasetsart J. Sci. Technol.** 3(3):144-148. [in Thai]
- Nakamura, H. 1982. ***Spirulina: Food for a Hungry World, A Pioneer's Story in Aquaculture***. Boulder Cheek, California: University of the Trees Press. 215 p.
- Pachanawan, A. and S. Khampuch. 2008. Effects of sex on growth and molting of rice-field crabs. **Fisheries J. Sci. Technol.** 2(1): 88-92. [in Thai]
- Phakdinarong, N., P. Chantirikul and A. Chantirikul. 2009. Natural diet of the rice-field crab, *Esantheiphusa dugasti* Rathbun, 1902 in rainy season. **Khon Kaen J. AGR.** 37(1): 49-55. [in Thai]

- Pintasiri, T. and J. Promya. 2019. Effects of *Arthrospira platensis* supplemented diets on growth performance of rice-field crabs (*Sayamia bangkokensis*). **Khon Kaen J. AGR.** 47(Suppl.2): 7-14. [in Thai]
- Pinthasiri, T. and K. Srinaunsom. 2019 Using spirulina (*Arthrospira*) to be supplemented diets the cultivation of rice-field crabs (*Sayamia bangkokensis*). **Maejo J. Review** 20(3): 32-36. [in Thai]
- Pornchalermpong, P. and N. Rattanapanon. (n.d.). **Full food information network center.** [Online]. Available <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1647/linoleic-acid.com> (7 February 2020). [in Thai]
- Promkunthong, W. and A. Pipattanwattankhul. 2005. Results of *Arthrospira* alga on growth and antibody levels in mixed breed pellets feed (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus* (Burchell)). **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 27: 115-132.
- Promya, J., N. Wangchai and T. Ungsethaphan. 2005. Increase the Production of Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) the Earthen Pond by Rising together with Artificial Materials to Increase the Safe Area while the Molting Shrimp. pp. 29-41. **In Proceedings of The 6th Maejo University Conference (Oral).** Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]
- Promya, J. 2009. **Culture of algae.** 228 p. *In* Research Report. Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]
- Promya, J. and C. Chitmanat. 2011. The effects of *Arthrospira platensis* and *Cladophora* algae on the growth performance meat quality and immunity stimulating capacity of the African sharp tooth pellets feed (*Clarias gariepinus*). **International J. AGR. Biol.** 13: 77-82.
- Thaiso, K. and S. Wongmaniprathip. 2012. Effects of different protein sources on growth and survival rates of rice field crab (*Esanthelphusa dugasti*) nursing. **Khon Kaen J. AGR.** 40(Suppl.): 123-128. [in Thai]
- Venkataraman, L. 1983. **A Monograph on *Spirulina platensis*.** Mysore: Central Food Technological Research Institute. 100 p.

**ต้นทุน-ผลตอบแทนและผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม
ของการผลิตไก่คออ่อนศรีวิชัย**
**Cost-benefit and Economic, Society and Environmental Impacts
of Srivijaya Naked Neck Chicken Production**

จรีวรรณ จันทร์คง^{1*} และณปภัช ช่วยชูหนู²

Jareewan Chankong^{1*} and Napapach Chuaychu-noo²

¹สาขาเกษตรประยุกต์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80110

²สาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80110

¹Division of Applied Agriculture, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya
Nakhon Sri Thammarat, Thailand 80110

²Division of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya
Nakhon Sri Thammarat, Thailand 80110

*Corresponding author: jareewan.rmutsv@gmail.com

Received: June 26, 2020

Revised: January 11, 2021

Accepted: February 23, 2021

Abstract

Encouraging small-scale farmers to raise native chickens as supplementary career, however effective cost and benefits management will increase farmers' income. The objective of this research was to investigate cost and benefit of producing native chicken and assessment economic, social and environmental impacts. By studying from farmers who raised Srivijaya Naked Neck chicken Chulabhorn district, Nakhon Sri Thammarat province. The sample was collected from 30 farmers by using a structured interview. The result of the research showed that farmers who raised Srivijaya Naked Neck chicken have average net profit per production cycle at 1,407.22 Baht/person and average profit over cash cost is 4,815.86 Baht/person. The average total cost of raising Srivijaya Naked Neck chicken was 12,728.28 Baht/person, which were separated into fixed and variable costs. The most fixed cost was depreciation of poultry structure, which was not cashed at 44.61 percent. The average total variable cost was 11,969.64 Baht/ person. The three important variable costs were chicken feed, with the highest percentage at 60.03 percent, opportunity cost, non-cash household labor accounting for 22.14 percent and the chicken breed accounted for 13.34 percent, respectively. While the distribution channels showed that farmers preferred selling Srivijaya Naked Neck chicken to merchants in the local area, with the high percentage accounting for 73.33 percent, followed by distribution to wholesale merchants/retail merchants accounting for 16.67 percent. As for the economic, social, and environmental impacts of Srivijaya Naked Neck chicken production, the result showed that farmers were most

affected by society, especially for family members having more opportunities to participate in activities. Followed by economic impacts ($\bar{x}=3.83$), especially in issues relating to increasing career opportunities in the community reducing unemployment ($\bar{x}=3.56$), and environmental impacts from raising Srivijaya Naked Neck chicken, especially in terms of beneficial use of natural resources in the community ($\bar{x}=2.86$). Therefore, the promotion and support of local chicken production for farmers to have common guidelines and goals will help economic, social and environmental benefits in the long run.

Keywords: Thai native chicken, Srivijaya Naked Neck chicken, production, cost, benefit

บทคัดย่อ

ในการส่งเสริมให้เกษตรกรรายย่อยสามารถสร้างอาชีพเสริมจากการเลี้ยงไก่พื้นเมืองนั้น การมีข้อมูลด้านการจัดการต้นทุนและผลตอบแทนที่ดีจะทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาต้นทุนผลตอบแทน และการประเมินผลกระทบด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม จากการผลิตไก่คอลอนศรีวิชัยของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลอนศรีวิชัย อำเภอกุพราภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 30 ราย โดยการใช้แบบสัมภาษณ์เชิงโครงสร้าง พบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลอนศรีวิชัย มีกำไรสุทธิเฉลี่ยต่อรอบการผลิต 1,407.22 บาท/ราย และกำไรเหนือต้นทุนเงินสดเฉลี่ยต่อรอบการผลิต 4,815.86 บาท/ราย ด้านต้นทุนรวมเฉลี่ยในการเลี้ยงไก่คอลอนศรีวิชัยต่อรอบการผลิต 12,728.28 บาท/ราย โดยจำแนกเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร ด้านต้นทุนคงที่มากที่สุด คือ ค่าเสื่อมราคาโรงเรือนที่ไม่เป็นเงินสด คิดเป็นร้อยละ 44.61 สำหรับต้นทุนผันแปรที่สำคัญ 3 รายการ ได้แก่ ค่าอาหารไก่มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 60.03 ค่าเสียโอกาสแรงงานครัวเรือนที่ไม่เป็นเงินสด และค่าพันธุ์ไก่ คิดเป็นร้อยละ 22.14 และ 13.34 ตามลำดับ สำหรับช่องทางการจัดจำหน่าย พบว่าเกษตรกรนิยมจำหน่ายไก่คอลอนศรีวิชัยให้พ่อค้ารวบรวมในท้องถิ่นมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 73.33 รองลงมาคือ จำหน่ายให้กับพ่อค้าขายส่ง/พ่อค้าขายปลีก คิดเป็นร้อยละ 16.67

ด้านการประเมินผลกระทบจากการผลิตไก่คอลอนศรีวิชัยเกษตรกรได้รับผลกระทบด้านสังคมมากที่สุด ในประเด็นด้านสมาชิกในครอบครัวมีโอกาสร่วมกิจกรรมด้วยกันมากขึ้น ($\bar{x}=3.83$) รองลงมา คือ ผลกระทบด้านเศรษฐกิจ ในประเด็นด้านการเพิ่มโอกาสการประกอบอาชีพในชุมชนลดปัญหาการว่างงาน ($\bar{x}=3.56$) และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงไก่คอลอนศรีวิชัย ในประเด็นด้านการนำทรัพยากรธรรมชาติในชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ($\bar{x}=2.86$) ดังนั้นการส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตไก่พื้นเมืองแก่กลุ่มเกษตรกร เพื่อให้มีแนวทางและเป้าหมายร่วมกัน ช่วยให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

คำสำคัญ: ไก่พื้นเมือง ไก่คอลอนศรีวิชัย การผลิต
ต้นทุน ผลตอบแทน

คำนำ

ปัจจุบันความต้องการบริโภคไก่พื้นเมืองทั้งตลาดภายในและตลาดต่างประเทศ มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของเนื้อไก่พื้นเมืองได้รับการยอมรับว่าเป็นเนื้อที่มีรสชาติดี เนื้อเหนียว แน่น มีมันน้อย อีกทั้งเป็นแหล่งอาหารโปรตีนคุณภาพดีที่มีความสำคัญต่อสุขภาพของคนในชุมชน และปลอดภัยจากการตกค้างของสารพิษอันตรายต่างๆ ด้วยวิธีการเลี้ยง

แบบพื้นถิ่นจึงเป็นที่ต้องการของตลาดผู้บริโภค ส่งผลให้ราคาเนื้อไก่พื้นเมืองสูงกว่าเนื้อไก่ทั่วไป 2-3 เท่า โดยเฉพาะในเทศกาลสำคัญ เช่น ปีใหม่ และตรุษจีน เป็นต้น แนวโน้มการเติบโตของตลาดไก่พื้นเมืองที่สูงและสามารถขยายการผลิตเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาดภายในประเทศและตลาดต่างประเทศ ในประเทศไทยมีเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พื้นเมืองทั้งหมด 2,558,749 ครัวเรือน (Information and Communication Technology Center, Department of livestock Development, 2018) โดยเฉพาะเกษตรกรรายย่อยที่มีอยู่ทั่วประเทศที่สามารถเลี้ยงไก่พื้นเมือง ไม่ว่าจะเป็นการเลี้ยงในรูปแบบขังกรงปล่อยลาน หรือกึ่งขังกึ่งปล่อย ซึ่งเป็นคุณสมบัติเบื้องต้นของไก่พื้นเมือง โดยผู้เลี้ยงไม่เสียเวลามากและสามารถพัฒนาเป็นธุรกิจได้ อีกทั้งยังสอดคล้องกับกระแสการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม รวมถึงการได้บริโภคอาหารปลอดภัยจากผลผลิตที่ปลอดภัย จึงเป็นเป้าหมายนำไปสู่การสร้างอาชีพและเพิ่มรายได้แก่เกษตรกร

ทั้งนี้การผลิตไก่พื้นเมืองยังคงประสบปัญหาในเรื่องการผลิต อัตราการเจริญเติบโตช้า ให้ผลผลิตต่ำ จึงไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ส่งผลให้ไก่พื้นเมืองมีราคาสูงกว่าไก่เนื้อโดยเฉลี่ยประมาณ 20-30% (Laopaiboon *et al.*, 2010) ส่งผลกระทบต่อราคาไก่ภายในประเทศ ทั้งนี้ยังต้องมีการสนับสนุนเทคนิคทางวิชาการอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกษตรกรผู้ผลิตไก่พื้นเมืองมีความสามารถในการผลิตเนื้อไก่ที่มีคุณภาพทัดเทียมกับต่างประเทศได้ หากพิจารณาในส่วนของไก่พื้นเมืองในประเทศไทยจะเห็นได้ว่า ไก่พื้นเมืองเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถสร้างความมั่นคงทางด้านอาหารให้กับประชากรได้ ในปี พ.ศ. 2553 ประชากรภายในประเทศมีการบริโภคเนื้อไก่เฉลี่ย 15 กก./คน/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2540 ที่มีการบริโภคเนื้อไก่เพียง 5 กก./คน/ปี ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีอัตราการเติบโตค่อนข้างเร็วมากถึง 200% ประเทศไทยสามารถผลิตไก่เนื้อได้ 900 ล้านตัว/ปี โดยเป็นการบริโภคภายในประเทศ 72% (ประมาณ 650 ล้านตัว) ที่เหลือส่งออกต่าง ประเทศ (Sirimongkolkasam, 2010)

สำหรับเนื้อไก่ที่วางจำหน่ายในตลาดของไทยมี 4 พันธุ์หลัก ได้แก่ ไก่เนื้อ ไก่ซี (ไก่ไข่อ้วน) ไก่ลูกผสมพื้นเมือง และไก่พื้นเมือง โดยพบว่าเนื้อไก่ที่ผู้บริโภคต้องการมากที่สุด คือ ไก่พื้นเมือง รองลงมา คือ ไก่ลูกผสมพื้นเมือง ไก่โด่ง และไก่เนื้อ ตามลำดับ (Leotaragul *et al.*, 2009) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการชอบเนื้อไก่พื้นเมือง เพราะรสชาติดีและความนุ่มนวลของเนื้อ คล้ายคลึงกับประเทศในเอเชียที่นิยมบริโภคเนื้อไก่พื้นเมืองมากกว่าไก่พันธุ์อื่นๆ อาทิ ประเทศจีน พบว่าเหตุผลที่มีการนิยมบริโภคไก่พื้นเมือง เพราะรสชาติ (Flavor) และความแน่น (Firmness) ของเนื้อ (Tang *et al.*, 2009)

ไก่คอลอนศรีวิชัย ซึ่งเป็นไก่ที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์จากศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์นครศรีธรรมราช สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ โดยมีลักษณะภายนอกประจำพันธุ์ คือ ส่วนบริเวณลำคอ หน้าอก และแผ่นหลังไม่มีขน จุดเด่นของไก่คอลอนศรีวิชัย คือ เป็นไก่พื้นเมืองที่มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม สามารถเลี้ยงแบบธรรมชาติ โตเร็ว หน้าอกแน่นกลมไม่แหลม และทนร้อน (Bureau of Animal Husbandry and Genetic Improvement; Department of Livestock Development, 2019) ปัจจุบันจึงมีเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชให้ความสนใจในการเลี้ยง เพื่อนำไปสู่การสร้างอาชีพเสริมและเพิ่มรายได้ แต่เกษตรกรยังขาดการจัดการข้อมูลด้านต้นทุน ผลตอบแทน รวมถึงการจัดการการผลิตอย่างเป็นระบบ ดังนั้นข้อมูลต้นทุนและผลตอบแทนที่ดีจะเป็นข้อมูลที่ช่วยในการวางแผนประกอบการตัดสินใจในการเลี้ยงไก่ต่อไป การศึกษารังนี้มีวัตถุประสงค์ครอบคลุมประเด็นด้านการศึกษาสภาพสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลอนศรีวิชัย การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนและช่องทางการจัดจำหน่ายของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลอนศรีวิชัย ตลอดจนการประเมินผลกระทบด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงไก่คอลอนศรีวิชัย เพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของการผลิตไก่คอลอนศรีวิชัย ซึ่งเป็นทางเลือกในการสร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกรในชุมชน

รวมทั้งเป็นการสร้างความมั่นคงทางอาหารของประเทศ โดยผลการศึกษาจะเป็นแนวทางเพื่อส่งเสริมการพัฒนาคุณภาพการผลิตไก่พื้นเมืองของเกษตรกรไทยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการศึกษาครั้งนี้ คือ เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอกอ่อนศรีวิชัย ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) จากเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอกอ่อนศรีวิชัย ซึ่งเป็นสมาชิกกลุ่มอนุรักษ์ไก่ศรีวิชัย อำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 30 ราย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสัมภาษณ์เชิงโครงสร้าง (Structured interviews) และมีการตรวจสอบเครื่องมือโดยทำการตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (Content validity) โดยผู้วิจัยนำแบบสัมภาษณ์ที่สร้างขึ้นไปตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน หลังจากนั้นนำมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) และความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ (Wording) เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขก่อนนำไปใช้ในการสัมภาษณ์เพื่อเก็บข้อมูลจริง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ด้านสภาพสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอกอ่อนศรีวิชัย ซึ่งประกอบไปด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ ลักษณะและรูปแบบการเลี้ยงไก่คอกอ่อนศรีวิชัย แหล่งทุน และสินเชื่อ เป็นต้น

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนการผลิต ผลตอบแทน และช่องทางการจัดจำหน่ายของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอกอ่อนศรีวิชัย

ส่วนที่ 3 ข้อมูลการประเมินผลกระทบด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไก่คอกอ่อนศรีวิชัย

ส่วนที่ 4 ข้อมูลอื่นๆ เช่น ปัญหาในการผลิตไก่คอกอ่อนศรีวิชัยและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์เชิงโครงสร้าง (Structured interviews) ดังนี้

1. วิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive method) เป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยวิธีการทางสถิติอย่างง่าย ด้วยค่าร้อยละ และค่าเฉลี่ย (Pongvichai, 2008) โดยใช้อธิบายถึงสภาพทั่วไปด้านสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอกอ่อนศรีวิชัย

2. วิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative method) คำนวณหาต้นทุนและผลตอบแทนของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอกอ่อนศรีวิชัย โดยวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนและผลตอบแทนที่เป็นไปตามหลักทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งต้องมีการประเมินค่าใช้จ่ายทั้งที่เป็นเงินสดและไม่เป็นเงินสด เช่น ค่าแรงงาน ค่าเสื่อมราคา โรงเรือนและอุปกรณ์ ให้ถูกต้องตามความเป็นจริงมากที่สุด รวมทั้งคำนวณกำไรสุทธิ (รายได้รวมหักด้วยต้นทุนรวมทั้งหมด) และกำไรเหนือต้นทุนเงินสด (รายได้รวมหักด้วยต้นทุนที่เป็นเงินสดรวม)

ในส่วนของการประเมินผลกระทบด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงไก่คอกอ่อนศรีวิชัย โดยแบบประเมินคำตอบ ประยุกต์ตามแบบของ Likert scale question (Sukvibul, 2009) แต่ละคำถามมีคำตอบให้เลือกโดยกำหนดค่าน้ำหนักของการประเมิน ดังนี้

ระดับ 1 = ส่งผลกระทบน้อยที่สุด

ระดับ 2 = ส่งผลกระทบน้อย

ระดับ 3 = ส่งผลกระทบปานกลาง

ระดับ 4 = ส่งผลกระทบมาก

ระดับ 5 = ส่งผลกระทบมากที่สุด

โดยสอบถามถึงระดับผลกระทบในประเด็นต่างๆ ประกอบด้วย ผลกระทบด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัย และนำข้อมูลจากแบบสอบถามที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยการประเมินผลกระทบใช้การแปลผลค่าเฉลี่ยของคะแนนจากมาตรฐานส่วนประเมินค่าชนิด 5 ระดับ และใช้การแบ่งช่วงการแปลผลตามหลักของการแบ่งอัตรภาคชั้น โดยใช้ค่าสูงสุดลบด้วยค่าต่ำสุด และหารด้วยจำนวนระดับที่ศึกษา ดังนั้นความห่างของแต่ละช่วงจึงเท่ากับ 0.8 สามารถแบ่งช่วงได้ดังนี้

ค่าคะแนนเฉลี่ย:

- 4.21-5.00 = ระดับมากที่สุด
- 3.41-4.20 = ระดับมาก
- 2.61-3.40 = ระดับปานกลาง
- 1.81-2.60 = ระดับน้อย
- 1.00-1.80 = ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไปด้านสภาพสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัย

ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัย ในพื้นที่อำเภोजุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 30 ราย พบว่ากลุ่มตัวอย่างเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัยส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 73.33 และเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 26.67 ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วง 41-50 ปี มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 36.67 มีสถานภาพสมรสมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 73.33 ระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับมัธยมศึกษา คิดเป็นร้อยละ 40.00 ผู้ตอบแบบสอบถามโดยส่วนใหญ่ ร้อยละ 83.33 ทำการเกษตรเป็นอาชีพหลัก โดยเฉพาะการทำสวนยางพาราและปาล์มน้ำมัน นอกจากนี้มีอาชีพค้าขายและรับจ้างทั่วไป คิดเป็นร้อยละ 13.34 โดยมีรายได้ครัวเรือนต่อปี อยู่ในช่วง 100,001-200,000 บาท มากที่สุด

คิดเป็นร้อยละ 63.33 ส่วนการเลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัยถือเป็นอาชีพเสริมเพื่อสร้างรายได้เพิ่มให้กับครัวเรือน โดยเหตุผลหลักที่เลือกเลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัย ด้วยสาเหตุความชอบส่วนตัวมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 63.33 รองลงมา คือ เลี้ยงเพื่อเป็นอาหารในครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 23.33

ลักษณะและรูปแบบการเลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัยของเกษตรกรกลุ่มนี้ พบว่าเกษตรกรนิยมเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 63.34 โดยเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้เวลาในการเลี้ยงไก่ประมาณ 1-2 ชั่วโมง/วัน แรงงานครัวเรือนในการเลี้ยงไก่ 1-2 คน/ครัวเรือน ขนาดพื้นที่ฟาร์มในการเลี้ยงไก่ประมาณ 100-400 ตร.ว./ครัวเรือน ด้านประสบการณ์ในการเลี้ยงไก่ส่วนใหญ่ ไม่เกิน 5 ปีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 83.33 ส่วนใหญ่เกษตรกรได้รับความรู้ด้านการเลี้ยงไก่มาจากครอบครัว (บรรพบุรุษ) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 70.00 รองลงมา คือ ความรู้จากวิสาหกิจชุมชน (กลุ่มอนุรักษ์ไก่ศรีวิชัย) และจากเจ้าหน้าที่ของรัฐ (สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด) คิดเป็นร้อยละ 16.66

ในเรื่องของแหล่งทุนและสินเชื่อ พบว่าครัวเรือนเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่มีภาระหนี้สิน จำนวน 22 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 73.33 โดยมีหนี้สินส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 50,001-100,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 63.63 แหล่งกู้ยืมจากธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธ.ก.ส.) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 45.45

ต้นทุนและผลตอบแทนของเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัย

จากการลงพื้นที่เพื่อสัมภาษณ์เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัย จำนวน 30 ราย ในรอบการผลิต 1 รุ่นระยะเวลา 4 เดือน พบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัยมีกำไรสุทธิเฉลี่ยต่อรอบการผลิต จำนวน 1,407.22 บาท/ราย และกำไรเหนือต้นทุนเงินสดเฉลี่ยต่อรอบการผลิต จำนวน 4,815.86 บาท/ราย ด้านต้นทุนรวมเฉลี่ยในการเลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัยต่อรอบการผลิต จำนวน 12,728.28 บาท/ราย โดยแยกเป็นต้นทุนคงที่

ประกอบด้วยค่าเสื่อมราคาโรงเรือน ค่าเสื่อมราคาเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเลี้ยงไก่ และค่าเสียโอกาสการใช้ที่ดิน ซึ่งไม่เป็นเงินสด จำนวน 758.64 บาท/ราย โดยเป็นค่าเสื่อมราคาโรงเรือนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 44.61 ด้านต้นทุนผันแปรรวมเฉลี่ยต่อรอบการผลิต จำนวน 11,969.64 บาท/ราย สำหรับต้นทุนผันแปรที่สำคัญ 3 รายการ ได้แก่ ค่าอาหารไก่ คิดเป็นร้อยละ 60.03 ค่าเสียโอกาสแรงงานครัวเรือนที่ไม่เป็นเงินสด และค่าพันธุ์ไก่ คิดเป็นร้อยละ 22.14 และ 13.34 ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Cost-benefit of farmers who raised Srivijaya Naked Neck chicken

Item	Value in cash (Baht)	Value non-cash (Baht)	Percentage
1. Fixed costs			
1.1 Depreciation of poultry structure		338.44	44.61
1.2 Depreciation of tools and equipment		156.87	20.68
1.3 Opportunity cost for land use		263.33	34.71
Total fixed costs		758.64	100
2. Variable costs			
2.1 Cost for chicken breed	1,596.67		13.34
2.2 Cost for chicken feed	7,185.00		60.03
2.3 Cost for drug and vaccine	245.64		2.05
2.4 Cost of floor laying materials	136.00		1.13
2.5 Cost of structure repairs and equipment	113.33		0.95
2.6 Others, such as selling expenses	43.00		0.36
2.7 Household opportunity cost		2,650.00	22.14
Total variable cost	11,969.64		100
Total cost	12,728.28		
Total cash cost	9,319.64		
Total revenue	14,135.50		
Net profit	1,407.22		
Profit is above cash costs	4,815.86		

Data from interviews and calculations

ช่องทางการจัดจำหน่ายไก่คอล่อนศรีวิชัย

ด้านช่องทางการจัดจำหน่ายไก่พื้นเมือง (ไก่คอล่อนศรีวิชัย) เป็นการศึกษาเพื่อแสดงการเคลื่อนย้ายของสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัย จำนวน 30 ราย พบว่ากลุ่มตัวอย่างเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัยจำหน่ายในรูปแบบไก่มีชีวิต มีราคาขายเฉลี่ย 80-90 บาทต่อกิโลกรัม

เกษตรกรมีช่องทางการจัดจำหน่ายไก่คอล่อนศรีวิชัยให้แก่พ่อค้ารวบรวมในท้องถิ่นมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 73.33 รองลงมา คือ จำหน่ายให้กับพ่อค้าขายส่ง/พ่อค้าขายปลีก คิดเป็นร้อยละ 16.67 และช่องทางอื่นๆ เช่น จำหน่ายให้กับผู้บริโภคในชุมชนโดยตรง หรือร้านอาหารในชุมชน คิดเป็นร้อยละ 10.00 (Table 2)

Table 2 Distribution channels of Srivijaya Naked Neck chicken

Distribution channels	Frequency	Percentage
Local gathering merchants	22	73.33
Wholesale merchants / retail merchants	5	16.67
Others, such as community consumers / community restaurants	3	10.00
Total	30	100

Data from interviews and calculations

การประเมินผลกระทบด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไก่คอล่อนศรีวิชัย

การประเมินผลกระทบด้านเศรษฐกิจจากการผลิตไก่คอล่อนศรีวิชัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัย เพื่อประเมินผลกระทบด้านเศรษฐกิจจากการผลิตไก่คอล่อนศรีวิชัย พบว่าผลกระทบด้านเศรษฐกิจในประเด็นด้านการเพิ่มโอกาสการประกอบอาชีพในชุมชนลดปัญหาการว่างงานมากที่สุดเป็นลำดับหนึ่ง ($\bar{x}=3.56$) ทั้งนี้เนื่องมาจากสมาชิกในชุมชนส่วนใหญ่มีอาชีพหลักทางการเกษตร โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้นิยมทำสวนยางพาราและปาล์มน้ำมัน การเลี้ยงไก่พื้นเมืองเป็นอาชีพรอง ซึ่งถือเป็นการเพิ่มทางเลือกในการประกอบอาชีพให้แก่สมาชิกในชุมชน รองลงมาคือ ประเด็นการเลี้ยงไก่ส่งผลให้รายได้ของผู้เลี้ยงเพิ่มขึ้น ($\bar{x}=3.23$) จากการทำอาชีพเกษตรกรรม ซึ่งปัจจุบันพบว่าสินค้าเกษตร

ทั้งยางพาราและปาล์มน้ำมันประสบปัญหาราคาลดลง ค่อนข้างต่ำ เกษตรกรมีรายได้ลดลง การเลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัยเป็นช่องทางหนึ่งในการสร้างรายได้เสริมแก่ครัวเรือน โดยเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัยมีกำไรสุทธิเฉลี่ย จำนวน 4,815.86 บาท/ราย/รอบการผลิต ส่วนประเด็นการเลี้ยงไก่ส่งเสริมให้มีความมั่นคงด้านอาชีพ ($\bar{x}=3.17$) เนื่องจากการเลี้ยงไก่นอกจากสร้างรายได้ให้แก่ครัวเรือนแล้ว ยังส่งผลต่อการสร้างความมั่นคงในอาชีพ เพราะหากเกษตรกรไม่เลือกประกอบอาชีพทางการเกษตรอื่นๆ การเลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประกอบอาชีพ และสามารถพัฒนาไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ที่สร้างรายได้และความมั่นคงในอาชีพได้ ทั้งนี้เนื่องจากไก่คอล่อนศรีวิชัยมีแนวโน้มการเติบโตของตลาดเพิ่มขึ้น ด้านภาพรวมการวิเคราะห์ผลกระทบด้านเศรษฐกิจจากการผลิตไก่คอล่อนศรีวิชัย ($\bar{x}=3.21$) (Table 3)

Table 3 Economic Impact of Srivijaya Naked Neck chicken production

Effect	$\bar{X}$	SD	Degree
Economic aspect			
1. Rearing of chicken results to an increase in the breeder's Income.	3.23	1.10	Moderate
2. Rearing of chickens reduces the burden of debt.	2.97	1.32	Moderate
3. Rearing of chicken promotes job security.	3.17	0.79	Moderate
4. Rearing of chicken improves the breeder's well-being.	3.13	0.68	Moderate
5. Rearing of Chicken increase career opportunities in the community, reduce unemployment.	3.56	0.81	Good
Total	3.21	0.85	Moderate

Data from interviews and calculations

การประเมินผลกระทบด้านสังคมจากการผลิตไก่คอลลอนศรีวิชัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัย เพื่อประเมินผลกระทบทางสังคมจากการผลิตไก่คอลลอนศรีวิชัย พบว่าผลกระทบด้านสังคมในประเด็นด้านสมาชิกในครอบครัวมีโอกาสร่วมกิจกรรมด้วยกันมากขึ้น ($\bar{X}=3.83$) มากที่สุด เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่มีพื้นที่ฟาร์มไก่ในบริเวณบ้าน การเลี้ยงไก่ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 1-2 ชั่วโมงต่อวัน และเป็นแรงงานในครัวเรือน การเลี้ยงไก่จึงเป็นการส่งเสริมให้สมาชิกในครอบครัวได้ทำกิจกรรมร่วมกัน รองลงมา คือ มีการพบปะพูดคุย แลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันในชุมชน ($\bar{X}=3.76$) เนื่องจากกระบวนการผลิตไปจนถึงการตลาด เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ คอลลอนศรีวิชัยในชุมชนมีการแลกเปลี่ยนความรู้ ปรัชญาและช่วยกันแก้ไขปัญหา

รวมทั้งเมื่อมีการจัดโครงการต่างๆ โดยหน่วยงานภาครัฐ เช่น สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งส่งเสริมให้มีการจัดกิจกรรมกลุ่มและพบปะกันในชุมชน สร้างความสามัคคีในวิถีชีวิตชุมชนไทย ด้านประเด็นการเลี้ยงไก่ส่งเสริมให้สมาชิกในครอบครัว มีสุขภาวะทางอารมณ์ที่ดี ($\bar{X}=3.73$) เกษตรกรมีความชอบส่วนตัวในความสวยงามของลักษณะไก่พื้นเมือง ส่งผลต่อภาวะทางอารมณ์ เปรียบเสมือนการได้ทำงานอดิเรกที่ชื่นชอบ อีกทั้งการเลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัยเป็นการสร้างความมั่นคงทางด้านอาหารในชุมชน ($\bar{X}=3.60$) หากเกิดสถานการณ์ผิดปกติ การเลี้ยงไก่คอลลอนศรีวิชัยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งช่วยป้องกันการขาดแคลนอาหาร ไก่คอลลอนศรีวิชัยนับเป็นแหล่งอาหารโปรตีนให้แก่ชุมชน ส่วนภาพรวมการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสังคมจากการผลิตไก่คอลลอนศรีวิชัย ($\bar{X}=3.61$) (Table 4)

Table 4 Social impacts of Srivijaya Naked Neck chicken production

The effect	$\bar{X}$	SD	Degree
Social			
1. Family members have more opportunities to participate in activities.	3.83	1.01	Good
2. Encourage family members have good emotional health.	3.73	0.82	Good
3. Reduce social problems in the community such as drugs	3.13	0.73	Moderate
4. There are meetings, idea exchange and opinions with each other in the community.	3.76	0.43	Good
5. Promote food security in the community	3.60	1.10	Good
Total	3.61	0.68	Good

Data from interviews and calculations

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไก่คอล่อนศรีวิชัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัย เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไก่คอล่อนศรีวิชัย พบว่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในประเด็นด้านการนำทรัพยากรธรรมชาติในชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ($\bar{X}=2.86$) มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากด้านอาหารสัตว์นอกจากการใช้อาหารสำเร็จรูป เกษตรกรมีการนำวัตถุดิบที่หาได้ในชุมชนหลากหลายชนิดเป็นเศษเหลือทางการเกษตร ซึ่งนำมาผลิตเป็นอาหารสัตว์ได้ เช่น กากปาล์ม หยวกกล้วย สาบุด ปลายข้าว รำข้าว

เป็นต้น รองลงมา คือ การเลี้ยงไก่ส่งผลให้ได้อยู่กับสภาพแวดล้อมในชุมชนเพิ่มขึ้น ($\bar{X}=2.73$) การเลี้ยงไก่พื้นเมืองโดยธรรมชาตินิยมเลี้ยงแบบปล่อย ส่งผลให้เกษตรกรผู้เลี้ยงมีเวลาอยู่กับสภาพแวดล้อมในชุมชนเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งการเลี้ยงไก่ส่งผลให้เกษตรกรตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์ทรัพยากรในชุมชน ($\bar{X}=2.50$) เนื่องจากอาหารสัตว์เป็นวัตถุดิบที่สามารถหาได้ในชุมชน เกษตรกรจึงหันมาให้ความสำคัญในการอนุรักษ์และใส่ใจทรัพยากรธรรมชาติในชุมชนเพิ่มมากขึ้น ภาพรวมการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไก่คอล่อนศรีวิชัย ($\bar{X}=2.52$) (Table 5)

Table 5 Environmental impacts from Srivijaya Naked Neck chicken production

Effect	$\bar{X}$	SD	Degree
Environmental			
1. Rearing of chickens allow the people to stay more within the environmental conditions of the community.	2.73	0.69	Moderate
2. There is a beneficial use of natural resources in the community	2.86	0.81	Moderate
3. Recognizing the importance of conserving the community's resource	2.50	0.57	Little
4. Rearing of chicken results in an increase of waste in the community.	2.26	0.44	Little
5. Rearing of chicken cause unpleasant smell in the community.	2.23	0.43	Little
Total	2.52	0.38	Little

Data from interviews and calculations

การประเมินผลกระทบด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไก่คออ่อนศรีวิชัย

การประเมินผลกระทบด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไก่คออ่อนศรีวิชัย พบว่ากลุ่มตัวอย่างเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คออ่อนศรีวิชัยส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบด้านสังคมมากที่สุด ในประเด็นสมาชิกในครอบครัวมีโอกาสร่วมกิจกรรมด้วยกันมากขึ้น เป็นลำดับที่หนึ่ง ($\bar{X}=3.83$) รองลงมา คือ ผลกระทบด้านเศรษฐกิจ

ในประเด็นด้านเพิ่มโอกาสการประกอบอาชีพในชุมชน ลดปัญหาการว่างงาน ($\bar{X}=3.56$) และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงไก่คออ่อนศรีวิชัย ด้านการนำทรัพยากรธรรมชาติในชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ($\bar{X}=2.86$) และผลกระทบในภาพรวมทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไก่คออ่อนศรีวิชัย ($\bar{X}=3.11$) (Table 6)

Table 6 Impact assessment on the economy, society and environment from the production of Srivijaya Naked Neck chicken

Impact of producing Srivijaya Naked Neck chicken	$\bar{X}$	SD	Degree
Economic	3.21	0.85	Moderate
Social	3.61	0.68	Good
Environmental	2.52	0.38	Little
Total	3.11	0.53	Moderate

Data from interviews and calculations

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนของกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คออ่อนศรีวิชัย ซึ่งเป็นอาชีพเสริมที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรในชุมชน พบว่าเกษตรกรมีกำไรเหนือต้นทุนเงินสดเฉลี่ยต่อรอบการผลิต จำนวน 4,815.86 บาท/ราย ทั้งนี้เห็นว่ากำไรเหนือต้นทุนเงินสดยังคงมากกว่าศูนย์ แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรยังคงสามารถดำเนินกิจกรรมเลี้ยงไก่คออ่อนศรีวิชัยต่อไปได้ เนื่องจากผลตอบแทนเหนือต้นทุนเงินสดมากกว่าศูนย์ หมายถึง เกษตรกรยังคงมีกำไรสูงกว่าต้นทุนเงินสดที่ใช้ในการผลิต ด้านต้นทุนผันแปรที่สำคัญในการผลิตมากที่สุดคือ ค่าอาหารไก่ คิดเป็นร้อยละ 60.03 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bureau of Agricultural Economic Research (2010) พบว่าต้นทุนการผลิตไก่ของเกษตรกรผู้เลี้ยงแบบอิสระและแบบประกันราคา ประกอบด้วย ค่าอาหารสัตว์ที่มีสัดส่วนสูงที่สุดร้อยละ 66.10 และ 69.63 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด รองลงมา ได้แก่ ค่าพันธุ์สัตว์ มีสัดส่วนร้อยละ 16.76 และ 15.06 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ทั้งนี้ต้นทุนค่าอาหารสัตว์ที่มีสัดส่วนสูงนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prapasawat *et al.* (2012) ทั้งนี้เห็นได้ชัดในการเลี้ยงไก่โดยส่วนใหญ่ต้นทุนที่สำคัญที่สุดคือ ต้นทุนค่าอาหารสัตว์ ดังนั้นหากมีการบริหารจัดการต้นทุนค่าอาหารสัตว์ที่ดีจะส่งผลต่อรายได้ที่เพิ่มขึ้น

ด้านการศึกษาวิธีการตลาดหรือช่องทางการตลาดไก่พื้นเมืองเป็นการศึกษาเพื่อแสดงการเคลื่อนย้ายของสินค้าจากผู้ผลิตผ่านพ่อค้าคนกลางประเภทใดบ้างก่อนถึงมือผู้บริโภค จากการศึกษาช่องทางการจัดจำหน่ายไก่คออ่อนศรีวิชัย พบว่าเกษตรกรนิยมจำหน่ายให้พ่อค้ารวบรวมในท้องถิ่นมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 73.33 ทั้งนี้เนื่องจากความสะดวกในการติดต่อสื่อสารและความไว้วางใจ ซึ่งทำการติดต่อซื้อขายกันมาเป็นระยะเวลายาวนาน แต่ทั้งนี้จากการศึกษาของ Saenkhunthow *et al.* (2016) ซึ่งทำการศึกษาการผลิตและการตลาดไก่พื้นเมืองในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม พบว่าวิถีตลาดไก่พื้นเมืองในพื้นที่ดังกล่าวเกษตรกรส่วนใหญ่ทำการผลิตเพื่อบริโภคในครัวเรือนเหลือจึงจำหน่ายเป็นไก่มีชีวิต โดยเน้นจำหน่ายให้กับผู้บริโภคในชุมชนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 46.60 รองลงมา คือ พ่อค้าผู้รวบรวมในชุมชน ร้อยละ 29.49 เครือข่ายเกษตรกร ร้อยละ 24.28 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่พื้นเมืองในจังหวัดมหาสารคามทำหน้าที่เป็นทั้งผู้ผลิต รวบรวม ข่าแหละ และจำหน่ายให้กับผู้บริโภคโดยตรง

จากการศึกษาผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของการผลิตไก่คออ่อนศรีวิชัย พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบด้านสังคมมากที่สุด โดยเฉพาะประเด็นด้านสมาชิกในครอบครัวมีโอกาสร่วม

กิจกรรมด้วยกันมากขึ้น จากสภาพสังคมในปัจจุบันที่เกษตรกรต่างคนต่างมุ่งหารายได้เพื่อตอบสนองความต้องการในการดำรงชีวิต การเลี้ยงไก่พื้นเมืองคอล่อนศรีวิชัย ซึ่งใช้แรงงานในครัวเรือนทุกขั้นตอนการผลิต เป็นการช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันมากขึ้นในครอบครัว รองลงมา คือ ผลกระทบด้านเศรษฐกิจ โดยเฉพาะประเด็นด้านการเพิ่มโอกาสการประกอบอาชีพในชุมชน ลดปัญหาการว่างงาน เนื่องจากการเลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัยถือเป็นอาชีพเสริมที่สร้างรายได้เพิ่มให้กับครัวเรือนเกษตรกรส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของชุมชนมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น ส่วนผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัย โดยเฉพาะด้านการนำทรัพยากรธรรมชาติในชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ สืบเนื่องจากการเลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัยมีต้นทุนสูงที่สุดในส่วนของต้นทุนผันแปร คือ ค่าอาหารสัตว์ เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้อาหารสำเร็จรูปในการเลี้ยง แต่ทั้งนี้เกษตรกรมีการนำวัตถุดิบที่หาได้ในชุมชนซึ่งเป็นเศษเหลือทางการเกษตรนำมาผลิตเป็นอาหารสัตว์เสริม เพื่อลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์ ซึ่งเป็นการนำทรัพยากรที่มีในชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ทั้งนี้การส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตไก่พื้นเมืองแก่กลุ่มเกษตรกรจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการสร้างความมั่นคงด้านอาหาร และสร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกร

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ด้านต้นทุนผลตอบแทนของกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัย อำเภोजุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 30 ราย โดยการใช้แบบสัมภาษณ์เชิงโครงสร้าง พบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัยมีกำไรสุทธิเฉลี่ยต่อรอบการผลิต จำนวน 1,407.22 บาท/ราย และกำไรเหนือต้นทุนเงินสดเฉลี่ยต่อรอบการผลิต จำนวน 4,815.86 บาท/ราย ด้านต้นทุนรวมเฉลี่ยในการเลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัย จำนวน 12,728.28 บาท/ราย โดยพบว่าต้นทุนคงที่มากที่สุด คือ

ค่าเสื่อมราคาโรงเรือน คิดเป็นร้อยละ 44.61 สำหรับต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าอาหารไก่มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 60.03 ค่าเสียโอกาสแรงงานครัวเรือนที่ไม่เป็นเงินสด และค่าพันธุ์ไก่ คิดเป็นร้อยละ 22.14 และ 13.34 ตามลำดับ ด้านช่องทางการจัดจำหน่ายไก่คอล่อนศรีวิชัยพบว่าเกษตรกรนิยมจำหน่ายให้พ่อค้ารวบรวมในท้องถิ่นมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 73.33 รองลงมา คือ จำหน่ายให้แก่พ่อค้าส่ง/พ่อค้าปลีกที่มารับซื้อในชุมชน

ด้านการประเมินผลกระทบด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไก่คอล่อนศรีวิชัย พบว่าส่วนใหญ่เกษตรกรได้รับผลกระทบด้านสังคมมากที่สุด โดยเฉพาะประเด็นด้านสมาชิกในครอบครัวมีโอกาสร่วมกิจกรรมด้วยกันมากขึ้น เป็นลำดับหนึ่ง ($\bar{x}=3.83$) รองลงมา คือ ผลกระทบด้านเศรษฐกิจ โดยเฉพาะประเด็นด้านการเพิ่มโอกาสการประกอบอาชีพในชุมชน ลดปัญหาการว่างงาน ($\bar{x}=3.56$) และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงไก่คอล่อนศรีวิชัย ในประเด็นด้านการนำทรัพยากรธรรมชาติในชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ($\bar{x}=2.86$) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการผลิตไก่คอล่อนศรีวิชัยของกลุ่มเกษตรกรส่งผลให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมกับชุมชน

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในโครงการ “ต้นทุน-ผลตอบแทน และผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมของการผลิตไก่คอล่อนศรีวิชัย” พบว่าการสนับสนุนให้เกษตรกรเลี้ยงไก่พื้นเมืองต่อครัวเรือนจะต้องคำนึงถึงการจัดการต้นทุนและผลตอบแทนอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะการจัดการต้นทุนค่าอาหารสัตว์ซึ่งเป็นต้นทุนหลักในการเลี้ยงไก่พื้นเมือง การบริหารจัดการเพื่อลดต้นทุนการผลิตจะส่งผลต่อการเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งภาครัฐควรส่งเสริมในเรื่องช่องทางการจัดจำหน่าย ตลอดจนการเผยแพร่ แลกเปลี่ยนความรู้ ข่าวสารทั้งทางด้านวิชาการและข้อมูลทางการตลาด รวมทั้งการพัฒนาการผลิตไก่พื้นเมืองแก่กลุ่มเกษตรกร

เพื่อให้เกษตรกรมีแนวทางและเป้าหมายร่วมกันจะช่วยให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่คออ่อน ศรีวิชัย อำเภोजุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อประกอบการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณเครือข่ายการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก สกอ. ภาคใต้ตอนบน สำหรับทุนอุดหนุนโครงการวิจัย รวมถึงคณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนการดำเนินโครงการวิจัยนี้มาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

- Bureau of Agricultural Economic Research. 2010. **The Study of the Breakeven Point of Laying Hen Independent and Contracted Versions.** Agricultural Economic Research No.108. Bangkok: Office of Agricultural Economics. 43 p. [in Thai]
- Bureau of Animal Husbandry and Genetic Improvement, Department of Livestock Development. 2019. **Srivijaya chicken.** [Online]. Available http://secretary.dld.go.th/webnew/images/stories/meeting/re08_003.pdf (10 June 2020). [in Thai]
- Information and Communication Technology Center, Department of Livestock Development. 2018. **Database system for farmers.** [Online]. Available http://ict.dld.go.th/webnew/images/stories/stat_web/yearly/2561/land/T6-1.pdf (22 April 2020). [in Thai]
- Laopaiboon, B., M. Duangjinda, T. Vongpralab, P. Sanchaisuriya, K. Nantachai and W. Boonkum. 2010. Testing of growth performances and meat tenderness in crossbred chicken from Thai indigenous sire and commercial dam. **Khon Kaen Agr. J.** 38: 373-384. [in Thai]
- Leotaragul, A., C. Prathum and S. Morathop. 2009. **Guidelines for creating the awareness of Pradu black tail chicken of consumers in Chiang Mai.** 80 p. *In Full Paper.* Bangkok: The Thailand Research Fund (TRF). [in Thai]
- Pongvichai, S. 2008. **Statistical Data Analysis by Computer.** 19th ed. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House. 477 p. [in Thai]
- Prapasawat, C., S. Laothong, A. Leotaragul, P. Rattanachawanon and C. Prasert. 2012. **Economic development of native chicken (Chee-Tha Pra) to response for career of farmers and consumers.** 43 p. *In Full Paper.* Bangkok: The Thailand Research Fund (TRF). [in Thai]

Saengkunthow, U., C. Prasert and K. Nonta.

2016. **Study on the system of production and marketing of Thai native chicken in Mahasarakham province.** [Online]. Available <http://region4.dld.go.th/webnew/images/stories/vichakarn/04-2-04-60.pdf> (15 April 2020). [in Thai]

Sirimongkolkasam, A. 2010. The animal husbandry industry will flourish or wilt. **Chicken and Pig Magazine** 8: 30-33. [in Thai]

Sukvibul, T. 2009. **Considerations for creating a rating scale tool for research.**

[Online]. Available <http://ms.src.ku.ac.th/schedule/Files/2553/Oct/1217086.doc> (2 May 2020). [in Thai]

Tang, H., Y. Gong, C. Wu, J. Jiang, Y. Wang and K. Li. 2009. Variation of meat quality traits among five genotypes of chicken. **Poultry Science** 88: 2212-2218.

การเกษตรในเมืองกับ BCG Economic Model Urban Agriculture and BCG Economic Model

ทัฟไท นน่อสุวรรณ^{1*} กุลารบ อุตสุข¹ ฐากรณ์ ปัญญาใส¹ ฐานิต ศาลติกุลนุกการ¹
รัตนารณณ์ ไจมา¹ พงศกร ศุภกิจไพศาล² เอกชัย ไยพิมล² วิภาวี สุรินทร์เซ่ง²
ณัฏฐ์ชวัล เจริญเลิศธนกิจ² และเทวินทร์ แก้วเมืองมูล²

Tupthai Norsuwan^{1*}, Kularb Utthasuk¹, Thakoon Punyasai¹, Thanit Saltikulnukarn¹
Rattanaphon Chaima¹, Pongsakorn Suppakittpaisarn², Ekachai Yaipimol², Vipavee Surinseng²
Nadchawan Charoenlertthanakit² and Thewin Kaeomuangmoon²

¹ศูนย์วิจัยระบบทรัพยากรเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

²ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

¹Center for Agricultural Resource System Research, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50200

²Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50200

*Corresponding author: tupthai.n@cmu.ac.th

Received: August 04, 2020

Revised: April 20, 2021

Accepted: June 21, 2021

Abstract

This review aimed to call attention to the urban agricultural development in congruence with the BCG Economic Model, which was related to the reduction of resource usage, resource renewability, and waste reduction from the lives of urban people, including adding values on land use and the supporting urban ecosystems. The characteristics and advantages of urban agricultures differed depending on the purposes and local socio-economic contexts. Under land size limitation, intensive production and technologies were needed to enhance efficiency and productivity. Urban agriculture can also reduce the ecological footprint caused by consumer behaviors by recycling urban waste into growing mediums and soil amendments. By sharing residential and agricultural spaces, designing urban agriculture must respond to the diverse needs and integrate itself with the urban landscape ecology and geosocial conditions. Urban agriculture had the potential to supply urban vegetable consumption. Economic returns depended on to adaptability and multifunctionality to serve urban needs. Therefore, the development of urban agriculture requires collaborations of the associated sectors to support national economic development based on the BCG Economic Model. This article included important information regarding urban agricultural development under BCG Economic Model Framework. Researchers, agriculturalists, and decision makers can use this information for better support this type

of agriculture. Furthermore, researchers can develop the knowledge further to respond to challenges mentioned in this article to further benefit urban agriculture.

Keywords: urban agriculture, BCG Economic Model

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อชี้ให้เห็นถึงการพัฒนาการทำเกษตรเมืองที่สอดคล้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจตาม BCG Economic Model ที่เกี่ยวข้องกับการลดการใช้ทรัพยากร การใช้ทรัพยากรหมุนเวียน และการลดการปลดปล่อยของเสียจากการใช้ชีวิตของประชากรเมือง รวมไปถึงการสร้างมูลค่าเพิ่มของการใช้พื้นที่และส่งเสริมระบบนิเวศของเมือง รูปแบบและประโยชน์ที่จะได้รับการทำเกษตรในเมืองมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และบริบททางเศรษฐกิจสังคมของพื้นที่ ด้วยพื้นที่การผลิตที่จำกัดทำให้ต้องทำการผลิตอย่างเข้มข้นร่วมกับการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและผลผลิต การทำเกษตรในเมืองยังมีส่วนช่วยในการลดรอยเท้าระบบนิเวศจากกิจกรรมการบริโภคของมนุษย์ โดยการหมุนเวียนทรัพยากรและขยะของเสียของเมืองกลับมาใช้ใหม่ ในรูปแบบของวัสดุปลูกและปรับปรุงดิน การใช้พื้นที่อยู่อาศัยร่วมกับการผลิตทางการเกษตร ทำให้การออกแบบระบบนิเวศเกษตรในเมืองจะต้องคำนึงถึงการตอบสนองต่อความต้องการที่หลากหลาย มีความเข้ากันกับภูมินิเวศและภูมิสังคมของพื้นที่ การเกษตรในเมืองมีศักยภาพในการทดแทนการบริโภคผักของเมือง ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจขึ้นอยู่กับ การปรับตัวและบทบาทที่หลากหลายต่อการตอบสนองความต้องการของเมือง ดังนั้นการพัฒนาระบบนิเวศเกษตรเมืองควรสร้างความร่วมมือกันระหว่างภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง เพื่อส่งเสริมแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศตามแนวทาง BCG Economic Model บทความวิชาการชิ้นนี้ได้รวมความรู้ที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต่อการพัฒนาการเกษตรในเมืองภายใต้กรอบแนวคิด

BCG Economic Model นักวิจัย เกษตรกร และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ สามารถนำความรู้เหล่านี้ไปสนับสนุนการเกษตรในรูปแบบดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ นักวิจัยสามารถพัฒนาความรู้เพื่อตอบสนองต่อความท้าทายที่พบในบทความนี้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อระบบเกษตรในเมืองต่อไป

คำสำคัญ: เกษตรในเมือง BCG Economic Model

บทนำ

ในปี พ.ศ. 2561 รัฐบาลไทยได้ประกาศแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจตามแนวทางของ BCG Economic Model (Community of Bio-economic Research Revolving Economy and Green Economy, 2018) ซึ่งประกอบด้วย 1) เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) ที่เน้นเรื่องการใช้ “ทรัพยากรที่นำมาผลิตในระบบเศรษฐกิจชีวภาพต้องสามารถปลูกทดแทนหรือ นำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Renewable) ลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก” 2) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) “ให้ความสำคัญกับการจัดการของเสียจากการผลิตและบริโภค ด้วยการนำวัตถุดิบที่ผ่านการผลิตและบริโภคแล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่” และ 3) เศรษฐกิจสีเขียว (Green economy) ที่เน้นการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม อย่างสมดุล

BCG Economic Model กับการพัฒนาเศรษฐกิจภาคการเกษตรของประเทศไทย เน้นที่การลดของเหลือทิ้งจากการผลิต มีการผลิตอย่างแม่นยำเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลผลิต มีปริมาณผลผลิตที่สอดคล้องกับความต้องการของตลาด ผลผลิตที่ได้มีความปลอดภัยจากสารเคมี ลด

ต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยใช้เทคโนโลยีในการผลิต เช่น อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of things) เกษตรแม่นยำ (Precision agriculture) เกษตรอัจฉริยะ (Smart farming) ลดการขยายที่ดินเพื่อทำเกษตร มีการนำเศษวัสดุเกษตร ขยะจากอาหารมาใช้เป็นทรัพยากรหมุนเวียนในการผลิตพลังงานทดแทน ในการพัฒนาเชิงพื้นที่จะต้องใช้องค์ความรู้ในทางวัฒนธรรมของท้องถิ่นและความหลากหลายทางชีวภาพ ในการจัดการพื้นที่ผลิตให้เป็นการท่องเที่ยวเชิงเกษตร (Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, 2019; Office of National Higher Education Science Research and Innovation Policy Council, 2020)

วัตถุประสงค์ของบทความเพื่อชี้ให้เห็นถึงบทบาทของการพัฒนาระบบนิเวศเกษตรในเมืองที่มีความสอดคล้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจสังคมตามรูปแบบ BCG Economic Model โดยวิธีการสังเคราะห์บทความวิชาการ (Syntesis-based review) จากฐานข้อมูล Google Scholar, Research Gate และ Science Direct ผู้เขียนใช้คำสำคัญ เกษตรในเมือง (Urban agriculture) ร่วมกับคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับ BCG Economic Model ต่อไปนี้ เศรษฐศาสตร์ (Economy) สังคม (Social) สิ่งแวดล้อม (Environment) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Renewable) หมุนเวียน (Circular) การจัดการของเสีย (Waste management) เกษตรแม่นยำ (Precision agriculture) เป็นต้น ผู้เขียนได้เรียบเรียงตามหัวข้อที่เกี่ยวข้องต่อไปนี้ เกษตรในเมืองและประโยชน์ที่มีต่อเมือง การออกแบบระบบนิเวศเกษตรในเมือง การใช้ทรัพยากรหมุนเวียนในการผลิตเพื่อการทำเกษตรในเมือง เกษตรในเมืองกับมิติทางด้านเศรษฐกิจ ข้อจำกัดและความท้าทายของระบบนิเวศเกษตรในเมือง วิจารณ์และสรุปผล เพื่อสร้างความเข้าใจต่อการพัฒนาระบบนิเวศเกษตรเมืองที่สามารถส่งเสริมการพัฒนาตามแนวทาง BCG Economic Model ของประเทศ

การเกษตรในเมืองและประโยชน์ที่มีต่อเมือง

กิจกรรมด้านการเกษตรที่สามารถสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจ BCG Economic Model ของประเทศไทย คือ การเกษตรในเมือง (Urban agriculture) (FAO, 2003) ซึ่งเป็นการผลิตทางการเกษตรทุกชนิดที่ทำในพื้นที่เขตเมือง ไม่ว่าจะผลิตที่บ้านหรือในพื้นที่แปลงปลูกที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย ดังนั้นลักษณะของระบบนิเวศเกษตรในเมืองจึงมีความแตกต่างจากระบบนิเวศเกษตรชานเมือง (Peri-urban agriculture) เช่น การเกษตรในเมืองจะต้องปรับตัวเพื่อตอบสนองความต้องการทางเศรษฐกิจสังคมของเมืองที่มีความหลากหลายอาหารที่ผลิตได้ในเมืองเพื่อเลี้ยงคนที่อยู่อาศัยในเมือง

ตัวอย่างระบบการผลิตของการเกษตรในเมือง ได้แก่ แปลงขนาดเล็กหลังบ้าน สวนของชุมชน แปลงเกษตรของหน่วยงานต่างๆ ในเมือง การเลี้ยงสัตว์และสัตว์น้ำขนาดเล็ก เพื่อวัตถุประสงค์ทางการค้าหรือเพื่อการดำรงชีพ หรือเป็นฟาร์มเพื่อตอบสนองหลากหลายวัตถุประสงค์ (Multifunctional farms) เช่น เพื่อการผลิต การท่องเที่ยวเชิงเกษตร และการศึกษา เป็นต้น การทำเกษตรในเมืองนอกจากเป็นการเสริมความมั่นคงทางด้านอาหารให้กับผู้คนที่อยู่อาศัยในเมืองแล้วยังเกี่ยวข้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม การศึกษา วัฒนธรรม การพักผ่อนหย่อนใจ การปรับปรุงและอนุรักษ์ระบบนิเวศ และการพัฒนาคุณภาพพื้นที่เสื่อมโทรมหรือถูกทิ้งร้างในเมือง (Orsini *et al.*, 2013) ในต่างประเทศมีการเกษตรในเมืองที่สำเร็จมาแล้วหลายพื้นที่ เช่น โครงการสวนผักชุมชน เมือง Detroit ประเทศสหรัฐอเมริกา (Hashim, 2015) และโครงการป่าผลไม้ในเมือง Seattle ประเทศสหรัฐอเมริกา (McLain *et al.*, 2012) เช่นเดียวกับตัวอย่างที่มีอยู่ในประเทศไทย ได้แก่ โครงการสวนดาดฟ้าสำนักงานเขตหลักสี่ กรุงเทพฯ โดยใช้พื้นที่ดาดฟ้าของอาคารสำนักงานให้พนักงานช่วยกันปลูกและดูแลรักษา โดยเริ่มต้นจากการใช้สิ่งของเหลือใช้ในชีวิตประจำวันมาใช้

สำหรับเป็นภาระสำหรับปลูกพืชผักและสามารถนำผลผลิตกลับไปบริโภคในครัวเรือนได้ ซึ่งโครงการนี้ถือเป็นจุดเริ่มต้นเพื่อสร้างแรงบันดาลใจให้พนักงานสามารถกลับไปสร้างสวนผักของตนเองที่บ้านได้ (Kanokwalee, 2012)

การเกษตรในเมือง จัดเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างโครงข่ายพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง (Urban Green Infrastructure) ซึ่งเป็นการสร้างโอกาสให้คนในเมืองได้ใช้ชีวิตใกล้เคียงกับองค์ประกอบทางธรรมชาติทั้งโดยตรงและโดยอ้อม ยังมีผลโดยตรงต่อสุขภาพกายและสุขภาพจิตของมนุษย์ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว (Suppakittpaisarn *et al.*, 2017) รวมถึงการใช้พื้นที่ที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมือง เป็นการช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ ช่วยลดผลกระทบจากกิจกรรมการดำรงชีวิตของคนในเมืองที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ หรือที่เรียกว่า “รอยเท้าระบบนิเวศ” (Ecological footprint) (Valley and Wittman, 2019) ช่วยลดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change mitigation) โดยการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ลดการปลดปล่อยมลพิษจากกระบวนการขนส่ง การคัดบรรจุ การเก็บรักษา เพราะพื้นที่การผลิตอยู่ใกล้กับผู้บริโภค และยังสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และช่วยดูดซับคาร์บอนโมโนออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และช่วยลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมือง (Urban heat island) จากกระบวนการคายระเหยน้ำของพืช (Zaid *et al.*, 2018) จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment) ผลผลิตผัก และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตและการขนส่งปัจจัยการผลิต ที่เกิดจากกิจกรรมการผลิตพืชผักปลอดสารพิษของสวนในบ้าน (Bangkok Urban

Home Vegetable Garden Model; BUG) พบว่าสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 37.8 ของผลิตภัณฑ์ผัก (ต่อน้ำหนักผลผลิต) ที่ผลิตจากพื้นที่รอบนอก (Poonpolsub *et al.*, 2017)

พื้นที่เกษตรในเมืองสามารถช่วยยกระดับความมั่นคงทางด้านอาหาร (Urban food security) กล่าวคือการมีอาหารที่เพียงพอและมีคุณภาพ การเข้าถึง การมีอาหารบริโภคต่อเนื่อง และการมีโภชนาการที่ดีของอาหาร (Food availability, Accessibility, Stability, and Utility) ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของเมือง (Urban resilience) ในการเผชิญกับวิกฤติและภัยธรรมชาติ (Bakker *et al.* 2000) การที่ผู้คนในเมืองได้ลงมือทำการเพาะปลูกพืชด้วยตัวเอง ทำให้เกิดความเข้าใจถึงที่มาของอาหาร เป็นการสร้างแหล่งอาหารสำรอง ลดรายจ่ายสร้างงานและสร้างรายได้ในครอบครัว สร้างความสัมพันธ์สร้างการเรียนรู้ในกลุ่มคนในเมือง และเสริมสร้างสุขภาพ (Sustainable Agriculture Foundation, 2017) สิ่งที่คนในเมืองพบเจอกันทุกคน คือ ปัญหาเรื่องสุขภาพจิต ความเครียด และโรคซึมเศร้า การปลูกพืชผักด้วยตัวown นั้น เปิดโอกาสให้คนได้ออกมาสัมผัสความเป็นธรรมชาติ ควบคู่ไปกับการทำกิจกรรมทางกาย การที่คนมีโอกาสได้ดูแลต้นกล้าจากต้นเล็กๆ ให้เติบโตขึ้นนั้น มีส่วนช่วยให้จิตใจรู้สึกมีความสุขสบายใคร่รู้ มีความหวัง และอยากติดตามตอนต่อไปว่าพืชผักจะเจริญเติบโตไปเป็นอย่างไร ซึ่งสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ก็มีส่วนช่วยทำให้ความเครียดลดลง (Hawkins *et al.*, 2013)

จะเห็นได้ว่าการทำเกษตรในเมืองสามารถตอบสนองต่อความต้องการที่หลากหลาย และประสานผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของเมือง แต่ก็ต้องเผชิญกับความท้าทายในการพัฒนา (Table 1)

Table 1 Relevant topics, actions and challenges of urban agriculture on urban socioeconomic and environmental development

Relevant topic	Action	Challenge
Climate change	Production system adaptation under climate change, greenhouse mitigation, carbon sequestration	Micro-climate mediation for plant production, low carbon sink
Food security	Food safety, food justice	Lack of suitable space for producing food crop
Biodiversity and ecosystem services	Flora and fauna diversity in urban areas, crop nutrient and water cycles	Undesirable species and population densities (rodent, fly, cockroach etc.), plant nutrient surplus from production systems
Agricultural intensification	Organic farming, subsistent and sustainable farms, small plot intensive, community garden, vertical farming, roof top	Technical limitation
Resource efficiency	Energy use efficiency, waste and waste water recycles, reduce, reuse, recycle	Low economies of scale, limitation of sun exposure and precipitation.
Urban renewal and regeneration	Land uses; vacancy lots, abandoned land, sharing space	Conflict of land use
Land management	Land use planning; green infrastructure, green space, land governance	High value of urban land use, legal requirement
Public health	Healthy lives (physical activities), well-being	Polluted water, contamination of heavy metal and agrichemical wastes, organic residues, induction of human disease carriers (mosquito etc.)
Social cohesion	Participation, agricultural education, gender equality	Low stimulus, variant engagement (context dependence), diverse social backgrounds of producers
Economic growth	Employment, production innovation, investment innovation, cost effectiveness	Low economic return in comparison to other activities, lack of interest for labor, small production scale

***Adapted from Artmann and Sartison 2018, and Jamal and Morteza 2014

การออกแบบระบบนิเวศเกษตรในเมือง

การสร้างระบบเกษตรในเมืองเป็นเรื่องที่ควรสนับสนุนอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันการออกแบบพื้นที่ในเมือง มีความจำเพาะมากกว่าการออกแบบพื้นที่ระบบเกษตรโดยทั่วไป เพราะข้อจำกัดด้านพื้นที่และความหลากหลายในการใช้งาน การออกแบบภูมิทัศน์เพื่อระบบนิเวศเกษตรในเมืองต้องคำนึงถึงแนวคิดเรื่องความยั่งยืนในหลากหลายมิติ โดยใช้ตัวชี้วัดทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ประสานกับแนวคิดเรื่องความหลากหลายของการใช้ประโยชน์ (Multifunctionality) (Aubry *et al.*, 2012) ต้องใช้แนวคิดของการเกษตรเชิงพหุภารกิจ (Multifunctional agriculture) ในเชิงปฏิบัติเป็น “การกำหนดกรอบการวางแผนและการปฏิบัติที่ขึ้นกับการผลิต ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร (Commodities) และบริการ (Services) ที่มีส่วนในความเป็นไปของเศรษฐกิจสังคมของพื้นที่ ที่ส่งผลต่อความมั่นคงและความปลอดภัยทางอาหาร ความหลากหลายทางชีวภาพ วัฒนธรรม ประวัติศาสตร์ และภูมินิเวศของพื้นที่” (Spataru *et al.*, 2020)

ตัวอย่างเช่น ประเทศสิงคโปร์มีประชากรอยู่อาศัยกันอย่างหนาแน่น การใช้ประโยชน์จากที่ดินจะต้องตอบสนองต่อการใช้งานหลากหลายวัตถุประสงค์ (Multi-function urban land uses) การเกษตรในเมืองจึงไม่สามารถแยกออกจากการใช้ที่ดินเพื่อการอยู่อาศัย พื้นที่เพื่อการสันทนาการและสุนทรียะ และการจ้างงานในพื้นที่ (Diehl *et al.*, 2020) การพัฒนาพื้นที่ของเมืองสามารถประเมินผลได้จากดัชนีความเป็นเมืองสีเขียว (Green city index) ซึ่งประกอบด้วยตัวชี้วัดต่างๆ เช่น การกำกับดูแลสิ่งแวดล้อม การจัดการน้ำและของเสีย การลดและควบคุมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน ความสะอาด หรือวิธีการของ Global City Indicators Facility ที่ครอบคลุมถึงตัวชี้วัดทางเศรษฐกิจสังคมด้วย เป็นต้น (Azunre *et al.*, 2019)

การออกแบบรูปแบบสำหรับการเกษตรในเมืองที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาตัดแปลงให้เข้ากับบริบทของ

พื้นที่นั้นๆ ตัวอย่างเช่น สวนผักของชุมชน สวนหลังบ้าน การใช้พื้นที่บนดาดฟ้าแบบแปลงเปิด (Rooftop farm) การทำโรงเรือนบนดาดฟ้า (Rooftop greenhouse) โรงเรือนแนวตั้ง (Vertically-integrated greenhouse) (Benis and Ferrão, 2018; Supparwoko and Taufani, 2017) สวนป่าในเมือง ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถเป็นภูมิสถาปัตยกรรมที่กินได้ (Edible landscape) (McLain *et al.*, 2012) ในเมืองที่มีแหล่งน้ำจะต้องคำนึงถึงของเสียที่เกิดขึ้นจากการเกษตร มีการจัดวางภูมิทัศน์ให้สอดคล้องกับหน้าที่ของระบบนิเวศ (Ecological function) ที่แหล่งน้ำนั้นตั้งอยู่ (Siddiqua, 2018)

อาจมีการใช้ประโยชน์จากสภาพภูมิอากาศในเมืองในการผลิตพืช เช่น ในเขตหนาวภูมิอากาศบริเวณรอบนอกเมืองไม่เหมาะสมในการปลูกองุ่นเนื่องจากอากาศเย็นเกินไป ในขณะที่ปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองช่วยสร้างสภาพอากาศที่เหมาะสมในการปลูกองุ่น เป็นต้น (Waffle *et al.*, 2017) อาจมีการใช้นวัตกรรมเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและการหมุนเวียนทรัพยากรในเมืองมาใช้ในการผลิต เช่น การปลูกพืชในน้ำ (Hydroponic) การปลูกพืชในอากาศ (Aeroponic) การปลูกพืชโดยควบคู่กับการเลี้ยงปลา (Aquaponic) การปลูกพืชไม่ใช้ดิน (Soilless agriculture) การประยุกต์เทคโนโลยีทางด้านการสำรวจระยะไกล (Remote sensing) (Armanda *et al.*, 2019) มาใช้ในการผลิตแบบแม่นยำ การใช้หลอดไฟ LED ในการผลิตในโรงเรือนระบบปิด เป็นต้น

ทั้งนี้ การออกแบบระบบนิเวศเกษตรในเมืองจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงผลกระทบของการเกษตรต่อพื้นที่เมือง และผลกระทบของพื้นที่เมืองต่อการเกษตร รวมถึงข้อจำกัดและค่าใช้จ่ายที่อาจเพิ่มสูงขึ้น เช่น การจัดการมลภาวะทางอากาศ น้ำ และดิน ที่อาจตกค้างในพืช เช่น สารปิโตรเคมีบนท้องถนน สารตะกั่ว และเขม่า รวมถึงแบคทีเรียจากของเสียของมนุษย์และสัตว์บนท้องถนน (Todd *et al.*, 2016) การจัดการภูมิอากาศที่ผันแปรง่าย รวมทั้งการกระจายความรู้ในด้านการออกแบบและจัดการที่ถูกต้อง เป็นต้น (Lin *et al.*, 2015) ข้อจำกัด

และผลกระทบดังกล่าว สามารถลดทอนและแก้ไขได้ หากมีการออกแบบที่เหมาะสม วิเคราะห์และพิจารณาความสัมพันธ์เชิงระบบของพื้นที่ในเชิงกว้างและเชิงลึก และมีการวางแผนอย่างระมัดระวัง (Deliberative planning) ทั้งในระดับพื้นที่ ชุมชน และภูมิภาค (Selman, 2012)

การใช้ทรัพยากรหมุนเวียนในการผลิตเพื่อการทำเกษตรในเมือง

ของเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมในเมืองสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในการผลิตได้ เช่น เศษขยะอินทรีย์ หรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Mougeot, 2000) ขยะพลาสติก ขวดน้ำ ยางรถยนต์ สามารถนำมาใช้เพื่อตัดแปลงเป็นภาชนะปลูก (Orsini *et al.*, 2008) เป็นต้น มากกว่าร้อยละ 50 ของของเสียที่เกิดจากเมืองเป็นอินทรีย์วัตถุ (FAO, 2010) ตัวอย่างเช่น ในประเทศคิวบาร้อยละ 60-70 ของขยะมูลฝอยจากชุมชนเป็นขยะอินทรีย์ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการจัดการที่เป็นระบบเพียงพอในการนำกลับมาใช้เพื่อการเกษตรในเมือง (Körner *et al.*, 2008) ในทางกลับกันในประเทศที่เจริญแล้ว เช่น ประเทศเนเธอร์แลนด์ และเมืองนิวยอร์กซิตี ประเทศสหรัฐอเมริกา มีการจัดเก็บขยะอินทรีย์จากตลาด ร้านอาหาร และครัวเรือน เพื่อใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถลดต้นทุนการจัดการขยะได้ถึงสามเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับการนำขยะอินทรีย์ไปเผากากตะกอนที่ได้มีการนำไปแจกจ่ายอย่างเป็นระบบเพื่อนำไปใช้ในการทำเกษตรในเมือง โดยมีความร่วมมือกันระหว่างชุมชน องค์กรที่ไม่ใช่องค์กรของรัฐ ภาคเอกชน และรัฐบาลท้องถิ่น (Anastasiou *et al.*, 2014)

การใช้ประโยชน์จากขยะอินทรีย์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่เป็นวัสดุปลูกและวัสดุปรับปรุงดินได้ ตัวอย่างเช่น ขยะเศษอาหาร เศษพืช สามารถนำมาทำปุ๋ยหมัก (Compost) เป็นการย่อยสลายแบบใช้อากาศ และสามารถนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนเพื่อผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือน (Vermicompost) ขยะเศษอาหารและเศษการตัดแต่งผลผลิตทางการเกษตรสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ กาก

จากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (Digestate) สามารถนำมาเป็นวัสดุปลูกหรือเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ เศษกิ่งไม้จากการตัดแต่งต้นไม้ข้างทางหรือสวนสาธารณะสามารถนำมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เพื่อผลิตเป็นไบโอชาร์ (Biochar) ใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เป็นต้น (Skar *et al.*, 2020) ในบทความนี้จะขอยกตัวอย่างการใช้กากอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการหมัก และการใช้ไบโอชาร์ในการผลิตพืช เนื่องจากมีศักยภาพในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ได้ถึงร้อยละ 80-350 ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเมืองใหญ่ในปัจจุบัน (Breunig *et al.*, 2019)

กากอินทรีย์จากการหมักขยะอินทรีย์เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) ของขยะอินทรีย์ ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ที่ได้ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) ร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 30-50 ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไอน้ำ (H_2O) (Madmai, 2009) ตัวอย่างการดำเนินงานในประเทศไทย ศูนย์บริหารจัดการชีวมวลแบบครบวงจร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ดำเนินงานร่วมกับเทศบาลนครเชียงใหม่ ในการรวบรวมขยะจากพื้นที่รอบมหาวิทยาลัย หลังจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพสามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า และผลิตเป็นก๊าซไบโอมีเทนอัดสำหรับใช้ในระบบขนส่งมวลชนของมหาวิทยาลัย ในแต่ละปีสามารถช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ 10,900 ตันคาร์บอนต่อปี (Energy Research and Development Institute–Nakornping, Chiang Mai University, 2020)

กากอินทรีย์ที่ได้จากการหมักเศษอาหาร (Food waste digestate) ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ มีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน โดยมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.7-8.4 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ที่ร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้ง มีไนโตรเจนทั้งหมด ประมาณ 4.5-8.7 g/kg มีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมค่อนข้างต่ำ

อยู่ที่ 0.1-0.3 และ 2-3 g/kg ตามลำดับ (Tampio *et al.*, 2016) เนื่องจากผ่านกระบวนการหมัก กากตะกอนที่ได้จึงมีความร่วนซุย แดกตัวง่าย เมื่อใช้ในการปรับปรุงดิน จุลินทรีย์จะใช้ไนโตรเจนในกระบวนการย่อยสลายน้อยกว่า การสูญเสียไนโตรเจนไปในอากาศและการปลดปล่อยสารประกอบที่เป็นพิษกับพืชจะน้อยกว่าการใส่วัสดุอื่นที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก พืชสามารถดูดใช้ในโตรเจนได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้พืชเจริญเติบโตดี (Carabassa *et al.*, 2020) นอกจากนี้เชื้อสาเหตุโรคพืชทางดินยังถูกกำจัดออกไปด้วยความร้อนและความเป็นกรดต่างในกระบวนการหมัก การใช้อินทรีย์วัตถุเป็นวัสดุปลูกพืชโดยตรงเรียกว่า “Organoponics” วัสดุที่ใช้มาจากการทำปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และกากจากกระบวนการหมัก (Digestate) จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพสามารถใช้ปลูกในแปลงผลิต ในบล็อกซีเมนต์ จัดวางข้างถนน ริมระเบียง พื้นผิวที่ลาดเอียงในเมือง ถ้าวัสดุปลูกมีเชื้อสาเหตุโรคพืชและไส้เดือนฝอยเกิดขึ้น ก็สามารถเปลี่ยนวัสดุปลูกได้ทันที (FAO, 2014)

การใช้ไบโอชาร์เพื่อปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินสามารถช่วยแยกและลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ โดยการนำชีวมวลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) กระบวนการไพโรไลซิสคือการนำความร้อนให้แก่ชีวมวลที่อุณหภูมิมากกว่า 400°C. ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนน้อยหรือปราศจากออกซิเจน ไบโอชาร์ที่ได้มีคุณสมบัติเป็นผลึกคาร์บอนที่มีเสถียรภาพ จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ แตกต่างจากคาร์บอนในอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายและปลดปล่อยคาร์บอนสู่ชั้นบรรยากาศ (Lehmann, 2007; Lee *et al.*, 2010) ในปัจจุบันมีเตาเผาหลายรูปแบบที่ชาวบ้านสามารถผลิตเองได้ และให้ผลผลิตไบโอชาร์ที่มีคุณสมบัติไม่แตกต่างจากไบโอชาร์ที่ผลิตจากเตาเผาที่ควบคุมอุณหภูมิได้ในห้องปฏิบัติการ (Wijitkosum and Jiwnok, 2019) ไบโอชาร์สามารถผลิตจากเศษวัสดุอินทรีย์ทุกชนิด เช่น เศษวัสดุจากอุตสาหกรรมอาหาร เปลือกถั่วลิสง

ขุยมะพร้าว เปลือกมันฝรั่ง เศษวัสดุเกษตร และกากจากการหมักขยะอินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งทำให้คุณสมบัติของไบโอชาร์ที่ได้แตกต่างกัน (Elkhalifa *et al.*, 2019) ในกรณีที่ใช้ไบโอชาร์จากกากตะกอนน้ำเสียที่มาจากเมืองหรืออุตสาหกรรม อาจทำให้มีโลหะหนักเจือปนในพืชที่ปลูกได้ (Yue *et al.*, 2017)

เนื่องจากคุณสมบัติผลึกที่มีรูพรุนมีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ที่ 1.2-335 กรัม/ตร.ม. เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคดินเหนียว ค่า pH อยู่ระหว่าง 6.3-11.2 มีองค์ประกอบคาร์บอนอยู่ที่ร้อยละ 30-80 ของน้ำหนัก คุณสมบัติทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุเริ่มต้นที่ใช้ผลิตไบโอชาร์ (Zabaniotou and Stamou, 2020) การใช้ไบโอชาร์เพื่อปรับปรุงดิน ทำให้ความหนาแน่นของดินลดลง ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้น ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity) ของดินสูงขึ้น ทำให้ดินปลูกมีความสามารถในการตรึงธาตุอาหารพืชดีขึ้น ช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากการชะล้าง ลดการสูญเสียไนโตรเจนไปในอากาศ ช่วยเพิ่ม pH ของดินที่เป็นกรด และช่วยส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน รากพืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น (Semida *et al.*, 2019) จากการทดลองในการผลิตผักกาดฮ่องเต้และผักโขม พบว่าการใช้ไบโอชาร์ 4.8 ตันต่อไร่ ในการปรับปรุงดิน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ผลผลิตผักทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น 2 เท่า เปรียบเทียบกับการไม่ใช้ไบโอชาร์ การใส่มูลสัตว์ 940 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้ไบโอชาร์สามารถลดการปลดปล่อยมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากดินกว่าร้อยละ 79 และ 46 ของการใส่มูลวัวเพียงอย่างเดียว (Jia *et al.*, 2012)

การเกษตรในเมืองกับมิติทางด้านเศรษฐกิจ

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจมีความแตกต่างกันระหว่างบริบทของเกษตรในเมืองของประเทศที่พัฒนาแล้วกับประเทศกำลังพัฒนา เนื่องจากมีข้อจำกัดและเงื่อนไขแตกต่างกัน เช่น ประเทศที่พัฒนาแล้วพื้นที่เกษตรในเมืองช่วยเพิ่มราคาที่ดินและช่วยกระตุ้นการจ้างงาน

ให้กับประชากรที่มีรายได้ต่ำถึงรายได้ปานกลาง (Pottharst, 1995) นอกจากนี้อาจเป็นการทำเกษตรเชิงการค้า และยังมีคุณประโยชน์ทางด้านอื่นๆ เป็นตัวดึงดูดให้รัฐบาลมีนโยบายในการส่งเสริมการทำเกษตรในเมือง ในขณะที่การเกษตรในเมืองของประเทศที่กำลังพัฒนาช่วยเสริมสร้างความมั่นคงทางอาหาร เป็นแหล่งรายได้เสริมของครัวเรือน เป็นต้น (Hallett *et al.*, 2016)

การเกษตรในเมืองมีศักยภาพในการพึ่งพาตัวเองทางด้านอาหารของประชากรในเมือง ตัวอย่างการศึกษาของ Codyre (2015) พบว่าที่เมือง Guelph ประเทศแคนาดา มีผลผลิตผักผลไม้จากแปลงเกษตร (หลังบ้านชุมชน) เฉลี่ย 1.43 กก./ตร.ม./ปี ซึ่งหากเพิ่มพื้นที่แปลงเกษตรหลังบ้านร้อยละ 10 จากพื้นที่แปลงเดิมที่มีพื้นที่ในการผลิตในเมืองอยู่ 13.76 เฮกตาร์ ผลผลิตผักและผลไม้จะสามารถเลี้ยงประชากรได้ถึง ร้อยละ 46 ของประชากรทั้งหมด หรือคิดเป็นประชากร 56,000 คน/ปี (ประชากรหนาแน่น 1,511.1 คน/ตร.กม.) อีกหนึ่งงานศึกษาโดย Grewal and Grewal (2012) ของเมือง Cleveland ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าหากใช้พื้นที่ร้อยละ 80 ของพื้นที่ว่างในเมือง ร่วมกับพื้นที่ร้อยละ 9 ของทุกพื้นที่ที่มีคนอยู่อาศัย จะสามารถผลิตผักและผลไม้ได้ถึงร้อยละ 31-68 ของความต้องการบริโภคทั้งหมด ในช่วงเวลาของวิกฤติทางเศรษฐกิจ (Great depression) และสงครามโลกครั้งที่ 2 ในสหรัฐอเมริกาขาดแคลนทรัพยากรในการผลิต (Lawson, 2005) มีการรณรงค์ให้ทำแปลงผักภายในชุมชน มีครัวเรือนที่เข้าร่วมในโครงการถึง 18-20 ล้านครัวเรือน สามารถผลิตผักได้ถึงร้อยละ 40 ของปริมาณความต้องการผักของทั้งประเทศ

การทำเกษตรในเมืองยังช่วยลดระยะทางที่อาหารเดินทางจากสถานที่เพาะปลูกมาถึงสถานที่ที่อาหารถูกซื้อโดยผู้บริโภคขั้นสุดท้าย (Food miles) เป็นการลดผลกระทบจากพฤติกรรมผู้บริโภคของคนเมือง (Wynen and Vanzetti, 2008) ตัวอย่างเช่น ในกรณีของกรุงเทพมหานคร จะต้องใช้ต้นทุน 149.9 บาท/ตัน ในการขนส่งอาหารจากพื้นที่การผลิตที่ห่างออกไป 100 กิโลเมตร

และต้นทุนจะสูงถึง 688.5 บาท/ตัน เมื่อต้องขนส่งอาหารในระยะทาง 300 กิโลเมตรจากตัวเมือง เป็นต้น (Kanokwalee, 2012)

ในทางเศรษฐศาสตร์จากการประเมินของ FAO พบว่า การทำเกษตรในเมืองจะยังมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงขึ้น หากสามารถปรับตัวได้ตามการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเศรษฐกิจสังคมของเมือง เพิ่มความสามารถในการผลิตต่อหน่วยพื้นที่ เพื่อตอบสนองกับความต้องการของประชากรเมือง อีกทั้งจะต้องเพิ่มความหลากหลายของบทบาทที่มีต่อชุมชนเมือง เป็นต้น (FAO, 2007)

ในอนาคตการเกษตรในเมืองคงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องการเกษตรในเมืองไม่มีความมั่นคงอันเป็นผลมาจากการขยายตัวของเมืองและการเสียโอกาสทางเศรษฐกิจในการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตร เนื่องจากการเกษตรสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจน้อยกว่ากิจกรรมอื่นๆ (Manorom and Promthong, 2018) เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของพื้นที่ใช้ เกษตรกรหรือผู้ประกอบการจะต้องมีการปรับตัวเพื่อการทำเกษตรในเมืองที่มีพื้นที่ขนาดเล็กลง เพราะราคาที่ดินสูงขึ้น แต่ก็ต้องผลิตให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น และจะต้องเพิ่มมูลค่าของผลผลิต อาจจะต้องมีการปรับพื้นที่เกษตรให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงเกษตร เป็นต้น (Supannika *et al.*, 2019)

ข้อจำกัดและความท้าทายของระบบนิเวศเกษตรในเมือง

จากการศึกษางานวิชาการที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบเชิงลบที่เกิดขึ้นจากการทำเกษตรในเมืองยังมีจำนวนน้อย ซึ่งอาจเป็นประเด็นศึกษาสำหรับนักวิจัยเพื่อเสริมสร้างการพัฒนากระบวนนิเวศเกษตรในเมืองให้มีความสมบูรณ์รอบด้านมากขึ้น โดยในการดำเนินการพัฒนายังมีปัจจัยที่ผู้วิจัยจะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อหาแนวทางในการแก้ไข หรือการสร้างนโยบายที่เหมาะสมในการสร้างแรงจูงใจ ดังนี้

1) ผลกระทบทางลบจากระบบนิเวศ (Ecosystem disservices) เนื่องจากนิเวศบริการที่เกิดขึ้นจากการทำเกษตรในเมืองมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบการ

ผลิต ความหลากหลายของพืชและสัตว์ที่อยู่ในระบบการผลิต บางพื้นที่สภาพอากาศในเมืองไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช บางกรณีอาจส่งผลกระทบต่อทางลบ เช่น พื้นที่กลายเป็นแหล่งขยายพันธุ์ของยุงและสัตว์รบกวนอื่นๆ เป็นแหล่งแพร่กระจายของศัตรูพืชและเชื้อสาเหตุโรคพืช ปุ๋ยเคมีและน้ำเสียรั่วไหลสู่แหล่งน้ำในเมือง เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดนี้ยังไม่มีการศึกษาที่เพียงพอถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น (Lin *et al.*, 2015) การจัดการการเกษตรในเมืองจึงควรมีการวางแผนไปพร้อมๆ กับการออกแบบและขยายเมือง เพื่อให้ได้ผลเชิงบวกสูงที่สุด ป้องกันและบรรเทาผลกระทบเชิงลบที่อาจตามมา (Döhren and Haase, 2015) และอาจช่วยปัญหาเดิมที่มีอยู่ก่อนแล้วของเมือง เช่น การจัดการน้ำฝน น้ำท่วมขัง (Suppakittpaisarn *et al.*, 2020) หรือการจัดการพื้นที่รกร้างในเขตเมือง (Lopez *et al.*, 2021)

2) ข้อจำกัดทางเศรษฐศาสตร์ การผลิตทางเกษตรในเมืองอาจเสียเปรียบในการลงทุน เพราะไม่สามารถขยายกำลังการผลิตได้จากการลงทุนด้านอื่นๆ เพิ่มเติมได้ (Economies of scale) เนื่องจากมีพื้นที่จำกัด (Singer and Brumfield, 2017) หากดำเนินการตามแบบแผนหน่วยธุรกิจปกติอาจไม่สามารถให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าพอ ความยั่งยืนทางการเงินค่อนข้างต่ำเนื่องจากปัจจัยทางด้านการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ราคาเช่าและค่าเสียโอกาสในการใช้ที่ดิน (Hunold *et al.*, 2016)

3) ข้อจำกัดทางสภาพเศรษฐกิจสังคม เช่น ในกรุงเทพมหานคร มีการควบคุมการใช้ที่ดินที่ไม่เอื้ออำนวยไม่ดึงดูดให้มีการทำเกษตรในเมือง ประชากรที่อยู่อาศัยในเมืองไม่มีความผูกพันกับชุมชนที่อยู่อาศัย อีกทั้งผู้อยู่อาศัยไม่มีความจำเป็นในการผลิตเอง เนื่องจากอาหารราคาถูก (Kanokwalee, 2012)

4) ข้อจำกัดทางด้านเศรษฐศาสตร์พฤติกรรมคนที่อยู่อาศัยในเมือง การดำเนินกิจกรรมของปัจเจกใช้การตัดสินใจแบบไม่ได้ผ่านกระบวนการคิด หรือการใช้กฎเกณฑ์แบบหยาบ (Rule of thumbs) ตามความเคยชินในชีวิตประจำวัน อันเป็นผลมาจากการรับรู้ ความพึงพอใจ

บรรทัดฐานของตลาดและสังคม มากกว่าจะใช้กระบวนการคิด (Cognitive system) ที่คำนึงถึงผลประโยชน์โดยรวมของสังคม (Sinad, 2016)

อย่างไรก็ตามการพัฒนาระบบนิเวศเกษตรในเมืองมีความสอดคล้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจตามแนวทาง BCG Economic Model ที่รัฐบาลไทยประกาศเอาไว้ เนื่องด้วยการเกษตรในเมืองมีความหลากหลายในแง่ของรูปแบบ วัตถุประสงค์ เทคโนโลยีที่ใช้การผลิต และประโยชน์ที่จะได้รับ การตัดสินใจทำเกษตรในเมืองจึงต้องคำนึงถึงบริบทของเศรษฐกิจสังคมของพื้นที่ ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของประชากรรวมกับการใช้พื้นที่และทรัพยากรในการผลิตทางเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ การเกษตรในเมืองช่วยเสริมสร้างความยืดหยุ่น (Resilience) ของระบบนิเวศของเมืองในระดับบุคคล ระดับชุมชน และสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดประโยชน์ในหลากหลายมิติ

วิจารณ์และสรุปผล

จากบทความวิชาการชิ้นนี้ พบว่ามียอดความรู้ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิด BCG Economic Model และระบบการเกษตรในเมืองในหลายประเด็น เช่น การเกษตรในเมืองและการพัฒนาสภาพแวดล้อมเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของประชากรเมือง หลักการออกแบบนิเวศการเกษตรเมืองที่ช่วยเน้นความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิต โอกาสในการสร้างระบบการหมุนเวียนทรัพยากรในระบบการผลิตของการทำเกษตรเมือง มิติด้านเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนและประสิทธิภาพการผลิต และการบริโภคผลผลิต รวมถึงข้อจำกัดและความท้าทายที่ต้องร่วมกันพัฒนาและแก้ไข

บทความนี้สะท้อนประเด็นต่างๆ ที่มีความใกล้เคียงกับบทความวิชาการด้านการเกษตรและพื้นที่สีเขียวในเมืองที่อื่นๆ เช่น Tzoulas *et al.* (2007) ที่กล่าวถึงระบบชีวภาพของพื้นที่สีเขียวกับมนุษย์ Zasada (2011) ที่กล่าวถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการทำเกษตรแบบหลากหลายในพื้นที่ชานเมือง หรือ Lin

et al. (2015) ที่กล่าวถึงประเด็นคุณประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมของการเกษตรในเขตเมือง รวมทั้ง Döhren and Haase (2015) ที่กล่าวถึงโทษของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติในเขตเมือง ในขณะเดียวกันเอกลักษณ์ของบทความวิชาการชิ้นนี้ คือ การนำความรู้ทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อสะท้อนข้อมูลทั้งหมดภายใต้กรอบ BCG Economic Model ได้อย่างชัดเจน และมององค์ประกอบเหล่านี้ได้ในองค์รวมมากขึ้น เพื่อให้มีการวางแผนและวางแผนอย่างถี่ถ้วน (Deliberative planning) (Charoenlerthanakit *et al.*, 2020)

นักเกษตรและผู้ตัดสินใจเชิงนโยบายสามารถใช้บทความนี้เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจการเกษตรในเมืองตามกรอบของ BCG Economic Model เพื่อพัฒนาและจัดทำนโยบายสาธารณะอย่างรอบด้าน ควรมีการนำกรอบแนวคิดเศรษฐศาสตร์พฤติกรรมมาใช้ในการจัดการทางเลือก โดยการกระตุ้น (Nudge theory) ให้สมาชิกชุมชนมีพฤติกรรมที่พึงประสงค์เพื่อเป็นทางเลือกมาตรฐาน (Default option) โดยไม่จำกัดทางเลือกอื่นๆ และไม่เปลี่ยนแปลงแรงจูงใจทางเศรษฐกิจอย่างมีนัยสำคัญ แต่ใช้ข้อบกพร่องของการตัดสินใจของบุคคลในการจูงใจให้บุคคลเลือกทางเลือกที่เป็นประโยชน์ต่อสังคม (Pro-social nudge) (Hansen and Jespersen, 2013)

องค์ความรู้ที่รวบรวมในบทความนี้ไม่สามารถตอบโจทย์วิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวอย่างเชิงกายภาพของการออกแบบระบบเกษตรในเขตเมืองให้ตอบสนองต่อ BCG Economic Model ในระยะยาว พืชพรรณ การออกแบบ และการวางแผนเมืองที่ตอบสนองต่อการพัฒนาระบบนิเวศเกษตรเมือง รวมถึงการป้องกันและบรรเทาปฏิสัมพันธ์ในเชิงลบระหว่างการเกษตรและการใช้ประโยชน์อื่นๆ ในพื้นที่เมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของประเทศไทย จึงเป็นช่องว่างในการทำงานวิจัยในอนาคตเพื่อตอบคำถามเหล่านี้ให้ได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ความตระหนักรู้ที่เพิ่มสูงขึ้นของประชากรเมืองในการบริโภคอาหารปลอดภัย ความมั่นคงทางอาหาร และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก รวมไปถึงกระแสของการบริโภคอาหารที่มีวัตถุดิบที่ผลิตในท้องถิ่น (Locavore) (Huang and Drescher, 2015) มีส่วนทำให้การทำเกษตรในเมืองเป็นที่นิยมมากขึ้น การพัฒนาระบบนิเวศเกษตรเมืองที่ประสบความสำเร็จ ต้องเริ่มต้นจากการสร้างความเข้าใจภายในชุมชน ประโยชน์ที่หลากหลายของการทำเกษตรในเมืองต้องสามารถตอบสนองต่อความต้องการของชุมชน โดยที่ชุมชนจะต้องเป็นตัวขับเคลื่อนด้วยตนเอง (Golden, 2013) ควรต้องมีการสร้างความเข้าใจร่วมกันกับภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง เช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และองค์การบริหารส่วนจังหวัด ในการใช้การทำเกษตรในเมืองในการพัฒนาท้องถิ่น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยระบบทรัพยากรเกษตร และภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในความร่วมมือเพื่อพัฒนางานทางด้านนิเวศเกษตรเมือง ซึ่งเป็นที่มาของบทความนี้

เอกสารอ้างอิง

Anastasiou, A., A. de Valenca, E. Amare, G.M. de Oca, I. Widyaningrum, K. Bokhorst and S. Liu. 2014. **The Role of Urban Agriculture in Urban Organic Waste Management in The Hague, The Netherlands.** Wageningen: Wageningen University. 66 p.

- Armanda, D.T., J.B. Guinée and A. Tukker. 2019. The second green revolution: innovative urban agriculture's contribution to food security and sustainability – a review. **Journal of Global Food Security** 22: 13-24.
- Artmann, M. and K. Sartison. 2018. The role of urban agriculture as a nature-based solution: a review for developing a systemic assessment framework. **Journal of Sustainability** 10(6): 1-32.
- Aubry, C., J. Ramamonjisoa, M.-H. Dabat, J. Rakotoarisoa, J. Rakotondraibe and L. Rabeharisoa. 2012. Urban agriculture and land use in the cities: an approach with the multi-functionality and sustainability conceep in the case of Antananarivo (Madagascar). **Journal of Land Use Policy** 29(2): 429-439.
- Azunre, G.A., O. Amponsah, C. Peprah, S.A. Takyi and I. Braimah. 2019. A review of the role of urban agriculture in the sustainable city discourse. **Journal of Cities** 93: 104-119.
- Bakker, N., M. Dubbeling, S. Gündel, U. Sabel-Koschella and H. de Zeeuw. 2000. **Growing Cities, Growing Food: Urban Agriculture on the Policy Agenda, A Reader on Urban Agriculture.** Feldafing: Deutsche Sitftung für International Entwicklung. 531 p.
- Benis, K. and P. Ferrão. 2018. Commercial farming within the urban built environment–Taking stock of an evolving field in northern countries. **Journal of Global Food Security** 17: 30-37.
- Breunig, H.M., J. Amirebrahimi, S. Smith and C.D. Scown. 2019. Role of digestate and biochar in carbon–negative bioenergy. **Journal of Environmental Science and Technology** 53(22): 12989-12998.
- Carabassa, V., X. Domene and J.M. Alcaniza. 2020. Soil restoration using compost–like–outputs and digestates from non–source–separated urban waste as organic amendments: limitations and opportunities. **Journal of Environmental Management** 255: 1-10.
- Charoenlertthanakit, N., C. Wanitchayapaisit, E. Yaipimol, V. Surinseng and P. Suppakittpaisarn. 2020. Landscape planning for an agricultural research center: a research–by–design case study in Chiang Mai, Thailand. **Journal of Land** 9(5): 149.
- Codyre, M., E.D.G. Fraser and K. Landman. 2015. How does your garden grow? An empirical evaluation of the cost and potential of urban gardening. **Journal of Urban Forestry and Urban Greening** 14(1): 72-79.

- Community of Bio-economic Research Revolving Economy and Green Economy. 2018. **BCG in action: science development technology and innovation in Thailand for the biological economy circular economy and green economy.** [Online]. Available <http://stiic.sti.or.th/work/bcg-model/> (20 July 2020).
- Diehl, J.A., E. Sweeney, B. Wong, C.S. Sia, H. Yao and M. Prabhudesai. 2020. Feeding cities: Singapore's approach to land use planning for urban agriculture. **Journal of Global Food Security** 26: 1-11.
- Döhren, P.V. and D. Haase. 2015. Ecosystem disservices research: a review of the state of the art with a focus on cities. **Journal of Ecological Indicators** 52: 490-497.
- Elkhalifa, S., T. Al-Ansari, H.R. Mackey and G. McKay. 2019. Food waste to biochars through pyrolysis: a review. **Journal of Resources, Conservation and Recycling** 144: 310-320.
- Energy Research and Development Institute–Nakornping, Chiang Mai University. 2020. **Biomass management center Chiang Mai University. Chiang Mai: Nakornping Energy Research and Development Institute (Chiang Mai University).** [Online]. Available <https://erdi.cmu.ac.th/?p=1445> (20 October 2020).
- FAO. 2003. **The informal food sector–municipal support policies for operators.** [Online]. Available <http://www.fao.org/3/a-y4312e.pdf> (20 October 2020).
- _____. 2007. **Profitability and sustainability of urban and peri-urban agriculture.** [Online]. Available <http://www.fao.org/3/a-a1471e.pdf> (20 October 2020).
- _____. 2010. **Growing greener cities.** [Online]. Available <http://www.fao.org/ag/agp/greencities/pdf/ggc-en.pdf> (20 October 2020).
- _____. 2014. **Growing greener cities in Latin America and the Caribbean.** [Online]. Available <http://www.fao.org/3/a-i3696e.pdf> (20 October 2020).
- Golden, S. 2013. **Urban agriculture impacts: social, health, and economic: a literature review.** [Online]. Available <https://ucanr.edu/sites/CEprogramevaluation/files/215003.pdf> (20 October 2020).
- Grewal, S.S. and P.S. Grewal. 2012. Can cities become self-reliant in food?. **Journal of Cities** 29(1): 1-11.
- Hallett, S., L. Hoagland and E. Toner. 2016. Urban Agriculture: Environmental, Economic, and Social Perspectives. pp. 65-120. *In* Janick, J. (ed.). **Horticultural Reviews.** New Jersey: Wiley–Blackwell, Inc.

- Hansen, P.G. and A.M., Jespersen. 2013. Nudge and the manipulation of choice: a framework for the responsible use of the nudge approach to behaviour change in public policy. **European Journal of Risk Regulation** 4(1): 3-28.
- Hashim, N. 2015. Reversing food desertification: examining urban farming in Louisville, Chicago and Detroit. **Journal of Local Environment** 20(6): 611-636.
- Hawkins, J.L., J. Mercer, K.J. Thirlaway and D.A. Clayton. 2013. Doing gardening and being at the allotment site: exploring the benefits of allotment gardening for stress reduction and healthy aging. **Journal of Ecopsychology** 5(2): 110-125.
- Huang, D. and M. Drescher. 2015. Urban crops and livestock: the experiences, challenges, and opportunities of planning for urban agriculture in two Canadian provinces. **Journal of Land Use Policy** 43: 1-14.
- Hunold, C., Y. Sorunmu, R. Lindy, S. Spataro and P.L. Gurian. 2016. Is urban agriculture financially sustainable? An exploratory study of small-scale market farming in Philadelphia, Pennsylvania. **Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development** 7(2): 51-67.
- Jamal, M. and S.S. Morteza. 2014. The effect of urban agriculture in urban sustainable development and its techniques: a case study in Iran. **International Journal of Agriculture and Forestry** 4(4): 275-285.
- Jia, J., B. Li, Z. Chen, Z. Xie and Z. Xiong. 2012. Effects of biochar application on vegetable production and emissions of N₂O and CH₄. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 58(4): 503-509.
- Kanokwalee, S. 2012. The impact of food distances on the ecological pattern of food sources in Bangkok. NAJUA: Architecture. **Journal of Design and Built Environment** 26: 71-71. [in Thai]
- Körner, I., I. Saborit-Sánchez and Y. Aguilera-Corrales. 2008. Proposal for the integration of decentralised composting of the organic fraction of municipal solid waste into the waste management system of Cuba. **Journal of Waste Management** 28(1): 64-72.
- Lawson, L.J. 2005. **City Bountiful: A Century of Community Gardening in America**. Berkeley: University of California. 363 p.
- Lee, J.W., B. Hawkins, D.M. Day and D.C. Reicosky. 2010. Sustainability: the capacity of smokeless biomass pyrolysis for energy production, global carbon capture and sequestration. **Journal of Energy and Environmental Science** 3(11): 1695-1705.
- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. **Journal of Nature** 447(7141): 143-144.
- Lin, B.B., S.M. Philpott and S. Jha. 2015. The future of urban agriculture and biodiversity-ecosystem services: challenges and next steps. **Journal of Basic and Applied Ecology** 16(3): 189-201.

- López, G.I.M., G. Kim, Y. Lei, G. Newman and P. Suppakittpaisarn. 2021. An assessment method and typology for the regeneration of vacant land in Quito, Ecuador. **Journal of Urban Forestry and Urban Greening** 62: 127-130.
- Madmai, B. 2009. The use of bioenergy technology for efficient energy management. **Technology Promotion** 35(205): 60-67. [in Thai]
- Manorom, K. and S. Promthong. 2018. Peri-urban agriculture in Ubon Ratchathani city: pressure and persistence. **Journal of Mekong Societies** 14(1): 41-62.
- McLain, R., M. Poe, P.T. Hurley, J. Lecompte–Mastenbrook and M.R. Emery. 2012. Producing edible landscapes in Seattle's urban forest. **Journal of Urban Forestry and Urban Greening** 11(2): 187-194.
- Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation. 2019. **Proposal for BCG in action: the new sustainable growth engine**. [Online]. Available <https://www.nstda.or.th/th/images/-file-pdf/20200306-bcg-in-action.pdf> (21 October 2020). [in Thai]
- Mougeot, L.J.A. 2000. **Urban Agriculture: Definition, Presence, Potentials and Risks and Policy Challenges**. 58 p. *In Cities Feeding People Series Report* 31. Ottawa: International Development Research Centre.
- Office of National Higher Education Science Research and Innovation Policy Council. 2020. **BCG in action**. [Online]. Available <https://www.nxpo.or.th/th/en/bcg-in-action/> (5 May 2021).
- Orsini, F., N. Michelon, F. Scocozza and G. Gianquinto. 2008. Farmers-to-consumers: an example of sustainable soilless horticulture in urban and peri-urban areas. **Journal of Acta Horticulturae** 809: 209-220.
- Orsini, F., R. Kahane, R. Nono–Womdim and G. Gianquinto. 2013. Urban agriculture in the developing world: a review. **Journal of Agronomy for Sustainable Development** 33(4): 695-720.
- Poonpolsub, S., N. Jakrawatana, M. Pattarapremcharoen and W. Setthapun. 2017. Carbon footprint reduction from Bangkok urban home vegetable garden. **International Journal of Renewable Energy** 12(2): 75-86.
- Pottharst, K. 1995. Urban dwellers and vacant lots: partners in pride. **Journal of Parks and Recreation (Arlington)** 30(9): 94-101.
- Selman, P. 2012. **Sustainable Landscape Planning: The Reconnection Agenda**. New York: Routledge. 176 p.

- Semida, W.M., H.R. Beheiry, M. Setamou, C.R. Simpson, T.A.A. El-Mageed, M.M. Rady and S.D. Nelson. 2019. Biochar implications for sustainable agriculture and environment: a review. **South African Journal of Botany** 127: 333-347.
- Siddiqua, A. 2018. Paradigm of eco–urban–agriculture for the sustainable city: integrating the concept for urban Dhaka. **Journal of Environmental Design and Planning** 14: 1-14.
- Sinad, T. 2016. **Behavioral economics and urban policy**. [Online]. Available https://www.researchgate.net/publication/340478650_sersthsastrphvtikrrmlaeanyobaykhxngmeuxng_Behavioral_Economics_and_Urban_Policy (5 May 2021). [in Thai]
- Singer, C. and R.G. Brumfield. 2017. An economic analysis of urban agriculture. **International Journal of Agricultural Science** 2: 42-45.
- Skar, S.L.G., R. Pineda-Martos, A. Timpe, B. Polling, K. Bohn, M. Kulvik and C. Delgado. 2020. Urban agriculture as a keystone contribution towards securing sustainable and healthy development for cities in the future. **Journal of Blue–Green Systems** 2(1): 1-27.
- Spataru, A., R. Faggian and A. Docking. 2020. Principles of multifunctional agriculture for supporting agriculture in metropolitan peri-urban areas: the case of Greater Melbourne, Australia. **Journal of Rural Studies** 77: 34-44.
- Supannika, S., J. Chalermphot, R. Sirisunyaluck, B. Limnirankul and S. Kanjina. 2019. Smallholder farmers’ adaptation to the impact of expanded urban areas in Chiang Mai province. **Journal of Agricultural Research and Extension** 37(1): 94-105. [in Thai]
- Suppakittpaisarn, P., X. Jiang and W.C. Sullivan. 2017. Green infrastructure, green stormwater infrastructure, and human health: a review. **Journal of Current Landscape Ecology Reports** 2(4): 96-110.
- Suppakittpaisarn, P., C.Y. Chang, B. Deal, L. Larsen and W.C. Sullivan. 2020. Does vegetation density and perceptions predict green stormwater infrastructure preference?. **Journal of Urban Forestry and Urban Greening** 55: 126842.
- Supparwoko, W. and B. Taufani. 2017. Urban farming construction model on the vertical building envelope to support the green buildings development in Sleman, Indonesia. **Journal of Procedia Engineering** 171: 258-264.

- Sustainable Agriculture Foundation (Thailand). 2017. **Urban agriculture**. [Online]. Available [http://www.thaicityfarm.com/category/ Research Knowledge Article](http://www.thaicityfarm.com/category/Research%20Knowledge%20Article) (20 July 2020).
- Tampio, E., T. Salo and J. Rintala. 2016. Agronomic characteristics of five different urban waste digestates. **Journal of Environmental Management** 169: 293-302.
- Todd, L.F., K. Landman and S. Kelly. 2016. Phytoremediation: an interim landscape architecture strategy to improve accessibility of contaminated vacant lands in Canadian municipalities. **Journal of Urban Forestry and Urban Greening** 18: 242-256.
- Tzoulas, K., H. Korpela, S. Venn, V. Yli-Pelkonen, A. Kaźmierczak, J. Niemela and P. James. 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: a literature review. **Journal of Landscape and Urban Planning** 81(3): 167-178.
- Valley, W. and H. Wittman. 2019. Beyond feeding the city: the multifunctionality of urban farming in Vancouver, BC. **Journal of City, Culture and Society** 16: 36-44.
- Waffle, A.D., R.C. Corry, T.J. Gillespie and R.D. Brown. 2017. Urban heat island as agriculture opportunities: an innovative approach. **Journal of Landscape and Urban Planning** 161: 103-114.
- Wijitkosum, S. and P. Jiwonok. 2019. Elemental composition of biochar obtained from agricultural waste for soil amendment and carbon sequestration. **Journal of Applied Sciences** 9(19): 1-15.
- Wynen, E. and D. Vanzetti. 2008. **No through road: the limitations of food miles**. [Online]. Available <http://www.adbi.org/workingpaper/2008/10/30/2735.limitations.food.miles/> (20 October 2020).
- Yue, Y., L. Cui, Q. Lin, G. Li and X. Zhao. 2017. Efficiency of sewage sludge biochar in improving urban soil properties and promoting grass growth. **Journal of Chemosphere** 173: 551-556.
- Zabaniotou, A. and K. Stamou. 2020. Balancing waste and nutrient flows between urban agglomerations and rural ecosystems: biochar for improving crop growth and urban air quality in The Mediterranean Region. **Journal of Atmosphere** 11(5): 1-32.
- Zaid, S.M., E. Perisamy, H. Hussein, N.E. Myeda and N. Zainon. 2018. Vertical greenery system in urban tropical climate and its carbon sequestration potential: a review. **Journal of Ecological Indicators** 19: 57-70.
- Zasada, I. 2011. Multifunctional peri-urban agriculture – A review of societal demands and the provision of goods and services by farming. **Journal of Land use policy** 28(4): 639-648.

การเพิ่มมูลค่าเนื้อผลกาแฟเป็นสารเชิงหน้าที่ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

Value Added of Coffee Pulp as Functional Ingredient in Skin Care Cosmetic

นิชชีมา บุญอยู่¹ ลักสรดา มุ่งหมาย² เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน³ ณัฐวุฒิ หวังสมนึก¹ และดวงพร อมรเลิศพิศาล^{3*}

Nitchima Boonyu¹, Lapatrada Mungmai², Kriangsak Mengamphan³

Nattawut Whangsomnuek¹ and Doungporn Amornlerdpison^{3*}

¹หลักสูตรสหวิทยาการเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²วิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000

³ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านนวัตกรรมทางการเกษตรสำหรับบัณฑิตผู้ประกอบการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Interdisciplinary Agriculture Program, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

²Cosmetic Science, School of Pharmaceutical Sciences, University of Phayao, Phayao Thailand 56000

³Center of Excellence in Agricultural Innovation for Graduate Entrepreneur, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: doungpornfishtech@gmail.com

Received: August 04, 2020

Revised: April 20, 2021

Accepted: June 21, 2021

Abstract

Coffee pulp (CP) is a waste from the industrial coffee production which cause a problem in management of environment including acidic soil quality and unpleasant odors. In this study, Arabica CP was value added as functional ingredient in cosmetic product. The CP was extracted with water and dried via freeze drying to obtained coffee pulp extract (CPE). The total phenolic content of CPE was determined to be 45.12 ± 1.08 mg GAE/g extract. The chlorogenic acid, a bioactive compound in CP was found to be 17.8 mg/kg. In the biological evaluation, it was found that CPE showed antioxidant activity in 3 assays of ABTS, DPPH and superoxide radicals-scavenging. The half maximal inhibitory concentration (IC_{50}) were 0.59, 0.94 and 9.53 mg/ml, respectively. Furthermore, CPE was shown inhibition of tyrosinase, this enzyme plays an important role in melanogenesis which IC_{50} was 125.21 mg/ml. From the above experiments, CPE exhibits functional properties for anti-aging cosmetics. CPE was formulated in facial cream product and then the stability test was evaluated in various conditions such as 4°C, room temperature and 45°C for 90 days as well as accelerated stability test under 6 heat-cool cycle. The facial cream demonstrated good physical stability under 4 various conditions. Therefore, CPE has the potential to add the value as functional ingredient in cosmetic products.

Keywords: coffee pulp extract, phenolic compound, antioxidant, anti-tyrosinase, cosmetic product

บทคัดย่อ

เนื้อผลกาแฟ (Coffee Pulp; CP) เป็นส่วนเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตเมล็ดกาแฟ จัดเป็นเศษเหลือทิ้งก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมทั้งคุณภาพดินที่เป็นกรดและกลิ่นไม่พึงประสงค์ การศึกษาครั้งนี้จึงนำ CP สายพันธุ์ราบิเก่าที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งมาเพิ่มมูลค่าเป็นสารเชิงหน้าที่ในเครื่องสำอางบำรุงผิว โดยนำ CP มาทำการสกัดด้วยน้ำและทำให้แห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งได้เป็นสารสกัดเนื้อผลกาแฟ (Coffee Pulp Extract; CPE) นำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกพบว่า CPE มีฟีนอลิกรวม 45.12 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมของสารสกัด โดยมีกรดคลอโรจีนิกซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเท่ากับ 17.8 มก./กก. ในส่วนของการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพพบว่า CPE มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS, DPPH และ superoxide ได้ร้อยละ 50 (IC₅₀) มีค่าเท่ากับ 0.59, 0.94 และ 9.53 มก./มล. นอกจากนี้ยังพบว่า CPE สามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสที่เป็นสาเหตุของการสังเคราะห์เมลานิน มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 125.21 มก./มล. จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า CPE มีคุณสมบัติเป็นสารเชิงหน้าที่เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ด้านเครื่องสำอาง จึงนำไปพัฒนาในตำรับครีมบำรุงผิวหน้า และทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์ใน 4 สภาวะ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง 4°C. และ 45°C. เป็นเวลา 90 วัน และทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์แบบเร่งโดยการทดสอบแบบร้อนสลับเย็นจำนวน 6 รอบ ผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมีความคงตัวดีทั้ง 4 สภาวะ ดังนั้น CPE จึงมีศักยภาพในการนำมาเพิ่มมูลค่าเป็นสารเชิงหน้าที่ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางบำรุงผิว

คำสำคัญ: เนื้อผลกาแฟ สารประกอบฟีนอลิก
สารต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านเอนไซม์
ไทโรซิเนส ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

คำนำ

กาแฟ (Coffee) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของโลกที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการนำไปผลิตเป็นเครื่องดื่ม เนื่องจากการดื่มกาแฟจะส่งผลให้รู้สึกสดชื่น ตื่นตัว ช่วยลดอาการง่วงซึม และผ่อนคลายความรู้สึกตึงเครียดลงได้ ดังนั้นจึงมีการเพิ่มปริมาณการปลูกกาแฟทั้งในประเทศและต่างประเทศมากขึ้น อุตสาหกรรมกระบวนการแปรรูปกาแฟเพื่อให้ได้เมล็ดกาแฟจำนวนมากย่อมส่งผลให้มีส่วนเหลือทิ้งปริมาณมากตามมา โดยหลังจากการกะเทาะเปลือกกาแฟเพื่อนำเมล็ดด้านในมาผลิตเป็นเครื่องดื่มจะเหลือเศษของเนื้อผลกาแฟ (Coffee Pulp; CP) ซึ่งหากขาดการจัดการที่เหมาะสมจะก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากส่งกลิ่นไม่พึงประสงค์และทำให้ดินเป็นกรด แต่เดิมมีการนำ CP ที่เป็นเศษเหลือทิ้งนั้นไปใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมักนำไปเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ ใช้เป็นพื้นที่สำหรับเพาะปลูกเห็ดต่างๆ (Rathinavelu and Graziosi, 2005) อย่างไรก็ตามยังไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ และการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมเท่าที่ควร

งานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าเนื้อผลกาแฟ (Coffee Pulp; CP) ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก คาเฟอีน และแทนนิน ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ชะลอความเสื่อมของเซลล์ และยังมีน้ำมันที่ช่วยบำรุงผิวได้ (Pandey *et al.*, 2000; Ramirez-Martinez, 1988) นอกจากนี้ยังตรวจพบกรดคลอโรจีนิก (Chlorogenic acid) ในปริมาณสูงร้อยละ 42.2 อีพิแคตชิน (Epicatechin) ร้อยละ 21.6 (Rodriguez de Sotillo and Hadley, 2002) และแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ที่เป็นสารสีที่ให้สีแดงม่วง และน้ำเงิน (Murthy and Naidu, 2012) ส่วนฤทธิ์ทางชีวภาพพบว่า สารดังกล่าวมีศักยภาพเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี สามารถยับยั้งกระบวนการสร้างเม็ดสี

เมลานินซึ่งเป็นสาเหตุของผิวสีเข้มขึ้น ชะลอการเสื่อมสภาพของผิวหนัง จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นวัตถุดิบหรือส่วนผสมในเครื่องสำอาง (Barbulova *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2014)

ในปัจจุบันเริ่มมีผู้สนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับวัสดุเศษเหลือทิ้ง (By-product) ที่มีคุณสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ทางเครื่องสำอางมากขึ้น (Barbulova *et al.*, 2015; Murthy and Naidu, 2012) นอกจากนี้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากพืชยังมีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารสังเคราะห์ทางเคมี (Soto *et al.*, 2015) อย่างไรก็ตามการศึกษานำเนื้อผลกาแฟเป็นสารสำคัญในเครื่องสำอางยังมีรายงานไม่มากนัก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าของเนื้อผลกาแฟที่เป็นเศษเหลือมาพัฒนาเป็นสารสกัดจากเนื้อผลกาแฟ (Coffee Pulp Extract; CPE) มีการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพที่ช่วยชะลอวัย จากนั้นนำ CPE ไปใช้เป็นสารเชิงหน้าที่ในตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางร่วมกับการทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์

อุปกรณ์และวิธีการ

การสกัดตัวอย่างเนื้อผลกาแฟ

ตัวอย่าง CP สายพันธุ์อาราบิก้าได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ฮิลล์คอฟฟ์ จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ โดยนำ CP ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50°C. แล้วนำไปบดให้ละเอียด จากนั้นนำผง CP ปริมาณ 100 กรัม ทำการต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 60°C. นาน 2 ชั่วโมง และทำการแยกตะกอนโดยปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบ/นาที นาน 3 นาที จากนั้นนำไปประเหยให้แห้งด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนและทำให้แห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งได้เป็นสารสกัด CPE นำไปใช้ตั้งตำรับเครื่องสำอางและคำนวณร้อยละผลผลิตของสารสกัดดังสมการ

ผลผลิตของสารสกัด (ร้อยละ) = $\left[\frac{\text{น้ำหนักสารสกัดที่ได้ (กรัม)}}{\text{เนื้อผลกาแฟแห้ง (กรัม)}} \right] \times 100$

การวิเคราะห์สารสำคัญจาก CPE

1) วิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิก

ตามวิธีการดัดแปลงจาก Hammerschmidt and Pratt (1978) โดยผสม Folin-ciocalteu ร้อยละ 10 ปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร สารละลาย Na_2CO_3 ร้อยละ 7.5 ปริมาตร 800 ไมโครลิตร และ CPE ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดความยาวคลื่นที่ 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกโดยเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) ต่อน้ำหนัก CPE ปริมาณ 1 กรัม โดยรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด

2) วิเคราะห์หาปริมาณกรดคลอโรจีนิก

ตามวิธีของ Erdem *et al.* (2016) ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลว (High Performance Liquid Chromatography, HPLC; Agilent Technologies 1200 series) โดยใช้เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) คือ เมทานอล (สาร A) และสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 2 (สาร B) โดยมี Condition ดังนี้ ที่ 9 นาทีแรก คือ ร้อยละ 12 ของสาร A ในสาร B; ที่เวลา 0-5 นาที ความเข้มข้นร้อยละ 12-15 ของสาร A ในสาร B (Linear gradient); ที่เวลา 5-15 นาที ความเข้มข้นร้อยละ 15-30 ของสาร A ในสาร B (Linear gradient); ที่เวลา 15-19 นาที ความเข้มข้นร้อยละ 30 ของสาร A ในสาร B (Isocratic); ที่เวลา 19-27 นาที ความเข้มข้นร้อยละ 30-50 ของสาร A ในสาร B (Linear gradient) โดยมี Flow rate เท่ากับ 0.5 มล./นาที ปริมาณกรดคลอโรจีนิกทำการตรวจวัดที่ 280 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดคลอโรจีนิก

การศึกษาฤทธิ์ชีวภาพของ CPE

1) ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี

ABTS radical scavenging ตามวิธีดัดแปลงจาก Re *et al.* (1999) โดยเตรียมอนุมูล ABTS โดยผสม 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid)

ความเข้มข้น 7 กับ 2.45 มิลลิโมลาร์ $K_2S_2O_8$ ในอัตราส่วน 1:0.5 จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 12 ชั่วโมง ก่อนใช้งานทำการเจือจางให้มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร เท่ากับ 0.70 ± 0.50 ทำการทดลองโดยนำ CPE ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง (ชุดควบคุมใช้น้ำกลั่น) และเติมอนุโมล ABTS ปริมาตร 1,800 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้นาน 6 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ผลการทดลองเปรียบเทียบกับโทรลอกซ์และรายงานผลในรูปแบบ มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัมของสารสกัด

2) ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี

DPPH radical scavenging ตามวิธีการดัดแปลงจาก Mensor *et al.* (2001) โดยเติม CPE ปริมาตร 400 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง (ชุดควบคุมใช้เมทานอล) ผสมกับสารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 0.3 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2,000 ไมโครลิตร ที่เตรียมในเมทานอล ทำการผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ผลการทดลองเปรียบเทียบกับกรดแกลลิก และรายงานในรูปแบบ มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด

3) ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี

Superoxide radical scavenging ตามวิธีการดัดแปลงจาก Nishikimi *et al.* (1972) เตรียมสารละลายทั้งหมดใน 100 มิลลิโมลาร์ Phosphate buffer (pH 8) ทำการทดลองโดยเติม CPE ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง (ชุดควบคุมใช้ Phosphate buffer) ผสมกับสารละลาย 156 มิลลิโมลาร์ Nitroblue Tetrazolium (NBT) ปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร ด้วยสารละลาย 468 ไมโครลิตร β -Nicotinamide adenine dinucleotide, reduced disodium salt hydrate (NADH) ปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร และ 60 มิลลิโมลาร์ Phenazine Methosulphate (PMS) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้นาน 10 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 560 นาโนเมตร ผลการทดลอง

เปรียบเทียบกับกรดแกลลิกและรายงานค่าเช่นเดียวกับอนุโมล DPPH

4) การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเอนไซม์ไทโรซิเนส

ตามวิธีของ Masuda *et al.* (2005) โดยทำการเตรียมสารทั้งหมดด้วย 20 มิลลิโมลาร์ Phosphate buffer (pH 6.8) ทำการทดลองโดยใช้ 96-wel plate แต่ละหลุมประกอบด้วย CPE ปริมาตร 20 ไมโครลิตร (ชุดควบคุมใช้ Phosphate buffer) ผสมกับเอนไซม์ไทโรซิเนสความเข้มข้น 200 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 40 ไมโครลิตร และ Phosphate buffer 140 ไมโครลิตร จากนั้นบ่มไว้นาน 10 นาที และทำการเติม L-3,4-dihydroxyphenylalanine (L-DOPA) ความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 40 ไมโครลิตร จากนั้นทำการบ่มอีกครั้งนาน 20 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 492 นาโนเมตร ด้วยเครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท ผลการทดลองเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดโคจิก

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและเอนไซม์ไทโรซิเนส (%inhibition) ทำการคำนวณดังสมการ

$$\text{Inhibition (\%)} = \frac{(\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{sample}})}{\text{Abs}_{\text{control}}} \times 100$$

โดยที่ $\text{Abs}_{\text{control}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมที่ปราศจาก CPE และ $\text{Abs}_{\text{sample}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงชุดทดลองที่เติม CPE

การพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางผสม CPE

นำ CPE ไปพัฒนาตำรับเป็นเครื่องสำอางบำรุงผิว โดยการตั้งตำรับครีมที่มีส่วนผสมของวัฏภาคน้ำ (Water phase) และน้ำมัน (Oil phase) ดังแสดงรายชื่อสารประกอบเครื่องสำอาง (Cosmetic ingredients) ใน Table 1 จากนั้นเทวัฏภาคน้ำมันลงในวัฏภาคน้ำ และปรับ pH ให้เท่ากับ 5.5 โดย CPE ขนาด 0.5-1.5% ถูกนำไปพัฒนาในตำรับ ซึ่งพิจารณาจากขนาดที่ใช้ในผลิตภัณฑ์จากฤทธิ์ขจัดอนุมูลได้ทั้ง 3 ชนิด และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

Table 1 Facial cream formulation

Phase	Cosmetic ingredients
Water	Distilled water Disodium EDTA Glycerin Butylene glycol Acrylates/C10-30 alkyl acrylate crosspolymer CPE
Oil	Glycerin (and) hydrogenated lecithin (and) hydroxypropyl methylcellulose stearoxy ether (and) squalane (and) sodium methyl stearoyl taurate (Nikkomulse LH®) Squalene Dimethicone Cetyl alcohol Stery alcohol Sodium hydroxide Caprylhydroxamic acid (and) 1,2-hexanediol (and) butylene glycol

การทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางผสม CPE

ทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพและเคมีจากสี กลิ่น ค่า pH ความหนืด และความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่ 4 สภาวะ โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่ 3 อุณหภูมิ ดังนี้ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 4°C. และอุณหภูมิ 45°C. เป็นเวลา 90 วัน และทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์แบบเร่งโดยการทดสอบแบบร้อนสลับเย็น ที่อุณหภูมิ 45°C. และอุณหภูมิ 4°C. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทั้งหมด 6 รอบ (Whangsomnuek *et al.*, 2019) วัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด โดยใช้หัวเข็ม R6 ความเร็วรอบ 70 รอบ/นาที เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ในสภาวะต่างๆ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวัดค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ในการวิเคราะห์

ความคงตัวของผลิตภัณฑ์เพื่อศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบของ Tukey test ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ในการพิจารณาความแตกต่างนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistic Package for Social Science)

ผลการวิจัย**สารสกัดเนื้อผลกาแฟ**

สารสกัด CPE ที่ทำให้แห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งเมื่อทำการบดด้วยโม่บดสาร พบว่ามีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลเข้มสามารถละลายน้ำได้ดี และมีร้อยละผลผลิตของสารสกัด (%yield) เท่ากับ 38.50 ± 0.89

ปริมาณฟีนอลิกรวมและกรดคลอโรจีนิกจาก CPE

ผลการวิเคราะห์สารสำคัญพบว่า CPE มีปริมาณฟีนอลิกรวมเท่ากับ 45.12 ± 1.08 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมของสารสกัด และเมื่อตรวจวัดปริมาณกรดคลอโรจีนิกซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิก

ที่สำคัญในเนื้อผลกาแฟด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลว พบว่าจากโครมาโทแกรม (Figure 1) กรดคลอโรจีนิกมีค่ารีเทนชันไทม์ (Retention time) เท่ากับ 20.15 นาที และเมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดคลอโรจีนิกพบว่ามีค่าเท่ากับ 17.8 มก./กก.

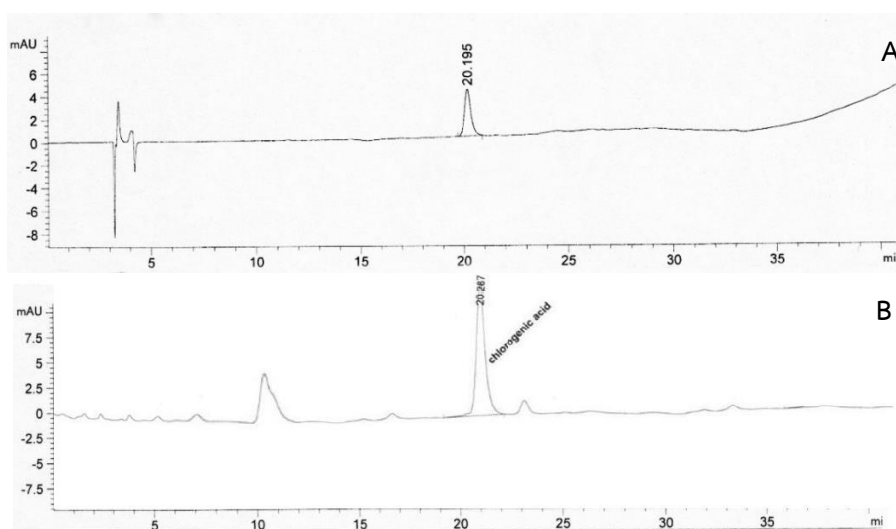


Figure 1 HPLC chromatogram of chlorogenic acid standard (A), and CPE (B)

ฤทธิ์ชีวภาพของ CPE

1) ฤทธิ์การต้านอนุมูล ABTS ด้วยวิธี Decolorization assay โดยอาศัยคุณสมบัติของปฏิกิริยารีดักชันซึ่งทำให้อนุมูล ABTS ที่มีสีเขียวปนน้ำเงินและตรวจวัดได้ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร มีปริมาณลดลง จากการทดลองดังแสดงใน Table 2 พบว่า CPE ที่ความเข้มข้น 0.20-1.00 มก./มล. สามารถยับยั้งอนุมูล ABTS โดยมีค่าร้อยละของการยับยั้ง (% inhibition) สูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 77.92 ± 1.79 เมื่อคำนวณปริมาณสารที่สามารถต้านอนุมูลได้ร้อยละ 50 หรือค่าครึ่งหนึ่งของความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (IC_{50}) มีค่าเท่ากับ 0.59 ± 0.01 มก./มล.

2) ฤทธิ์การต้านอนุมูล DPPH จะอาศัยการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก้อนุมูล DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยผลการทดสอบจะตรวจวัดการเปลี่ยนสีของอนุมูลในสารละลายจากสีม่วง

เป็นสีเหลือง ผลการทดลองพบว่า CPE ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.10-1.50 มก./มล. สามารถต้านอนุมูล DPPH โดยมีค่าร้อยละของการยับยั้งสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 73.76 ± 0.48 เมื่อพิจารณาค่า IC_{50} ของ CPE และสารมาตรฐานกรดแกลลิกพบว่าเท่ากับ 0.94 ± 0.01 และ 0.01 ± 0.00 มก./มล. ตามลำดับ (Table 2)

3) ฤทธิ์การต้านอนุมูล Superoxide ทำการทดสอบโดยอาศัยสารทดสอบไปต้านอนุมูล Superoxide ในปฏิกิริยารีดักชันของ NBT ให้กลายเป็น Diformazan ซึ่งมีสีน้ำเงินสามารถตรวจวัดได้ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ผลการทดสอบพบว่า CPE ความเข้มข้นในช่วง 3.00-15.00 มก./มล. มีค่าร้อยละของการยับยั้งสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 63.47 ± 1.44 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก ดังแสดงใน Table 2 พบว่า CPE และสารมาตรฐานกรดแกลลิกมีค่า IC_{50} เท่ากับ 9.53 ± 0.11 และ 1.37 ± 0.05 มก./มล. ตามลำดับ

Table 2 Antioxidant activity of coffee pulp extract

Sample	ABTS assay		DPPH assay		Superoxide assay	
	TEAC (mg/g extract)	IC ₅₀ (mg/mL)	GEAC (mg/g extract)	IC ₅₀ (mg/mL)	GEAC (mg/g extract)	IC ₅₀ (mg/mL)
CPE	61.24±3.78	0.59±0.01	5.05±0.11	0.94±0.01	164.38±4.76	9.53±0.11
Trolox	-	0.04±0.00	-	-	-	-
Gallic acid	-	-	-	0.01±0.00	-	1.37±0.05

Values are expressed as means ± standard deviation (n = 3).

4)ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองพบว่า CPE สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้โดยประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัด โดย CPE ที่ความเข้มข้น 150 มก./มล. มีประสิทธิภาพ

สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 82.64±0.32 ดังแสดงใน Table 3 พบว่าค่า IC₅₀ ของ CPE และสารมาตรฐานกรดโคจิกมีค่าเท่ากับ 125.21±4.90 และ 0.20±0.05 มก./มล. ตามลำดับ

Table 3 Effect of CPE on tyrosinase inhibition activity

Sample	IC ₅₀ (mg/mL)	Kojic acid equivalent (mg/g extract)
CPE	125.21±4.90	6.94±0.05
Kojic acid	0.20±0.05	-

Values are expressed as means ± standard deviation (n = 3).

พัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์จาก CPE

ตำรับเครื่องสำอางบำรุงผิวหน้าผสม CPE 1% ถูกเลือกมาทดสอบความคงตัว เนื่องจากเมื่อใช้สารสกัดมากกว่า 1% ผลิตภัณฑ์ครีมบำรุงผิวหน้าจะไม่คงตัวและมีสีน้ำตาลเข้มทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่น่าใช้ โดยผลิตภัณฑ์ครีมบำรุงผิวหน้าที่มีปริมาณ CPE 1% มีลักษณะทางกายภาพดังแสดงใน Table 4 เนื้อครีมสีขาวอมเหลือง เนื้อสัมผัสเนียนนุ่ม สามารถกระจายตัวบนผิวได้ดี เมื่อทำการทดสอบความคงตัวในสภาวะแตกต่างกันนาน 90 วันพบว่าลักษณะทางกายภาพของเนื้อครีมไม่เปลี่ยนแปลงประกอบด้วย สี กลิ่น เนื้อสัมผัส การแยกชั้น ส่วน pH

พบว่ามีค่าคงที่ทุกสภาวะของการทดสอบ นอกจากนี้พบว่าความหนืดของครีมมีความคงตัวในสภาวะอุณหภูมิห้อง 4°C. และแบบร้อนสลับเย็น (H/C) แต่พบว่าที่ 45°C. ค่าความหนืดลดลงอย่างเห็นได้ชัดซึ่งอาจเป็นผลมาจากความร้อนเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพด้านอื่น (Table 4) ดังนั้นตำรับเครื่องสำอางผสม CPE สามารถเก็บไว้ได้ในระยะเวลาโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ความหนืด และลักษณะทางกายภาพ แต่ควรหลีกเลี่ยงในสภาวะที่ร้อนจัด

Table 4 Stability test of CPE cream under various conditions

Parameter	pH	Viscosity (Pa.s)	Separation and precipitation
Initial	5.52±0.01	9.12±0.13 ^a	x
RT	5.53±0.02	9.19±0.09 ^a	x
4°C	5.55±0.02	9.08±0.04 ^a	x
45°C	5.54±0.02	8.46±0.15 ^b	x
H/C (6 cycles)	5.52±0.03	9.08±0.23 ^a	x

RT: room temperature H/C: heating/cooling cycles X: not separation and precipitation.

For the viscosity value, not sharing the same letter indicates significant difference at $p < 0.05$.

วิจารณ์ผลการวิจัย

อุตสาหกรรมเครื่องสำอางมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว โดยเฉพาะเครื่องสำอางจากธรรมชาติที่ช่วยปรับโทนผิวให้กระจ่างใส (Burger *et al.*, 2016) ลดเลือนริ้วรอย ชะลอความแก่ของผิวหนัง (Plainfossé *et al.*, 2018) เนื่องจากผู้คนในปัจจุบันหันมาใส่ใจกับการใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติมากขึ้น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติยังพบว่ามีประสิทธิภาพสูงในการประยุกต์ใช้ในทางเครื่องสำอางหรือเวชสำอาง (Soto *et al.*, 2015; Ribeiro *et al.*, 2015) ดังนั้นเมื่อผลกาแฟที่พบว่ามีปริมาณเป็นจำนวนมากซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จึงมีความน่าสนใจในการนำมาใช้เป็นสารเชิงหน้าที่ในทางเครื่องสำอางบำรุงผิว โดยทำการสกัดเนื้อผลกาแฟด้วยน้ำ เนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและหลีกเลี่ยงสารละลายอินทรีย์ที่อาจเป็นอันตราย (Plotka-Wasyłka *et al.*, 2017) จากการทดลองพบว่า CPE มีปริมาณผลผลิตของสารสกัดน้ำค่อนข้างสูง โดยตรวจพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS, DPPH และ Superoxide ได้ดี โดยอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุที่ทำให้ผิวแก่ เสื่อมสภาพ เกิดริ้วรอย เกิดการสังเคราะห์เม็ดสีเมลานินเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุของกระและฝ้า (Uwa,

2017) จากการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ อนุมูล ABTS ใช้โทรออกซ์ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวิตามินซีเป็นสารมาตรฐาน ส่วนอนุมูล DPPH และ Superoxide ใช้กรดแกลลิกซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารมาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระมีหลายกลุ่มจึงมีการเลือกใช้สารมาตรฐานที่ต่างกัน เพื่อให้ทราบว่าสารที่ทดสอบมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้หลายกลุ่ม CPE มีสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ โดยสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระชนิดหนึ่ง จึงมีฤทธิ์ในการขจัดอนุมูล ABTS, DPPH และ Superoxide นอกจากนี้ยังมีรายงานการพบสารประกอบฟีนอลิกในพืชหลายชนิดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส คอลลาจีเนส อิลาสเทส และปกป้องผิวจากรังสียูวี เป็นต้น (Ribeiro *et al.*, 2015; Zillich *et al.*, 2015) ใน CPE ที่สกัดได้ยังตรวจพบกรดคลอโรจีนิก ซึ่งเป็นกรดฟีนอลิกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในทางเครื่องสำอาง เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ ช่วยชะลอการแก่ของผิวหนัง ช่วยต้านการอักเสบ ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (Naveed *et al.*, 2018; Bessada *et al.*, 2018) และสามารถยับยั้งกระบวนการสร้างเม็ดสีเมลานินในเซลล์ B16 Murine melanoma cells ได้ (Li *et al.*, 2014)

CPE มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งฤทธิ์ดังกล่าวจะช่วยปรับสภาพผิวให้กระจ่างใสในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางบำรุงผิวได้ ส่วนการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพจากส่วนอื่นของกาแฟ พบว่าส่วนเมล็ดของ *Coffea arabica* และ *Coffea canephora* ที่ทำการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ และเอนไซม์ไทโรซิเนส (Kiattisin *et al.*, 2016) ส่วนใบของกาแฟ *Coffea arabica* ที่ทำการสกัดด้วยเอทานอลสามารถประยุกต์ใช้เป็นสารเชิงหน้าที่ในเครื่องสำอางที่สามารถต้านอนุมูล ABTS, DPPH และ Lipid peroxidation (Kiattisin *et al.*, 2019) ดังนั้นจากผลการทดลองข้างต้น CPE จึงมีคุณสมบัติในการเป็นสารเชิงหน้าที่ เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ด้านเวชสำอางชะลอวัยและปรับสภาพผิวให้กระจ่างใสเมื่อมีการพัฒนาตำรับที่เหมาะสม

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมบำรุงผิวหน้าผสม CPE พบว่าตำรับครีมที่พัฒนาขึ้นมีสีเหลืองนวล มีกลิ่นเฉพาะตัวคล้ายกลิ่นผลไม้ ลักษณะทางกายภาพและเคมีมีความคงตัวในสถานะที่แตกต่างกัน แต่มีข้อควรระวังไม่ควรเก็บครีมไว้ในที่ร้อน ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางบำรุงผิวผสมสารสกัดเนื้อผลกาแฟจากงานวิจัยนี้จะศึกษาเพิ่มเติมประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ครีมบำรุงผิวผสม CPE ในอาสาสมัครเพิ่มเติมต่อไป

สรุปผลการวิจัย

เนื้อผลกาแฟจัดเป็นเศษเหลือจากอุตสาหกรรมกาแฟ ถูกนำมาเพิ่มมูลค่าโดยสกัดเป็น CPE ที่มีสารสำคัญชนิดกรดคลอโรจีนิกซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก และมีฤทธิ์ชีวภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของผิว ช่วยต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูงในการนำมาเป็นสารเชิงหน้าที่ในผลิตภัณฑ์ครีมบำรุงผิวหน้าที่ช่วยลดเลือนริ้วรอยและบำรุงผิวให้แลดูกระจ่าง

ใส นอกจากนี้จากผลการวิจัยนอกจากช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่เนื้อผลกาแฟซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรแล้ว ยังช่วยลดการกำจัดของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกาแฟที่มีปริมาณมากซึ่งส่งผลเสียให้กับสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และบริษัท อิลล์คอฟฟ์ จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยระดับปริญญาโท ในโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) (รหัสโครงการ MSD60I0031) และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ และศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านนวัตกรรมทางการเกษตรสำหรับบัณฑิตผู้ประกอบการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Barbulova, A., G. Colucci and F. Apone. 2015. New trends in cosmetics: by-products of plant origin and their potential use as cosmetic active ingredients. *Cosmetics* 2(2): 82-92.
- Bessada, S.M.F., R.C. Alves and M.B.P.P. Oliveira. 2018. Coffee silverskin: a review on potential cosmetic applications. *Cosmetics* 5(1): 5.
- Burger, P., A. Landreau, S. Azoulay, T. Michel and X. Fernandez. 2016. Skin whitening cosmetics: feedback and challenges in the development of natural skin lighteners. *Cosmetics* 3(4): 36.

- Erdem, S.A., F.S. Senol, E. Budakoglu, I.E. Orhan and B. Sener. 2016. Exploring *In Vitro* neurobiological effects and high–pressure liquid chromatography–assisted quantitation of chlorogenic acid in 18 Turkish coffee brands. **J Food Drug Anal.** 24(1): 112-120.
- Hammerschmidt, P.A. and D.E. Pratt. 1978. Phenolic antioxidants of dried soybeans. **J Food Sci.** 43(2): 556-559.
- Kiattisin, K., T. Nantararat and P. Leelapornpisid. 2016. Evaluation of antioxidant and anti–tyrosinase activities as well as stability of green and roasted coffee bean extracts from *Coffea arabica* and *Coffea canephora* grown in Thailand. **J Pharmacognosy Phytother** 8(10): 182-192.
- Kiattisin, K., N. Nitthikan, W. Poomanee, P. Leelapornpisid, H. Viernstein and M. Mueller. 2019. Anti-inflammatory, antioxidant activities and safety of *Coffea arabica* leaf extract for alternative cosmetic ingredient. **Chiang Mai J Sci.** 46(2): 284-294.
- Li, H.R., M. Habasi, L.Z. Xie and H.A. Aisa. 2014. Effect of chlorogenic acid on melanogenesis of B16 melanoma cells. **Molecules** 19: 12940-12948.
- Masuda, T., D. Yamashita, Y. Takeda and S. Yonemori. 2005. Screening for tyrosinase inhibitors among extracts of seashore plants and identification of potent inhibitors from *Garcinia subelliptica*. **Biosci Biotechnol Biochem.** 69(1): 197-201.
- Mensor, L.L., F.S. Menezes, G.G. Leitão, A.S. Reis, T.C.D. Santos, C.S. Coube and S.G. Leitão. 2001. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. **Phytother Res.** 15(2): 127-130.
- Murthy, P.S. and M.M. Naidu. 2012. Sustainable management of coffee industry by–products and value addition–a review. **Resour Conserv Recy.** 66: 45-58.
- Naveed, M., V. Hejazi, M. Abbas, A.A. Kamboh, G.J. Khan, M. Shumzaid, F. Ahmad, D. Babazadeh, X. FangFang, F. Modarresi–Ghazani, L. WenHua and Z. XiaoHui. 2018. Chlorogenic acid (CGA): a pharmacological review and call for further research. **Biomed Pharmacother** 97: 67-74.
- Nishikimi, M., N.A. Rao and K. Yagi. 1972. The occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulfate and molecular oxygen. **Biochem Biophys Res Commun.** 46(2): 849-854.

- Pandey, A., C.R. Soccol, P. Nigam, D. Brand, R. Mohan and S. Roussos. 2000. Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. **Biochem Eng. J.** 6(2): 153-162.
- Plainfossé, H., P. Burger, S. Azoulay, A. Landreau, G. Verger-Dubois and X. Fernandez. 2018. Development of a natural anti-age ingredient based on *Quercus pubescens* willd. leaves extract—a case study. **Cosmetics** 5(1): 15.
- Plotka-Wasyłka, J., M. Rutkowska, K. Owczarek, M. Tobiszewski and J. Namiesnik. 2017. Extraction with environmentally friendly solvents. **Trends Anal Chem.** 91: 12-25.
- Ramirez-Martinez, J.R. 1988. Phenolic compounds in coffee pulp: quantitative determination by HPLC. **J Sci Food Agr.** 43(2): 135-144.
- Rathinavelu, R. and Graziosi, G. 2005. **Potential alternative use of coffee wastes and by-products.** [Online]. Available <http://www.ico.org/documents/ed1967e.pdf> (4 June 2019).
- Re, R., N. Pellegrini, A. Protegente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radic Biol Med.** 26(9-10): 1231-1237.
- Ribeiro, A.S., M. Estanqueiro, M.B. Oliveira and J.M.S. Lobo. 2015. Main benefits and applicability of plant extracts in skin care products. **Cosmetics** 2(2): 48-65.
- Rodriguez de Sotillo, D.V. and M. Hadley. 2002. Chlorogenic acid modifies plasma and liver concentrations of cholesterol, triacylglycerol, and minerals in (fa/fa) Zucker rats. **J Nutr Biochem.** 13(12): 717-726.
- Soto, M.L., E. Falqué and H. Domínguez. 2015. Relevance of natural phenolics from grape and derivative products in the formulation of cosmetics. **Cosmetics** 2(3): 259-276.
- Uwa, L.M. 2017. The anti-aging efficacy of antioxidants. **Curr Trends Biomedical Eng & Biosci.** 7(4): 2-4.
- Whangsomnuek, N., L. Mungmai, K. Mengamphan and D. Amornlerdpison. 2019. Efficiency of skin whitening cream containing *Etlingera elatior* flower and leaf extracts in volunteers. **Cosmetics** 6(3): 39.
- Zillich, O.V., U. Schweiggert-Weisz, P. Eisner and M. Kerscher. 2015. Polyphenols as active ingredients for cosmetic products. **Int J Cosmetic Sci.** 37: 455-464.

การปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกของเกษตรกรในจังหวัดนครปฐม
Adhering to Okra Production Technology for Export among Farmers
in Nakhon Pathom Province

อรอุมา ทองหล่อ* นวลเพ็ญ พ่วงพันสี ปภาวิ ไชยโย วรณรภา โพธิ์ศรี และสุวนันท์ คำมุง

Onuma Thonglor*, Nualpen Puangpunsi, Paparwee Chaiyo

Wanrapa Posri and Suwanan Kummong

คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร เพชรบุรี 76120

Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology, Silpakorn University, Phetchaburi, Thailand 76120

*Corresponding author: thonglor_o@silpakorn.edu

Received: May 17, 2020

Revised: April 01, 2021

Accepted: June 21, 2021

Abstract

This study aimed to study the overall information of okra production, farmers' adherence to production technology, and effects of technology adhering to quantity of standard yields and problems in okra production of farmers in Muang district, Nakhon Pathom province. Thirty okra farmers who are members of Muang Nakhon Pathom Agricultural Extension Office were randomized. Questionnaires were used and data were analyzed by R statistical program. Statistics used in the current study included frequency, percentage and Chi-square test.

The finding revealed the following; majority of respondents had 1-3 years experiences in okra production, own the okra plantations and depend on irrigation system. Members of family (couples) worked on cultivating process and labors were employed in tilling process. Average cultivation areas were 1.1-3 rai. Okra yields were sold directly to purchasing market. The average yields were 10,001-15,000 kg/rai. Greater than 90% of overall okra yields were in accordance with okra production standard. Return was 10,001-30,000 Baht/rai. Farmers' adherence to technology in harvesting was the highest, while, using chemicals in weed elimination and pest control were the least. The study also found that an adherence to okra cultivation technology affected higher quantity of standard okra yields. Furthermore, diseases and pests were found as the problems in okra cultivation.

Keywords: technology adherence, okra, export

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียว การปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออก ผลของการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกต่อปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐาน ตลอดจนปัญหาอุปสรรคในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบ จากบัญชีรายชื่อเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวที่ขึ้นทะเบียนของสำนักงานเกษตรอำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม จำนวน 30 ราย เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม R สถิติที่ใช้ในการวิจัย คือ ค่าความถี่ ร้อยละ และตัวทดสอบไคสแควร์

ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีประสบการณ์การปลูกกระเจี๊ยบเขียว 1-3 ปี มีพื้นที่เพาะปลูกของตนเอง ใช้น้ำจากระบบชลประทาน แรงงานในการเพาะปลูกเป็นคู่สามีภรรยา จ้างแรงงานในขั้นตอนการเตรียมดิน พื้นที่ที่ใช้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวอยู่ในช่วง 1.1-3 ไร่ ส่วนใหญ่นำผลผลิตไปขายเองที่จุดรับซื้อ แหล่งรับรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตและคำแนะนำเพื่อแก้ไขปัญหาการผลิตกระเจี๊ยบเขียว คือ หัวหน้าจุดรับซื้อ มีจำนวนผลผลิตกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละครั้งอยู่ในช่วง 1,001-1,500 กก./ไร่ จำนวนผลผลิตมากกว่าร้อยละ 90 ของจำนวนผลผลิตทั้งหมดเป็นผลผลิตที่ได้ตามเกณฑ์และผลตอบแทนอยู่ในช่วง 10,001-30,000 บาท/ไร่ เกษตรกรส่วนใหญ่ปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตด้านวิธีการเก็บเกี่ยวมากที่สุด ปฏิบัติตามด้านการป้องกันกำจัดวัชพืชและการป้องกันกำจัดแมลงในส่วนของการใช้สารเคมีน้อยที่สุด และพบว่าการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวด้านวิธีการปลูกส่งผลให้ปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐานสูงขึ้น สำหรับปัญหาที่เกษตรกรพบในการปลูกกระเจี๊ยบเขียว คือ โรคพืชและแมลงศัตรูพืช

คำสำคัญ: การปฏิบัติตามเทคโนโลยี กระเจี๊ยบเขียว การส่งออก

คำนำ

กระเจี๊ยบเขียวเป็นสินค้าเกษตรประเภทผักที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย เนื่องจากเป็นผักที่นิยมรับประทานในประเทศรวมทั้งในต่างประเทศ สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลายประเภท และยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Pitiporn, 2018) ทั้งนี้ประเทศไทยถือว่าเป็นแหล่งเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียวรายใหญ่ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเหมาะสม โดยกระเจี๊ยบเขียวเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและกึ่งร้อน อุณหภูมิระหว่าง 18-35°C. ทำให้เกษตรกรสามารถปลูกกระเจี๊ยบได้ตลอดทั้งปี สำหรับแหล่งเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียวที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดนครปฐม ปทุมธานี นนทบุรี นครนายก ราชบุรี ระยอง พิจิตร สุพรรณบุรี สมุทรสาคร และอ่างทอง (Tanthawanit, 2018) นอกจากนี้กระเจี๊ยบเขียวยังเป็นผักส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย ในแต่ละปีมีการส่งออกกระเจี๊ยบเขียวสดและแช่แข็งไปยังต่างประเทศ คิดเป็นมูลค่าปีละหลายร้อยล้านบาท โดยคู่ค้าที่สำคัญ คือ ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งในแต่ละปีประเทศญี่ปุ่นมีการนำเข้ากระเจี๊ยบเขียวจากไทยถึงประมาณร้อยละ 90 ของการนำเข้าทั้งหมด ในรูปแบบกระเจี๊ยบเขียวฝักสดและแช่แข็ง ทั้งนี้การเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียวยังคงประสบปัญหาด้านปริมาณผลผลิต ได้แก่ ฝักสดและแช่แข็ง ไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาดต่างประเทศ ปัญหาเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ไม่ถูกต้องและไม่มีประสิทธิภาพ ปัญหาการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช และเกษตรกรยังขาดข้อมูลด้านการตลาดและมาตรฐานของผลผลิตที่ถูกต้อง (Jamnonknearn *et al.*, 2012)

จังหวัดนครปฐมเป็นแหล่งปลูกกระเจี๊ยบเขียวที่สำคัญของประเทศไทย รองจากจังหวัดสุพรรณบุรี และมีการปลูกกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออก โดยมีหน่วยงานราชการให้การสนับสนุนการส่งเสริมความรู้ด้านการใช้

เทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียว เพื่อให้ได้ผลผลิตตามมาตรฐานในการส่งออก ทั้งนี้มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตพืช เช่น Yossuck and Promnet (2005) ศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกของเกษตรกรในเขตภาคเหนือตอนบน รวมทั้งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับ Paowsrakoo and Wongsamun (2018) ศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีการผลิตข้าวหอมมะลิตามการปฏิบัติเกษตรกรที่เหมาะสมของเกษตรกรในเขตทุ่งกุลาร้องไห้ จังหวัดร้อยเอ็ด Praphaisri *et al.* (2015) ศึกษาการยอมรับวิธีการผลิตข้าวนาปีของเกษตรกรในอำเภอแม่เมาะ จังหวัดเชียงใหม่ และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการยอมรับของเกษตรกรในอำเภอแม่เมาะ จังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากยังไม่พบการศึกษาอย่างชัดเจนเกี่ยวกับการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกรที่ส่งผลต่อผลผลิต ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียว การปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออก ผลของการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกต่อปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐาน ตลอดจนปัญหาอุปสรรคในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมเทคโนโลยีในการผลิตกระเจี๊ยบเขียวให้แก่เกษตรกร และวางนโยบายเพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้ตามมาตรฐานการส่งออกให้เหมาะสมต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรของการศึกษานี้ คือ เกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ในพื้นที่อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม จำนวน 41 ราย จากบัญชีรายชื่อเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวที่ขึ้นทะเบียนของสำนักงานเกษตรอำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ในอำเภอเมืองนครปฐม จากบัญชีรายชื่อเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวที่ขึ้นทะเบียนของสำนักงานเกษตรอำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม จำนวน 30 ราย โดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (Simple random sampling) และคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตรของทาโร่ ยามาเน่ (Yamane, 1973) โดยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10% ซึ่งใช้กรณีที่มีวัตถุประสงค์หลัก คือ ต้องการประมาณค่าสัดส่วนของประชากร (P) ให้อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% ความคลาดเคลื่อนที่กำหนด และขนาดตัวอย่าง (n) ต้องใหญ่เพียงพอเพื่อให้ P มีการแจกแจงแบบปกติโดยประมาณ ($n \geq 30$) (Muongthong *et al.*, n.d.)

การรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้ทำการรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกกระเจี๊ยบเขียว ในเขตอำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 โดยใช้แบบสอบถามเชิงโครงสร้าง ซึ่งคำถามแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเกษตรกร ได้แก่ เพศ อายุ และระดับการศึกษาสูงสุด

ส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียว ได้แก่ พื้นที่การเกษตรทั้งหมด พื้นที่ปลูกกระเจี๊ยบเขียว การถือครองพื้นที่ปลูก แหล่งน้ำที่ใช้ในการปลูก ประเภทแรงงาน ขั้นตอนการผลิตที่จ้างแรงงาน ประสบการณ์การปลูกกระเจี๊ยบเขียว ลักษณะการซื้อขายระยะทางจากพื้นที่ปลูกไปยังแหล่งรับซื้อ การเข้าร่วมสมาชิกองค์กรการเกษตร เหตุผลในการตัดสินใจปลูกกระเจี๊ยบเขียว แหล่งรับรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียว การขอรับคำแนะนำเพื่อแก้ไขปัญหาการผลิตกระเจี๊ยบเขียว จำนวนผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว ราคาผลผลิตที่เกษตรกรจำหน่ายได้ รายได้จากการปลูกในแต่ละครั้ง ต้นทุนการปลูกในแต่ละครั้ง (ข้อมูลอยู่ในรูปแบบช่วงหรือตัวแปรเชิงกลุ่ม) การขอสินเชื่อทาง

การเกษตร และแหล่งสินเชื้อหลักของเกษตรกรผู้ปลูก
กระเจี๊ยบเขียว

ส่วนที่ 3 การปฏิบัติตามเทคโนโลยีการปลูก
กระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออก โดยแบบสอบถามเป็นการ
เลือกตอบ ปฏิบัติและไม่ปฏิบัติ ตามหลักเทคโนโลยีการ
ผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออก ซึ่งมีทั้งหมด 13
ขั้นตอน ตาม Yossuck and Promnet (2005) ดังนี้

1) การเตรียมดิน ควรมีการไถพรวนดินลึก 2 ครั้ง
แล้วตากทิ้งไว้ เพื่อกำจัดวัชพืช โรคและแมลง ควรใส่ปุ๋ย
อินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักในอัตรา 500-1,000
กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อให้ดินร่วนซุย มีความอุดมสมบูรณ์
ใส่ปุ๋ยขาวหรือปุ๋ยมาร์ล เพื่อปรับความเป็นกรดของดิน
โดยใส่ปุ๋ยขาวในอัตรา 100-300 กิโลกรัมต่อไร่

2) วิธีการปลูก ควรเว้นทางเดินไว้ประมาณ 1.5
เมตร เพื่อสะดวกในการปฏิบัติงาน ก่อนปลูกควรคลุก
เมล็ดด้วยสารเคมีเพื่อป้องกันโรค เช่น สารเคมีในกลุ่ม
เบนโนมิล และไทแรม เช่น เบนเลท อัตรา 10 กรัมต่อเมล็ด
กระเจี๊ยบเขียว 1 กิโลกรัม หรือสารเคมีในกลุ่มไอโซเบน
ดาโซน เช่น พรอนโต อัตรา 120 กรัมต่อเมล็ดกระเจี๊ยบเขียว
1 กิโลกรัม หยอดเมล็ด 3-4 เม็ดต่อหลุม และเมื่อเมล็ด
งอกแล้ว 10-15 วัน จึงถอนให้เหลือประมาณ 2-3 ต้นต่อหลุม

3) การให้น้ำ ควรให้น้ำทุกวันในปริมาณที่
เหมาะสม เนื่องจากกระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชที่ต้องการน้ำแต่
ไม่ข้นแฉะ หากกระเจี๊ยบเขียวขาดน้ำจะทำให้ฝักไม่ได้
คุณภาพ เล็กและคดงอได้

4) การให้ปุ๋ย ปุ๋ยไนโตรเจนไม่จำเป็นต้องใส่
เพราะอาจจะทำให้ฝักกระเจี๊ยบเขียวโตเร็ว ข้างได้ง่าย ใส่
ปุ๋ยเคมีสูตรเสมอ (15-15-15) รองกันหลุม ในอัตรา 20
กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากนั้นใส่ปุ๋ยสูตรเสมอทุกๆ 20 วัน
ในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่

5) วิธีการป้องกันกำจัดวัชพืช ควรพรวนดินและ
ดายหญ้าแปลงปลูกกระเจี๊ยบเขียวเป็นประจำ และควรใช้
สารเคมีกำจัดวัชพืชก่อนระยะออกฝัก

6) วิธีการป้องกันกำจัดแมลง ควรตัดแต่งกิ่ง ใบ
เพื่อให้แสงแดดส่องถึงพื้นดินและอากาศถ่ายเท เพื่อไม่ให้
เป็นแหล่งอาศัยของแมลง จับทำลายแมลงศัตรูกระเจี๊ยบเขียว
ทุกครั้งที่พบ และใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลง

7) วิธีการป้องกันกำจัดโรคพืช ควรใช้พันธุ์ต้านทาน
โรคพืช เลือกพื้นที่ปลูกที่ไม่เป็นแหล่งสะสมโรค เมื่อพบ
ต้นที่เป็นโรคให้ถอนทิ้งและเผาทำลายทันที และใช้
สารเคมีเพื่อกำจัดโรคพืช

8) การเก็บเกี่ยว ควรเก็บเกี่ยวเมื่อกระเจี๊ยบ
เขียวมีความยาวฝักประมาณ 6-10 ซม. และควรเก็บ
กระเจี๊ยบเขียวทุกวัน โดยไม่ทิ้งฝักที่สามารถเก็บได้ที่ต้น
เนื่องจากจะทำให้ได้ผลผลิตต่ำ

9) วิธีการเก็บเกี่ยว ควรใช้มีดหรือกรรไกรที่คม
ตัดให้ตรง ไม่ตัดเป็นปากฉลาม เพราะจะทำให้ฝักอื่นเกิด
การซ้ำได้ หลังเก็บให้นำเข้าที่ร่มทันที เพราะฝักกระเจี๊ยบ
เขียวจะเหี่ยวเร็วมาก

10) การเด็ดใบ ควรเด็ดใบที่ละใบทุกครั้ง
ระหว่างการเก็บฝัก โดยให้เหลือใบใต้บริเวณที่ติดฝักไว้
2-3 ใบ เนื่องจากแปลงที่มีใบมากเกินไป จะทำให้แสงส่อง
ไม่ถึงฝักด้านล่าง ฝักกระเจี๊ยบเขียวจะชืดไม่เป็นที่ต้องการ
ของตลาด การตัดใบทั้งยังเป็นการป้องกันโรคและแมลง
และยังสะดวกต่อการปฏิบัติงาน

11) การตัดต้นประธาน กระเจี๊ยบเขียวอายุ
ประมาณ 1½ - 2 เดือน ควรทำการตัดต้นประธานทั้ง
เพื่อให้แตกกิ่งด้านข้าง ซึ่งจะให้ผลผลิตที่มากกว่าเดิม โดย
ตัดให้สูงจากพื้นดินประมาณ 50-70 ซม. จากนั้นใส่ปุ๋ย
ไนโตรเจนหรือปุ๋ยสูตรเสมอบำรุงต้น และรดน้ำพรวนดิน
อย่างสม่ำเสมอ

12) การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว ควรใส่ขี้เถ้าหรือ
ตะกร้าพลาสติกที่โปร่ง ใช้ใบตองหรือผ้าคลุมปากเชิงหรือ
ตะกร้าพลาสติก และมีโรงพักผลผลิตที่โปร่งไม่อับทึบ ไม่
ต้องคัดเกรด ณ แปลงปลูก และไม่พรมน้ำกระเจี๊ยบเขียว
หลังการเก็บเกี่ยว

13) การขนส่ง ควรรีบขนส่งไปยังจุดรับซื้อ ภายใน 2 ชั่วโมง ขณะขนส่งไม่ควรวางภาชนะซ้อนกัน หากไม่มีห้องเย็นรถที่ขนส่งต้องโปร่งไม่ทึบ

ส่วนที่ 4 ปัญหาและอุปสรรคในการปลูก กระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออก โดยแบบสอบถามเป็น ลักษณะปลายเปิด

การวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเกษตรกร การเพาะปลูก กระเจี๊ยบเขียว และการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการปลูก กระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกของเกษตรกรในจังหวัด นครปฐม นำมาทำการวิเคราะห์ด้วยการทดสอบ Chi-square test ด้วยโปรแกรม R โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเกษตรกร การเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียว และการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการปลูกกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกของเกษตรกร ในจังหวัดนครปฐม โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistical analysis) ได้แก่ ค่าความถี่ และร้อยละ

2) วิเคราะห์ผลของการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกต่อปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยใช้ตัวทดสอบไคสแควร์ (Chi-square test) ด้วยระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

ผลการวิจัย

จากการรวบรวมข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเกษตรกร การเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียว และการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการปลูกกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกของเกษตรกร จากเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวในพื้นที่ อำเภอมะนัง นครปฐม จังหวัดนครปฐม จำนวน 30 คน พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงจำนวน 16 ราย คิดเป็นร้อยละ 53.3 อายุมากกว่า 50 ปี จำนวน 15 ราย คิดเป็นร้อยละ 50.0 และการศึกษาในระดับประถมศึกษา จำนวน 16 ราย คิดเป็นร้อยละ 53.3

สำหรับข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการเพาะปลูก กระเจี๊ยบเขียว เกษตรกรส่วนใหญ่มีพื้นที่ทางการเกษตร 1-5 ไร่ จำนวน 12 ราย คิดเป็นร้อยละ 40.0 มีพื้นที่ปลูก กระเจี๊ยบเขียว 1.1-3 ไร่ จำนวน 14 ราย คิดเป็นร้อยละ 46.7 นอกจากนี้เกษตรกรส่วนใหญ่มีพื้นที่ของตนเอง จำนวน 25 ราย คิดเป็นร้อยละ 83.3 แหล่งน้ำที่ใช้ในการ ปลูกส่วนใหญ่เป็นระบบชลประทาน จำนวน 25 ราย คิดเป็น ร้อยละ 83.3 แรงงานในการเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียวเป็น คู่สามีภรรยาช่วยกันทำ จำนวน 18 ราย คิดเป็น ร้อยละ 60.0 โดยขั้นตอนการผลิตที่จ้างแรงงาน คือ การ เตรียมดิน จำนวน 18 ราย คิดเป็นร้อยละ 60.0 เกษตรกร ส่วนใหญ่มีประสบการณ์การปลูกกระเจี๊ยบเขียว 1-3 ปี จำนวน 14 ราย คิดเป็นร้อยละ 46.7

สำหรับลักษณะการซื้อขายกระเจี๊ยบเขียว เกษตรกรส่วนใหญ่นำไปขายเองที่จุดรับซื้อ จำนวน 29 ราย คิดเป็นร้อยละ 96.7 โดยระยะทางจากพื้นที่ปลูก ไปยังแหล่งรับซื้อมีระยะทาง 1.1-3 กม. จำนวน 26 ราย คิดเป็นร้อยละ 86.7 ส่วนใหญ่เข้าร่วมเป็นสมาชิกองค์กร ทางเกษตรกร จำนวน 20 ราย คิดเป็นร้อยละ 66.7 เหตุผล ที่เกษตรกรตัดสินใจปลูกกระเจี๊ยบเขียว (นอกเหนือจาก ราคา) เนื่องจากแรงจูงใจจากคนกลางรับซื้อหรือหัวหน้า จุดรับซื้อ จำนวน 17 ราย คิดเป็นร้อยละ 56.7 แหล่งรับรู้ ส่วนใหญ่เกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวของ เกษตรกร คือ หัวหน้าจุดรับซื้อ จำนวน 24 ราย คิดเป็น ร้อยละ 80.0 รวมทั้งแหล่งที่เกษตรกรขอคำแนะนำเพื่อ แก้ไขปัญหาการผลิตกระเจี๊ยบเขียว คือ หัวหน้าจุดรับซื้อ จำนวน 22 ราย คิดเป็นร้อยละ 73.3

เกษตรกรส่วนใหญ่มีจำนวนผลผลิตจากการปลูก กระเจี๊ยบเขียวในแต่ละครั้งอยู่ในช่วง 1,001-1,500 กก./ไร่ จำนวน 12 ราย คิดเป็นร้อยละ 40.0 จำนวนผลผลิต มากกว่าร้อยละ 90 ของจำนวนผลผลิตทั้งหมดเป็น ผลผลิตที่ได้ตามเกณฑ์ (มีคุณภาพตามที่บริษัทรับซื้อ) จำนวน 24 ราย คิดเป็นร้อยละ 80.0 โดยลักษณะของ กระเจี๊ยบเขียวตามเกณฑ์ คือ ฝักมีความยาว 8-10 ซม.

ผิวฝักมีลักษณะเรียบ และไม่มีปุ่ม ส่วนลักษณะของ กระเจี๊ยบเขียวที่ไม่ตรงตามเกณฑ์ คือ ฝักมีความยาว มากกว่า 10 ซม. ผิวฝักมีลักษณะไม่เรียบ มีปุ่มตามฝัก

ราคาผลผลิตที่เกษตรกรส่วนใหญ่สามารถ จำหน่ายได้สำหรับผลผลิตที่ได้ตามเกณฑ์ คือ 25 บาท/กก. จำนวน 18 ราย (ร้อยละ 75.0) ราคาผลผลิตที่ เกษตรกรสามารถจำหน่ายได้สำหรับผลผลิตที่ไม่ได้ตาม เกณฑ์ คือ 3.1-11 บาท/กก. จำนวน 12 ราย (ร้อยละ 60.0) เกษตรกรจำหน่ายผลผลิตที่ต่ำกว่าเกณฑ์ โดยนำไป ขายให้พ่อค้าแม่ค้าที่ตลาดและขายเองที่ตลาด จำนวน 21 ราย (ร้อยละ 70.0) เกษตรกรมีรายได้จากการปลูกในแต่ละ ครั้งอยู่ในช่วง 10,001-20,000 บาท/ไร่ จำนวน 19 ราย (ร้อยละ 63.3) มีต้นทุนในการปลูกแต่ละครั้งอยู่ในช่วง 3,001-5,000 บาท/ไร่ จำนวน 11 ราย (ร้อยละ 36.7) ดังนั้นผลตอบแทนส่วนใหญ่ในการปลูกแต่ละครั้งอยู่ใน ช่วง 10,001-30,000 บาท/ไร่ จำนวน 18 ราย (ร้อยละ 60.0) สำหรับในการลงทุนการเพาะปลูก เกษตรกรส่วนใหญ่ ไม่ขอสินเชื่อทางการเกษตร จำนวน 16 ราย (ร้อยละ 53.3) สำหรับเกษตรกรที่ขอสินเชื่อ มีแหล่งสินเชื่อหลัก คือ ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธ.ก.ส.) จำนวน 14 ราย (ร้อยละ 46.7)

การปฏิบัติตามเทคโนโลยีการปลูกกระเจี๊ยบ เขียวเพื่อการส่งออก พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ปฏิบัติตาม เทคโนโลยีการผลิตด้านวิธีการเก็บเกี่ยวมากที่สุด (ร้อยละ 100) รองลงมา คือ ด้านการเก็บเกี่ยว (ร้อยละ 80) การขนส่ง (ร้อยละ 96.7) การเตรียมดิน (ร้อยละ 73.3) วิธีการปลูก (ร้อยละ 73.3) การตัดใบ (ร้อยละ 73.3)

การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว (ร้อยละ 70) การให้น้ำ (ร้อยละ 63.3) การให้ปุ๋ย (ร้อยละ 36.7) การตัดต้นประธาน (ร้อยละ 36.7) การป้องกันกำจัดโรคพืช (ร้อยละ 30) และ น้อยที่สุด คือ การป้องกันกำจัดวัชพืช (ร้อยละ 26.7) และ การป้องกันกำจัดแมลง (ร้อยละ 26.7) ตามลำดับ

ผลการทดสอบผลของการปฏิบัติตามเทคโนโลยี การผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกต่อปริมาณผลผลิต ตามเกณฑ์มาตรฐานกระเจี๊ยบเขียวของเกษตรกร ในพื้นที่ อำเภอมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม โดยใช้ตัวทดสอบ ไคสแควร์ (Chi-square test) ดังสมมติฐานทางสถิติ คือ

H_0 : การปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบ เขียวไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์ มาตรฐาน

H_1 : การปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบ เขียวมีผลต่อปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์ มาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์ผลของการปฏิบัติตาม เทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกต่อ ปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐาน (Table 1) การ ปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวด้านการ เตรียมดิน การให้น้ำ การให้ปุ๋ย การป้องกันกำจัดวัชพืช การป้องกันกำจัดแมลง การป้องกันกำจัดโรคพืช การเก็บเกี่ยว การตัดใบ การตัดต้นประธาน การปฏิบัติหลังการเก็บ เกี้ยว และการขนส่ง ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์ มาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนด้าน วิธีการปลูกมีผลต่อปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (Table 1)

Table 1 Results of influence analysis of adhering to okra production technology for export affected on standard of quantity in yield production

Okra production procedure	Chi-square test (p-value)
1. Soil preparation	1.095 ^{ns} (0.578)
2. Plant cultivation	6.983* (0.030)
3. Watering	2.653 ^{ns} (0.265)
4. Fertilizer	0.173 ^{ns} (0.917)
5. Weed prevention	2.334 ^{ns} (0.311)
6. Pest control	2.334 ^{ns} (0.311)
7. Diseases prevention	1.640 ^{ns} (0.440)
8. Harvesting process	2.301 ^{ns} (0.316)
9. Harvesting methodology	-
10. Pinching plants	3.148 ^{ns} (0.207)
11. Cutting main stem	1.739 ^{ns} (0.419)
12. Post-harvesting methodology	4.315 ^{ns} (0.116)
13. Transportation	1.787 ^{ns} (0.409)

^{ns} non-significant at the 0.05 level, *significant at the 0.05 level

Chi-Square test was not able to compute as every farmers accept harvesting method.

ปัญหาและอุปสรรคในการปลูกกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออก คือ โรคพืช และแมลงศัตรูพืช โดยเกษตรกรส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60) พบปัญหาด้านโรคพืช คือ โรคราดำ โรคกระดุก มีลักษณะเป็นตุ่ม ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่ผ่านเกณฑ์ ส่วนแมลงศัตรูพืชที่พบในกระเจี๊ยบเขียว เช่น หนอน เพลี้ยจักจั่น แมลงต้อย เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากบริษัทรับซื้อได้จำกัดการใช้สารเคมีของเกษตรกร โดยมีมาตรการให้เกษตรกรหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่

ปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตด้านวิธีการเก็บเกี่ยวมากที่สุด เนื่องจากขั้นตอนนี้ถือว่าค่อนข้างมีความสำคัญต่อลักษณะทางกายภาพของฝักกระเจี๊ยบ ก่อนที่จะส่งถึงจุดรับซื้อ เพราะต้องใช้เทคนิค ความระมัดระวัง และความประณีตในการเก็บเกี่ยว เกษตรกรจึงค่อนข้างให้ความสำคัญกับขั้นตอนนี้ ซึ่งเป็นไปตามคำแนะนำของ Department of Agriculture Extension (2008) เนื่องจากฝักกระเจี๊ยบจะเกิดการเหี่ยวและชอกช้ำได้ง่าย ส่วนการป้องกันกำจัดวัชพืชและการป้องกันกำจัดแมลงในส่วนของการใช้สารเคมี เกษตรกรปฏิบัติตามน้อยที่สุดเนื่องจากเกษตรกรถูกควบคุมให้หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีจากบริษัทรับซื้อ ด้วยเหตุผลที่เกษตรกรส่วนมากยังใช้สารเคมีไม่ถูกต้อง และการใช้สารเคมียังเป็นการเพิ่ม

ต้นทุนให้กับเกษตรกร นอกจากนี้หากใช้ในระยะเวลาที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้มีสารเคมีตกค้างในผักกระเจี๊ยบเขียว ซึ่งจะกระทบต่อมาตรฐานการส่งออก

จากการทดสอบผลของการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวต่อปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐาน พบว่าด้านการเตรียมดิน การให้น้ำ การให้ปุ๋ย การป้องกันกำจัดวัชพืช การป้องกันกำจัดแมลง การป้องกันกำจัดโรคพืช การเก็บเกี่ยว การตัด ต้นประธาน การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว และการขนส่ง ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยเกษตรกรที่ปฏิบัติตามไม่ปฏิบัติตามเทคนิคเหล่านี้ ส่วนใหญ่ได้ผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐานในการปลูกแต่ละครั้งต่ำกว่า 1,500 กก./ไร่ ส่วนด้านวิธีการปลูกมีผลต่อปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยเกษตรกรที่ปฏิบัติตามเทคนิคด้านวิธีการปลูกส่วนใหญ่ได้ผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐานอยู่ในช่วง 1,001-1,500 กก./ไร่ ส่วนเกษตรกรที่ไม่ปฏิบัติตามเทคนิควิธีการปลูกส่วนใหญ่ได้ผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐานต่ำกว่า 1,000 กก./ไร่ เห็นได้ว่าเกษตรกรที่ปฏิบัติตามเทคนิควิธีการปลูกจะมีผลผลิตกระเจี๊ยบเขียวที่สูงกว่า เนื่องจากวิธีการปลูกถือเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว จึงมีงานวิจัยที่การศึกษาเกี่ยวกับวิธีการปลูกต่อผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว เช่น Junpatiw and Sittikarn (2019) ได้ศึกษาอิทธิพลของระยะปลูกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตกระเจี๊ยบเขียว พบว่าระยะปลูก 60×80 ซม. เป็นระยะปลูกที่ให้ผลผลิตสูงสุด และ Paththinige *et al.* (2008) ได้ศึกษาอิทธิพลของระยะการปลูกที่มีต่อผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวในศรีลังกา พบว่าระยะปลูก 45×45 ซม. และ 45×30 ซม. เป็นระยะปลูกที่ให้ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตที่ดีกว่าในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม (Yala season) และช่วงเดือนกันยายนถึงมีนาคม (Maha season) ตามลำดับ ดังนั้นภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการให้ความรู้แก่เกษตรกรเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียว โดยเฉพาะเทคนิควิธีการปลูกที่ถูกวิธี เพื่อเป็นการเพิ่ม

ผลผลิตและตรงตามความต้องการของตลาด และเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร โดยการร่วมมือกับหัวหน้าจุดรับซื้อ เนื่องจากเป็นแหล่งเรียนรู้หลักของเกษตรกร

ปัญหาและอุปสรรคในการปลูกกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออก เกษตรกรส่วนใหญ่พบปัญหาด้านโรคพืชและแมลงศัตรูพืช ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jamnonknearn *et al.* (2012) ที่พบว่าเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวในจังหวัดนครปฐม ประสบปัญหาเรื่องโรคพืชและแมลงศัตรูพืชระบาดในระดับความรุนแรงเนื่องจากสภาพอากาศแปรปรวน ทำให้เกิดความเสียหายกับผลผลิตเป็นจำนวนมาก อีกทั้งเกษตรกรยังขาดความรู้เรื่องวิธีการป้องกันกำจัดศัตรูพืช ทั้งนี้เนื่องจากบริษัทรับซื้อได้จำกัดการใช้สารเคมีของเกษตรกร โดยมีมาตรการให้เกษตรกรหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี ซึ่งสอดคล้องกับ Yossuck and Promnet (2005) ที่พบว่าเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวภาคเหนือตอนบน ประสบปัญหาในด้านป้องกันกำจัดแมลง โดยเกษตรกรพยายามแก้ไขด้วยการหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีกำจัดแมลงฉีดพ่นให้มากที่สุด เนื่องจากตระหนักถึงอันตรายของพิษของสารเคมีต่อตัวเกษตรกรเองเป็นหลัก และปัญหาการป้องกันกำจัดโรคพืชเช่นเดียวกัน ดังนั้นเกษตรกรควรได้รับการอบรมวิธีการกำจัดและป้องกันโรคพืชและแมลงศัตรูพืช ด้วยวิธีที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้สารเคมี เพื่อสอดคล้องกับความต้องการของบริษัทรับซื้อ เช่น การใช้สารสกัดจากธรรมชาติ ได้แก่ สารสกัดจากสะเดา น้ำหมักชีวภาพ เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษากการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวเพื่อการส่งออกของเกษตรกรในจังหวัดนครปฐม พบว่าส่วนใหญ่มีจำนวนผลผลิตจากการปลูกกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละครั้งอยู่ในช่วง 1,001-1,500 กก./ไร่ จำนวนผลผลิตมากกว่าร้อยละ 90 ของจำนวนผลผลิตทั้งหมดเป็นผลผลิตที่ได้ตามเกณฑ์ โดยเกษตรกรส่วนใหญ่

ปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตด้านวิธีการเก็บเกี่ยวมากที่สุด รองลงมา คือ ด้านการขนส่ง สำหรับการเตรียมดิน วิธีการปลูก และการตัดใบมีจำนวนเท่ากัน การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว การให้น้ำ การให้ปุ๋ย และการตัดต้นประธานมีจำนวนเท่ากันกับการป้องกันกำจัดโรคพืช และน้อยที่สุด คือ การป้องกันกำจัดวัชพืชและการป้องกันกำจัดแมลงในส่วนของการใช้สารเคมี ตามลำดับ โดยการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวด้านวิธีการปลูกส่งผลให้ปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐานสูงขึ้นสำหรับปัญหาและอุปสรรคที่เกษตรกรได้รับ คือ ปัญหาเรื่องโรคพืชและแมลงศัตรูพืช ทำให้ปริมาณผลผลิตกระเจี๊ยบเขียวที่ผลิตได้นั้นไม่เพียงพอต่อความต้องการและมีคุณภาพไม่ตรงกับมาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้ การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดสอบผลของการปฏิบัติตามเทคโนโลยีการผลิตกระเจี๊ยบเขียวต่อปริมาณผลผลิตตามเกณฑ์มาตรฐานเพียงปัจจัยเดียว หากมีการนำปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิต เช่น พันธุ์กระเจี๊ยบเขียว ชนิดปุ๋ย สภาพภูมิอากาศ เป็นต้น มาศึกษาร่วมกันก็จะทำให้ทราบผลในเชิงลึกเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ในการสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณสำนักงานเกษตรจังหวัดนครปฐม และเกษตรกรผู้ปลูกกระเจี๊ยบเขียวที่กรุณาสละเวลาในการให้ข้อมูลเพื่อประกอบการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Department of Agriculture Extension. 2008.

Handbook of Agricultural Extensionist: Okra. [Online]. Available http://www.agriman.doae.go.th/home/t.n/t.n1/5vage table_Requirement/03_Okra.pdf (15 May 2020). [in Thai]

Jamnonknearn, K., P. Tangwiwat and B. Yooprasert. 2012. Okra Production and Marketing by Farmers in Nakhon Pathom Province. pp. 1-10. *In Proceedings of the 2nd STOU Graduate Research Conference (Oral) 4-5 September 2012.* Nontaburi: Sukhothai Thammathirat Open University. [in Thai]

Junpatriw, A. and W. Sittikarn. 2019. Effect of row spacing and rates of chemical fertilizer on growth and yield component of okra. *Khon Kaen AGR. J.* 47(Suppl.1): 1557-1562. [in Thai]

Muongthong, P., W. ThongKot and S. Ungpansattawong. (n.d.). **Determining the sample size by the Yamane's formula.** [Online]. Available http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/01_9_Yamane.pdf (20 February 2020). [in Thai]

- Paowsrakoo, N. and C. Wongsamun. 2018. Adoption on Jasmine rice production technology with good agricultural practices of farmers in Tungkula Ronghai area, Roi-Et province. **Khon Kaen AGR. J.** 46(Suppl.1): 779-785. [in Thai]
- Paththinige, S.S., P.S.G. Upasantha, R.M. Ranaweera Banda and R.M. Fonseka. 2008. Effect of plant spacing on yield and fruit characteristics of okra (*Abelmoschus esculentus*). **Tropical Agricultural Research** 20: 336-342.
- Pitiporn, S. 2018. An okra fight against Gnathostoma. **Moa Chaoban** 39(467): 16-19. [in Thai]
- Praphaisri, N., K. Kanokhong, N. Rungkawat and P. Sakkatat. 2015. Adoption of wet season rice production of farmers in Mae Ai District, Chiang Mai. **Journal of Agr. Research & Extension** 32(1): 39-46. [in Thai]
- Tanthawanit, O. 2018. **Organic farming and natural lifestyle**. [Online]. Available https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_86050 (15 February 2020). [in Thai]
- Yamane, T. 1973. **Statistics: An Introduction Analysis**. 3rd Edition. New York: Harper and Row Publications. 1130 p.
- Yossuck, P. and U. Promnet. 2005. Farmer's adoption of okra production for export in the upper northern region of Thailand. pp. 252-266. *In Proceedings of the 43rd Kasetsart University Annual Conference 1-4 February 2005*. Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]

รูปแบบการยอมรับเทคโนโลยีการปลูกข้าวแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก Adoption Pattern of Rice Parachute Technology by Farmers in Phitsanulok Province

ศิริน มหายศนันท์^{1*} ยรรยง เจริญแสน¹ และนภาพร เวชสิทธิ์นिरภัย²

Sirin Mahayotsanun^{1*}, Yunyong Chalermnan¹ and Napharat Vetchasitniraphai²

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

²คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand 50300

²Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: ssirin_m@yahoo.com

Abstract

Received: November 19, 2019

Revised: November 26, 2019

Accepted: January 15, 2021

This study aimed evaluate for an adoption pattern of rice parachute technology by farms in Phitsanulok province. The sample group in this study was rice parachute farmers suggested by office of Agriculture and Agricultural Cooperative, Phitsanulok province. In-depth interview was conducted with 6 master rice parachute farmers in Phitsanulok province. Also, focus group discussion was held among 25 personals of 12 farmer supporting agencies. Findings showed that adoption pattern of rice parachute technology of farmers in Phitsanulok province consisted of 5 components: 1) attitude of the farmers toward rice parachute technology; 2) content of the rice parachute technology; 3) method of acquiring the rice parachute technology; 4) supporting factors and components; and 5) result of acceptance and practice of parachute farming by farmers. Outcomes of this study can be used as a basic information to be applied in an extension and policy planning program appropriate for Phitsanulok province in order to increase the efficiency of rice production by farmers.

Keywords: rice parachute technology, adoption technology, rice parachute model

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหารูปแบบการยอมรับเทคโนโลยีการปลูกข้าวแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือ เกษตรกรที่ทำนาแบบโยนกล้าของสำนักงานเกษตรและสหกรณ์การเกษตร จังหวัดพิษณุโลก โดยการศึกษา

เชิงคุณภาพใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกกับเกษตรกรต้นแบบในจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 6 คน และใช้การสนทนากลุ่มย่อยกับบุคลากรในหน่วยงานที่ส่งเสริมสนับสนุนให้แก่เกษตรกร จาก 12 หน่วยงาน รวมทั้งสิ้น 25 คน

ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก ประกอบไปด้วย 5 องค์ประกอบ ได้แก่

1) ทักษะของเกษตรกรต่อการทำนาแบบโยนต้นกล้า 2) เนื้อหาสาระเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้า 3) วิธีการเรียนรู้การทำนาแบบโยนต้นกล้า 4) องค์ประกอบและปัจจัยเกื้อหนุน 5) ผลการยอมรับและนำไปปฏิบัติ เทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกร โดยผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้เพื่อการส่งเสริมและการวางแผนเชิงนโยบายสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลกให้เป็นไปอย่างเป็นระบบและเหมาะสมกับสภาพพื้นที่

คำสำคัญ: เทคโนโลยีการปลูกข้าวแบบโยนต้นกล้า
การยอมรับเทคโนโลยี รูปแบบการปลูกข้าว

คำนำ

ประเทศไทยในอดีตเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพเกษตรกรรม มีวิถีชีวิตแบบพหุมีพอกินสามารถเลี้ยงตัวเองได้อย่างผาสุกในลักษณะของเกษตรกรแบบพอเพียง ซึ่งมีการขยายตัวอย่างช้าๆ ติดต่อกันเป็นเวลาหลายสิบปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาชีพทำนาที่มีความสำคัญของคนไทยเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากข้าวถือว่าเป็นอาหารหลักของคนไทย เกษตรกรไทยในอดีตมีการทำนาขนาดเล็กและผลิตข้าวในปริมาณที่เพียงพอสำหรับเลี้ยงตัวเองเท่านั้น ต่อมาเมื่อปี พ.ศ. 2500 ซึ่งเป็นยุคแห่งการเร่งรัดพัฒนาประเทศ ประเทศไทยได้เริ่มนำแผนพัฒนาประเทศฉบับแรกมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504 ทั้งนี้ได้กำหนดนโยบายที่จะเร่งรัดพัฒนาประเทศ โดยรัฐบาลขยายการลงทุนเพื่อสร้างปัจจัยขั้นพื้นฐานทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถนน และเขื่อน ซึ่งทำให้พื้นที่การเกษตรขยายตัวออกไป ในขณะที่ตลาดเพื่อรองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เพิ่มขึ้นเหล่านี้มาจากต่างประเทศจึงทำให้ขยายตัวในอัตราที่รวดเร็ว (Punpeamrut, 2006) ทำให้อาชีพทำนา

ได้เปลี่ยนบทบาทจากการผลิตเพื่อยังชีพแบบพหุมีพอกินกลายเป็นการผลิตเพื่อการค้า และในปัจจุบันประเทศไทยถือได้ว่าเป็นผู้ค้าข้าวส่งออกที่สำคัญของโลก ทำให้ประเทศไทยมีการเพิ่มผลผลิตข้าวให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด Office of Agricultural Economics (2010) รายงานว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 จนถึงปี พ.ศ. 2552 พื้นที่ทำนาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง จาก 63,551,124 ไร่ เป็น 66,077,655 ไร่ โดยมีพื้นที่ทำนาคิดเป็น 49.74% ของพื้นที่การเกษตรทั้งประเทศ

ปัจจุบันการแข่งขันด้านปริมาณและคุณภาพของข้าวในตลาดโลกมีความเข้มข้นมากยิ่งขึ้น โดย Department of Foreign Trade (2012) ได้รายงานไว้ว่า ประเทศไทยส่งออกข้าวในปี พ.ศ. 2554-2555 เป็นอันดับที่ 1 ของโลก (8.5 ล้านตัน) โดยในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 ประเทศเวียดนามมีการเร่งการส่งออกข้าวสูงสุดเป็นประวัติการณ์ (0.93 ล้านตัน) และมีแนวโน้มการส่งออกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่อินเดียและไทยการส่งออกข้าวชะลอตัวลง ทำให้เกษตรกรไทยต้องหันมาให้ความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการผลิตข้าวมากยิ่งขึ้น ทั้งทางด้านปริมาณการผลิตที่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดและคุณภาพที่ได้มาตรฐาน (Ministry of Commerce, 1997) เพื่อให้ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น

ปัญหาในการทำนาหรือปลูกข้าว คือ การขาดแคลนแรงงาน โดยการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีการนำเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้า ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการผลิตวิธีใหม่ที่กำลังเป็นที่สนใจของเกษตรกรกลุ่มเล็กๆ เนื่องจากเป็นนวัตกรรมการทำงานที่ช่วยป้องกันปัญหาการเกิดวัชพืช และการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้เป็นอย่างดี อีกทั้งสามารถทำนาได้ต่อเนื่องปีละ 3-4 ครั้งต่อปี ซึ่งทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นในเขตชลประทาน โดยไม่ต้องใช้สารเคมีทุกชนิด ส่งผลให้คุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้น ซึ่งนับเป็นทางเลือกหนึ่งของการทำนาแบบยั่งยืน และทำให้อาชีพเกษตรกรเกิดความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจ (Rice Department, 2012)

ดังนั้นการให้ความสำคัญกับความรู้ความเข้าใจต่อองค์ประกอบและต่อการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก จึงทำให้เราทราบแนวทางการส่งเสริมเทคโนโลยีชนิดนี้สู่การปฏิบัติเพื่อเพิ่มการผลิตข้าวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในการวิจัยในครั้งนี้มีการเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยไปสู่หน่วยงานที่ทำหน้าที่ในการส่งเสริม เพื่อหวังผลการเปลี่ยนแปลงในการวางแผนเชิงนโยบายในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวของเกษตรกรได้อย่างเป็นระบบและเหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหารูปแบบการยอมรับเทคโนโลยีการปลูกข้าวแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงคุณภาพ เพื่อค้นหาองค์ประกอบและความสัมพันธ์ในรูปแบบการยอมรับนวัตกรรมการปลูกข้าวแบบโยนต้นกล้าในจังหวัดพิษณุโลก ด้วยวิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative research design) โดยการศึกษาเชิงทฤษฎี (Theoretical approach) และการศึกษาภาคสนามเพื่อศึกษาเชิงคุณภาพ การสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (In-depth interview) เกษตรกรตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก และการสนทนากลุ่ม (Focus group discussion) กับหน่วยงานที่มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) ในการส่งเสริมเผยแพร่องค์ความรู้การทำนาแบบโยนต้นกล้าในจังหวัดพิษณุโลก และนำรูปแบบการยอมรับที่ได้มาตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาด้วยผู้เชี่ยวชาญ (Peer validity) โดยมีการดำเนินการวิจัยดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ

1) เกษตรกรตัวอย่างที่ปลูกข้าวด้วยวิธีการโยนต้นกล้าในจังหวัดพิษณุโลก 5 อำเภอ รวมทั้งสิ้น 6 คน ด้วยวิธีการ Purposive sampling technique เพื่อค้นหา

องค์ประกอบและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้า

2) เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร หัวหน้าหน่วยงานส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตข้าวด้วยวิธีการทำนาแบบโยนต้นกล้าในระดับนโยบาย นักวิชาการ และ NGO จำนวน 12 หน่วยงาน 25 คน เพื่อเสนอแนะแนวทางการส่งเสริมเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก

การเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลจาก 1) การสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (In-depth interview) กับเกษตรกรตัวอย่างที่รับจ้างโยนต้นกล้าให้แก่เกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 6 คน จาก 5 อำเภอ เพื่อค้นหาองค์ประกอบและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าตามประเด็นการสัมภาษณ์ 2) การสนทนากลุ่ม (Focus group discussion) กับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร หัวหน้าหน่วยงานส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตข้าวด้วยวิธีการทำนาแบบโยนต้นกล้าในระดับนโยบาย นักวิชาการ และ NGO 12 หน่วยงาน จำนวน 25 คน เพื่อเสนอแนะแนวทางการส่งเสริมเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าในจังหวัด 3) วิธีการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) ขององค์ประกอบและปัจจัยด้วย Peer validity โดยการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลไปพร้อมกับการเก็บรวบรวมข้อมูลตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัย ซึ่ง Miles and Huberman (1994) อ้างใน Potisita (2007) ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ดังนี้ 1) จัดระเบียบข้อมูล (Data organizing) โดยการแยกแยะ นำข้อมูลที่ได้มาจัดกลุ่มโดยใส่รหัสข้อมูล (Coding) 2) แสดงข้อมูล (Data display) โดยการนำ

ข้อมูลที่ได้จากการใส่รหัสซึ่งแตกออกเป็นหน่วยย่อยกลับเข้ามารวมกันเพื่อให้ได้ความหมายและรวมเป็นกลุ่มเป็นประเภท ตามองค์ประกอบและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าในจังหวัดพิษณุโลก 3) สรุป ติความการวิจัย โดยการนำมาสรุปเป็นแผนผังที่มีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ในแต่ละองค์ประกอบ ขององค์ประกอบและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าในจังหวัดพิษณุโลก และ 4) ตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิจัย โดยการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและความเชื่อถือได้ในภาคสนาม โดยตรวจสอบด้วยการดูความครบถ้วนของคำถามในแบบสัมภาษณ์ทุกข้อ โดยคำถามทุกข้อต้องได้รับการตอบอย่างครบถ้วนและสมบูรณ์ 5) วิเคราะห์ข้อมูลโดยการนำข้อมูลที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS for windows โดยการหาค่า Median และ Interquartile range โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS Version 11.5 ด้วยการแปลความหมายจากค่ามัธยฐาน และการคำนวณค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ (Inter quartile range) ถ้าค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ที่คำนวณได้ของข้อความมีค่าตั้งแต่ 1.50 ลงมา แสดงว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อข้อความนั้นสอดคล้องกัน ถ้าค่าพิสัยระหว่างข้อความใดมีค่ามากกว่า 1.50 (ตั้งแต่ 1.51 ขึ้นไป) แสดงว่าความคิดเห็นของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อข้อความนั้นไม่สอดคล้องกัน จากนั้นนำเอาข้อความที่กลุ่ม

ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นที่สอดคล้องกันทั้งในด้านมัธยฐานและพิสัยระหว่างควอไทล์ ไปสรุปเป็นความคิดเห็นของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ตามเกณฑ์การศึกษาในงานวิจัยของ Kaewurai *et al.* (1999) และ 6) นำเอาข้อเสนอมาสรุปเป็นแผนผัง ที่มีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ในแต่ละองค์ประกอบของการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าในจังหวัดพิษณุโลก และตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิจัย

ผลการวิจัย

ผลการค้นหาคำประกอบภายใต้รูปแบบการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกร ในจังหวัดพิษณุโลก ประกอบไปด้วย 5 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบที่ 1 ทักษะการทำการทำนาแบบโยนต้นกล้า องค์ประกอบที่ 2 ด้านเนื้อหาของเทคโนโลยีที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับของเกษตรกร องค์ประกอบที่ 3 ด้านวิธีการเรียนรู้การทำนาแบบโยนต้นกล้า องค์ประกอบที่ 4 ด้านองค์ประกอบ/ปัจจัยเกื้อหนุนในการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกร ส่งผลให้เกิดองค์ประกอบที่ 5 ด้านผลการยอมรับและนำไปปฏิบัติเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกร ในจังหวัดพิษณุโลก ดังรายละเอียดใน Table 1

Table 1 The results of evaluation of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province by the experts

The component of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province	An appropriate of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province		
	Median	I.R (Q ₃ - Q ₁)	Agreement on appropriateness
The appropriateness in detail of each component			
Component 1: Attitude of famer in parachute farming			
1. The belief on parachute farming was the safe rice growing technology.	5	1	Agree
2. The belief on parachute farming was environmental conservation.	5	0	Agree
3. The belief on parachute farming could split head rice better than other methods.	5	0	Agree
4. The belief on parachute farming was responded in apply fertilizer better than other methods.	5	1	Agree
5. The belief on parachute farming reduced the amount of fertilizer more than other methods.	5	0	Agree
6. The belief on parachute farming reduced the amount of pesticide agrochemical more than other methods.	5	0	Agree
7. Belief on parachute farming reduced the amount of herbicide more than other methods.	5	0	Agree
8. The belief on parachute farming utilized less water than other methods.	5	0	Agree
9. Belief on parachute farming reduced the amount of seed using more than other methods.	5	0	Agree

Table 1 (Continued)

The component of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province	An appropriate of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province		
	Median	I.R (Q ₃ - Q ₁)	Agreement on appropriateness
Component 2: The context of parachute farming			
1. The parachute farming produced more rice than the other methods.	5	0	Agree
2. Parachute farming produced more income than the other methods.	5	0	Agree
3. The parachute farming used less cost than the other methods.	5	0	Agree
4. The parachute farming was easy to understand.	5	0	Agree
5. The parachute farming was not complicated to practical.	5	0	Agree
6. The parachute farming could be experimented in some parts to compare with other rice farming methods.	5	0	Agree
7. The parachute farming could be produce more than one time per year.	5	0	Agree
8. The parachute farming used less labor than the other methods.	5	0	Agree
9. The parachute farming could easily use local produced equipment.	5	0	Agree
Component 3: The methods of learning the parachute farming			
1. The adoption technology of parachute farming from community leader	5	0	Agree
2. The adoption technology of parachute farming from broadcasting television and radio	5	0	Agree
3. The adoption technology of parachute farming from searching in internet media	5	0	Agree

Table 1 (Continued)

The component of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province	An appropriate of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province		
	Median	I.R (Q ₃ - Q ₁)	Agreement on appropriateness
Component 3: The methods of learning the parachute farming			
4. The adoption technology of parachute farming from trial and error by oneself	5	0	Agree
5. The adoption technology of parachute farming from discussion and observation from prototype farmer in community	5	0	Agree
6. The adoption technology of parachute farming from study trip from prototype farmer	5	0	Agree
7. The adoption technology of parachute farming from training by organization	5	0	Agree
8. The adoption technology of parachute farming from demonstration	5	0	Agree
9. The adoption technology of parachute farming from other farmer	5	0	Agree
10. The adoption technology of parachute farming from discussion with other farmer in community to solve problem	5	0	Agree
11. The adoption technology of parachute farming from experimented land field from other organization	5	0	Agree
12. The adoption technology of parachute farming from private sector that sale an equipment of parachute farming	5	1	Agree

Table 1 (Continued)

The component of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province	An appropriate of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province		
	Median	I.R (Q ₃ - Q ₁)	Agreement on appropriateness
Component 4: Supporting factor in accepting the parachute farming technology			
1. Government policy that support in rice farming practically and continuously	5	0	Agree
2. The funding or production factor that support from government sector in parachute farming	5	0	Agree
3. The extension and support of parachute farming from government sector	5	0	Agree
4. The funding or production factor that support from education sector in parachute farming	5	0	Agree
5. The effective understanding of extension officer in technology of parachute farming	5	1	Agree
6. The public relation of social media in knowledge and technology of parachute farming continuously	5	0	Agree
7. Local farmer and farmer's group co-operate each other to support parachute farming technology practically and continuously	5	1	Agree
8. The source of service provider in parachute farming	5	0	Agree
Component 5: The result of acceptance and practical of parachute farming of farmer			
1. Seeding and Transplanting			
1) Soaking seed for one night	5	0	Agree
2) Use 4-5 kg of rice seed per rai	5	1	Agree
3) Use 50-70 seed boxes per rai (561 hole seed box)	5	1	Agree
4) Use 70-90 seed boxes per rai (434 hole seed box)	5	0	Agree
5) Put fine soil on seed box hole about half hole before seeding	5	0	Agree

Table 1 (Continued)

The component of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province	An appropriate of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province		
	Median	I.R (Q ₃ - Q ₁)	Agreement on appropriateness
Component 5: The result of acceptance and practical of parachute farming of farmer			
6) Put 5-7 seeds per hole	5	0	Agree
7) Cover fine soil at full hole level, put cover material on seed box to prevent seed spillover while watering	5	0	Agree
8) Watering in the morning and evening about 3-4 days before germinated and watering to 9-10 days before transplanting	5	0	Agree
9) Remove cover material when seed germinate above the soil.	5	0	Agree
10) Transplanting when seed height was about 3-5 inches or 15-20 days.	5	0	Agree
2. Soil preparation			
1) Leave the ground for 15-30 days before plough roughly for the first time	5	0	Agree
2) Transfer the water into soil for 5-10 days before plough roughly for the first time	5	0	Agree
3) Let the weed and seed germinate before plough roughly for the first time	5	0	Agree
4) After plough roughly, let the weed and seed germinate before plough in regular furrows	5	0	Agree
5) Plough in regular furrows after plough roughly for 10-15 days	5	0	Agree
6) After plough in regular furrows, keep the water level to soak the weed and seed and then harrow or smashed ground	5	0	Agree

Table 1 (Continued)

The component of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province	An appropriate of the adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province		
	Median	I.R (Q ₃ - Q ₁)	Agreement on appropriateness
Component 5: The result of acceptance and practical of parachute farming of farmer			
7) Harrow or smashed ground after plough in regular furrows for 10-15 days	5	0	Agree
8) After harrow keep water on ground for 2-3 weeks, then repeat harrow again	5	0	Agree
9) Use rotary to ferment rice straw at least 3 weeks	5	0	Agree
10) Release water to adjust barrier by level water about to cover the barrier	5	0	Agree
11) Adjust barrier regularly before parachute	5	0	Agree
3. Prepare growing plot			
1) In parachute day the water height should be at 1 cm	5	0	Agree
2) After parachute for 3 days, the water level should be at 5 cm in order to control weed and weed rice	5	0	Agree
3) Put fertilizer about 20 kg per rai when rice stem was upright.	5	1	Agree
4) Increase the water level to 10 cm after parachute for 3 weeks	5	0	Agree
5) Put enzyme ionic plasma (EM) and water to plot about 10 liters per rai	5	1	Agree
4. Harvesting of product			
1) Harvest after rice bloom about 28-30 days	5	0	Agree
2) Release water from plot about 15-20 days before harvest	5	0	Agree
3) Harvest rice according to rice age of each specie that specify from rice department	5	0	Agree

จาก Table 1 แสดงการพัฒนารูปแบบการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก โดยนำข้อมูลองค์ประกอบและปัจจัยของรูปแบบการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกร ในจังหวัดพิษณุโลกที่ได้ค้นพบ นำไปตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน เพื่อประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกร

ในจังหวัดพิษณุโลก ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่าผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นสอดคล้องต่อระดับความเหมาะสมขององค์ประกอบทั้ง 5 ของรูปแบบที่พัฒนาขึ้น โดยมีค่า Median เท่ากับ 5 ในทุกข้อ และมีค่า Interquartile Range-I.R. ทั้งหมด มีค่า I.R. อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 สามารถจำแนกได้ว่าตัวแปรมีความสอดคล้องเหมาะสมเชิงเนื้อหา (Figure 1)

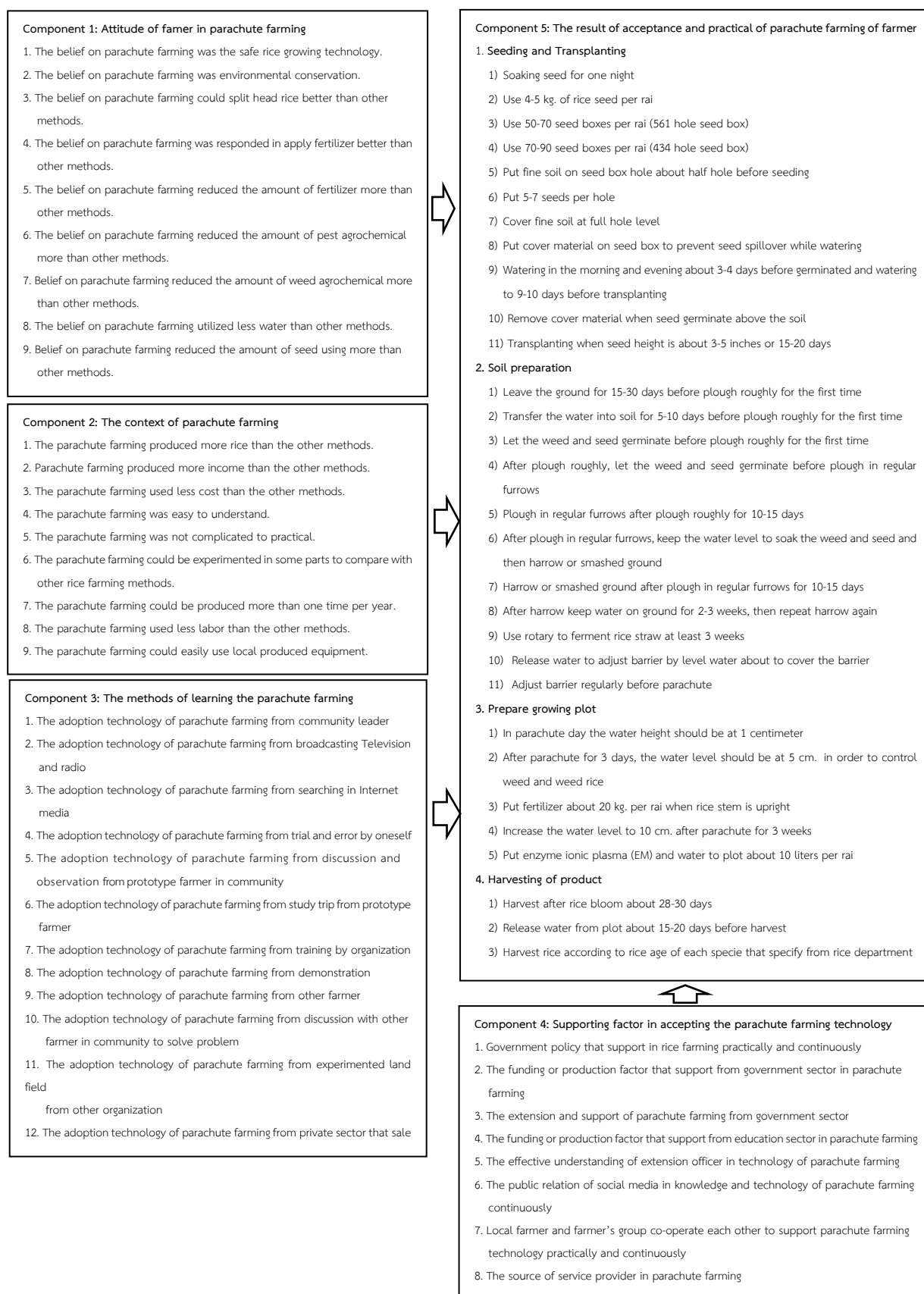


Figure 1 Adoption model of rice parachute technology in Phitsanulok province

วิจารณ์ผลการวิจัย

การค้นหาคำความสัมพันธ์ขององค์ประกอบ ทั้ง 5 องค์ประกอบ พบว่าด้านทัศนคติของเกษตรกร ด้านเนื้อหาสาระของเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้า ของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก ด้านวิธีการเรียนรู้การทำนาแบบโยนต้นกล้า ด้านองค์ประกอบ/ปัจจัยเกื้อหนุนในการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้า ของเกษตรกร มีอิทธิพลต่อองค์ประกอบที่ 5 คือ ด้านผลการยอมรับและนำไปปฏิบัติใช้การทำนาแบบโยนต้นกล้า ของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก นั่นคือการวิจัยในครั้งนี้ ได้ใช้ผลลัพธ์เป็นฐานนำไปสู่องค์ประกอบที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการยอมรับของเกษตรกร สามารถอธิบายรายละเอียดองค์ประกอบในรูปแบบการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก การยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลกที่ได้ค้นหาและพัฒนาขึ้น ทำให้ได้ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางการส่งเสริมการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้า โดยการส่งเสริมควรเน้นที่กระบวนการเรียนรู้เทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรนั้น หน่วยงานที่ทำหน้าที่ในการส่งเสริมทั้งภาครัฐและเอกชนควรให้ความสำคัญกับหลักการในการเรียนรู้ไปพร้อมกับการวางแผนการจัดการเรียนรู้ให้แก่เกษตรกร เนื่องจากการเรียนรู้ของเกษตรกรเป็นการเรียนรู้ที่เกิดจากประสบการณ์ และเป็นการเรียนรู้ด้วยตัวเองอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเนื้อหาในการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก ควรเน้นเรื่องการพึ่งพาตนเองเป็นหลัก โดยการใช้ทรัพยากรที่ตนเองมีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทดลองและค้นหากิจกรรมที่เหมาะสมกับตนเอง โดยแสดงความสัมพันธ์ของผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียเข้ามาเรียนรู้ร่วมกับเกษตรกรที่ยอมรับเทคโนโลยีการปลูกข้าวแบบโยนต้นกล้าต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การค้นหาคำประกอบและปัจจัยการยอมรับ เทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกร ในจังหวัดพิษณุโลก โดยใช้การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ของเกษตรกร รวมถึงการศึกษาภาคสนามด้วยการสัมภาษณ์เกษตรกรต้นแบบ (Model farmer) โดยใช้เทคนิคการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (In depth interview) และประชุมกลุ่ม (Focus group discussion) หน่วยงานที่ทำหน้าที่ส่งเสริมเผยแพร่องค์ความรู้เทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้า แล้วนำมาสังเคราะห์เป็นรูปแบบการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก พบว่าการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกร ในจังหวัดพิษณุโลกนั้น ประกอบไปด้วย 5 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ทัศนคติของเกษตรกร 2) เนื้อหาสาระของเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้า ของเกษตรกรในจังหวัดพิษณุโลก 3) วิธีการเรียนรู้การทำนาแบบโยนต้นกล้า 4) องค์ประกอบ/ปัจจัยเกื้อหนุนในการยอมรับเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกร และ 5) ผลการยอมรับและนำไปปฏิบัติเทคโนโลยีการทำนาแบบโยนต้นกล้าของเกษตรกร

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัยนี้ ควรมีการนำเอาองค์ประกอบและปัจจัยที่ค้นหามาได้มาตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของรูปแบบการยอมรับเทคโนโลยีการปลูกข้าวแบบโยนต้นกล้าอีกครั้ง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรในแต่ละตัวว่ามีอิทธิพลต่อการยอมรับจริงหรือไม่ด้วยขบวนการวิจัยทางปริมาณ (Quantitative research) โดยการใช้โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor analysis) เพื่อยืนยันรูปแบบนี้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และสถาบันวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้สนับสนุนทุนเพื่อใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ พร้อมทั้งเกษตรกรต้นแบบ หน่วยงานราชการที่ทำหน้าที่ในการส่งเสริม และผู้เชี่ยวชาญที่ได้ให้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับรูปแบบที่ค้นคว้าวิจัย รวมถึงการเกษตรที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Department of Foreign Trade. 2012. **World rice situation August 2012**. [Online] Available www.dft.go.th/Portals/0/.../wtrinter55@25550914-1033451715.doc (10 October 2012). [in Thai]
- Kaewurai, W., T. Panichpalinchai, C. Klinjarern and S. Thuntanakul. 1999. **A Development of Learning Process Reform Model**. Phitsanulok: Nareasuan University. 450 p. [in Thai]
- Miles, M.B. and A.M. Huberman. 1994. **Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook**. Thousand Oaks: SAGE Publications Inc. 408 p.
- Ministry of Commerce. 1997. **Standard of rice product Ministry of Commerce**. [Online]. Available <http://ocs.dft.go.th/LinkClick.aspx?fileticket=pdpKHdDauc%3d&tabid=402&mid=807> (31 March 2012). [in Thai]
- Office of Agricultural Economics. 2010. **Agricultural statistics of Thailand 2010**. [Online]. Available http://www.oae.go.th/download/download_journal/yearbook53.pdf (7 August 2019). [in Thai]
- Potisita, C. 2007. **Art and Science of Qualitative Research**. 3rd. Bangkok: Institute for Population and Social Research, Mahidol University. 480 p. [in Thai]
- Punpeamrut, K. 2006. **Advanced Farmer and Strong Economy**. Bangkok: Matichon. 172 p. [in Thai]
- Rice Department. 2012. **Rice parachute technology**. [Online]. Available <http://www.maharakham.doe.go.th/file/KM/km11.pdf> (7 September 2012).

ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับมาตรฐานการรับรองตามการผลิตทางการเกษตรที่ดีที่เหมาะสม (GAP)

ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

Factor Affecting Adoption for Vegetables with Good Agricultural Practices Standard in the Upper North of Thailand

พัชรินทร์ สุภาพันธุ์^{1*} พัชร อินธนู² และก้องนเรนทร์ ใจคำปัน³

Pacharin Supapunt^{1*}, Patcharee Intanu² and Kongnaran Chaikampun³

¹สาขาเศรษฐศาสตร์เกษตร และสิ่งแวดล้อม คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²สาขาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

³สาขาเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Agricultural and Environmental Economics, Faculty of Economics, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

²Industrial Chemistry and Textile Technology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

³Apply Economics, Faculty of Economics, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: tomaec@hotmail.com

Received: March 25, 2020

Revised: May 18, 2020

Accepted: July 24, 2020

Abstract

The objectives of this study were to analyze factor affecting adoption of farmer households who produced vegetables with Good Agricultural Practices (GAP) standard in the upper North of Thailand by means of ordered probit model. The samples of this study were randomized with multi-stage sampling and data were collected in the form of interviews with questionnaires from 383 farmer households in Chiang Mai, Chiang Rai, Lamphun, and Lampang provinces. It was found that the increase in the probability for farmers to adopt the high-level GAP vegetable practices included supporting for own investment and loan to produce GAP vegetables, diversity of GAP vegetables, suitable prices, the knowledge provided by private entities on food safety property of GAP vegetables, and being a member of Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives, farmers group, community enterprises, and other group, and positive attitude toward GAP vegetable production. Meanwhile, the decrease in the likelihood for farmers to adopt the high-level GAP vegetable practices were found to include age, education, the freshness of GAP produce, the knowledge provided by government agencies on food safety property of GAP vegetables, being a member of village fund, and the farmers' satisfaction levels

with their participation in training on GAP standard. However, the attempt still has to be made to foster the development and growth of GAP vegetable production to a wider extent and to meet the market needs.

Keywords: adoption, Good Agricultural Practice (GAP), GAP vegetables

บทคัดย่อ

การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับของครัวเรือนเกษตรกรผู้ผลิตผักด้วยมาตรฐานการรับรองตามการผลิตทางการเกษตรที่เหมาะสม (GAP) ในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองทางเลือกตามลำดับ ครัวเรือนเกษตรกรตัวอย่างถูกสุ่มแบบหลายขั้นตอน ซึ่งข้อมูลถูกเก็บรวบรวมโดยการสัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถามจากครัวเรือนเกษตรกรผู้ผลิตผัก GAP จำนวน 383 ครัวเรือนในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน และลำปาง ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นในความน่าจะเป็นของเกษตรกรต่อการยอมรับการปฏิบัติการผลิตผักตามมาตรฐาน GAP ระดับมาก ประกอบด้วย การสนับสนุนการใช้เงินทุนตนเองและการกู้ยืมเงินในการผลิตผัก GAP ความหลากหลายของชนิดผัก GAP ราคาที่เหมาะสม ความรู้ที่ได้รับจากหน่วยงานเอกชนด้านความปลอดภัยอาหารของผัก GAP และการเป็นสมาชิกธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร กลุ่มเกษตรกรกลุ่มวิสาหกิจ และกลุ่มอื่นๆ และการมีทัศนคติที่ดีต่อการผลิตผักตามมาตรฐานฯ ขณะที่การลดลงของความน่าจะเป็นของเกษตรกรต่อการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากพบว่าเกี่ยวข้องกับอายุ ระดับการศึกษา ความสดใหม่ของผลผลิตผักฯ ความรู้ที่ได้รับจากหน่วยงานรัฐบาลด้านความปลอดภัยอาหารของผัก GAP การเป็นสมาชิกกองทุนหมู่บ้าน และระดับความพอใจของเกษตรกรกับการเข้าร่วมอบรมมาตรฐานฯ อย่างไรก็ตามยังคงมีความพยายามที่ต้องส่งเสริมการพัฒนาและการเติบโตของ

การผลิตผัก GAP ให้เกิดการขยายอย่างกว้างขวางเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาด

คำสำคัญ: การยอมรับ การผลิตตามระบบเกษตรที่เหมาะสม ผัก GAP

คำนำ

ประเทศไทยได้รับเอกราชแปดปีแล้วแต่ความก้าวหน้า 50 ปี ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มผลผลิตด้วยการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีทางการเกษตร จนนำมาสู่การนำเข้าสารเคมีทางการเกษตรและปุ๋ยเคมีเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548-2560 โดยเฉพาะสารกำจัดวัชพืช สารกำจัดแมลงศัตรูพืช และสารกำจัดเชื้อรา ที่มีอัตราการนำเข้าเฉลี่ยร้อยละ 34.75, 19.22 และ 5.44 ต่อปี ตามลำดับ เช่นเดียวกับการนำเข้าปุ๋ยเคมีในอัตราที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.58 ต่อปี โดยเฉพาะปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยนำเข้าปุ๋ยเคมีถึง 5.82 ล้านตัน (Office of Agricultural Economics, 2017) ส่งผลให้เกิดการตรวจพบสารพิษตกค้างเกินค่ามาตรฐานมากที่สุดในผลผลิตผัก เนื่องจากผักเป็นพืชที่มีความเสี่ยงด้านการปนเปื้อนสารเคมีสูง จากพฤติกรรมการผลิตผักของเกษตรกรที่ใช้เวลาสั้นและให้ผลตอบแทนเร็ว และการบริโภคของผู้บริโภคที่มีความต้องการอย่างต่อเนื่องตลอดปี (Kramol et al., 2010) โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2561 มูลค่าการส่งออกผักสด แช่เย็น แช่แข็ง ผักแห้ง และผักอื่นๆ ไปยังตลาดโลกมีมูลค่าเฉลี่ยต่อปี 8,063.63 ล้านบาท คิดเป็นอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 7.63 ต่อปี (Ministry of Commerce, 2018) อย่างไรก็ตามหาก

ผลผลิตของไทยมีความเสี่ยงการปนเปื้อนสารเคมีตกค้างเพียงเพื่อให้ผลผลิตอยู่ได้นาน ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเสียโอกาสทางการตลาดส่งออกหลักอย่างสหภาพยุโรป ซึ่งเป็นตลาดนำเข้าผลผลิตผักสดที่มีศักยภาพของไทย อีกทั้งผู้บริโภคในสหภาพยุโรปมีกำลังซื้อที่สูง ทำให้สหภาพยุโรปเป็นตลาดผักที่ไทยต้องพยายามรักษาส่วนแบ่งทางการตลาดไว้ ขณะที่มูลค่าการส่งออกผลผลิตผักสดไปสหภาพยุโรปนั้นมีความผันผวนจากสถิติการส่งออกผลผลิตผักสดมีอัตราการขยายตัวเฉลี่ยลดลงร้อยละ 20.01 ต่อปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551-2560 (The Customs Department, 2018) เนื่องจากสหภาพยุโรปขึ้นชื่อว่าเป็นต้นตำรับของการรักษามาตรการด้านสุขอนามัย คือ การตรวจสอบสารตกค้างที่จะต้องไม่มีสารเคมีหลงเหลืออยู่ในผัก ไม่ว่าจะเป็นยาฆ่าแมลง ปุ๋ย หรือสารเคมีเจือปนอื่นๆ และการตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ว่าจะต้องไม่มีเชื้อโรคเจือปน เช่น เชื้อซัลโมเนลลา และเชื้ออีโคไล อีกด้านหนึ่ง คือ ด้านสุขอนามัยพืชที่ต้องตรวจสอบว่าผักผลไม้ไม่ต้องปราศจากศัตรูพืช หากผลผลิตผักของไทยพบปัญหาสุขอนามัย และสุขอนามัยพืชจากการสุ่มตรวจก็จะถูกห้ามนำเข้า หรือบางกรณีถูกทำลายทิ้งและมีการประกาศแจ้งเตือนในระบบเตือนภัยที่เชื่อมโยงกันระหว่างประเทศสมาชิก EU ทั้งหมด 27 ประเทศ

ความท้าทายด้านผลผลิตผักสดของไทยให้ปลอดจากปัญหาสุขอนามัยและสุขอนามัยพืช จึงเป็นการสร้างโอกาสทางการตลาดทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งการผลิต การแปรรูป และการตลาดต้องหันกลับมาให้ความสำคัญกับระบบการผลิตที่คำนึงถึงความปลอดภัย จึงนำมาสู่การจัดทำมาตรฐานการรับรองตามระบบการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีที่เหมาะสม (Good Agricultural Practice; GAP) เพื่อการผลิตผลผลิตที่มีคุณภาพ ปลอดภัย ซึ่งเป็นแนวทางการทำการเกษตรเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีตรงตามมาตรฐานที่กำหนดโดยพิจารณาตั้งแต่พื้นที่การปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังเก็บเกี่ยว รวมถึงการจดบันทึกทุกขั้นตอนสำหรับการตรวจสอบย้อนกลับ เพื่อให้ได้

ผลผลิตสูงคุ้มค่าการลงทุน และขบวนการผลิตต้องปลอดภัยต่อเกษตรกรและผู้บริโภค มีการใช้ทรัพยากรที่เกิดประโยชน์สูงสุด เกิดความยั่งยืนทางการเกษตร และไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งหลักการนี้ได้รับการกำหนดโดยองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations; FAOs) ประกอบกับการพัฒนาเกษตรกรเข้าสู่ระบบการรับรองมาตรฐาน GAP เป็นนโยบายสำคัญของรัฐบาลด้านการสร้างมาตรฐานความปลอดภัย และคุณภาพสินค้าเกษตรเพื่อให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคมีความปลอดภัย และเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในตลาดโลกที่สามารถผลิตสินค้าที่มีความสอดคล้องกับความต้องการ นอกจากนี้การผลิตตามมาตรฐาน GAP ยังช่วยลดต้นทุนการผลิต โดยการป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องและมีความปลอดภัยต่อเกษตรกรนำมาสู่การผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสร้างความยั่งยืนทางการเกษตร (Praphaitakoon, 2016)

ดังนั้นงานวิจัยจึงต้องการมุ่งวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับมาตรฐานการรับรองตามการผลิตทางการเกษตรที่ดีที่เหมาะสม (GAP) เพื่อต้องการให้เกิดการยอมรับและสนใจให้มีการผลิตผักตามมาตรฐาน GAP รวมทั้งต้องการปรับเปลี่ยนให้เกษตรกรผู้ผลิตผักที่มีการใช้สารเคมีอย่างเข้มข้นเข้าสู่ระบบมาตรฐานความปลอดภัย ซึ่งทำให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพมาตรฐานผลผลิตผักให้เป็นสินค้าเกษตรที่มีมาตรฐาน ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มโอกาสทางการตลาด พร้อมกันนั้นยังช่วยพัฒนาการผลิตของเกษตรกรให้เกิดความยั่งยืนเพื่อเป็นจุดเริ่มต้นของการลดการใช้สารเคมี อันนำมาสู่การผลิตผักแบบเกษตรอินทรีย์ได้ในอนาคต อีกทั้งช่วยขับเคลื่อนให้มีการออกนโยบายกฎหมาย และมาตรฐานที่จะทำให้ระบบเกษตรและอาหารของประเทศคำนึงถึงสุขภาพและสิ่งแวดล้อม และสามารถเข้าถึงอาหารได้อย่างเพียงพอและปลอดภัย โดยได้คัดเลือกจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน และลำปาง เป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากมีพื้นที่และจำนวนเกษตรกร

ที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน GAP มากที่สุด 4 อันดับของภาคเหนือตอนบน โดยทั้ง 4 จังหวัด มีพื้นที่ที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐานฯ ถึง 308,112.31 ไร่ จากพื้นที่ทั้งหมดของภาคเหนือตอนบน 373,570.64 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 82.48 ของพื้นที่ที่ได้รับการรับรอง และจำนวนเกษตรกร 50,110 คน จาก 61,092 คน คิดเป็นร้อยละ 82.02 ของจำนวนเกษตรกรที่ได้รับการรับรอง (Department of Agriculture, 2017)

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง ดำเนินการเก็บรวบรวมด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage sampling) โดยคัดเลือกจากจังหวัด อำเภอบ้านดง ตำบล หมู่บ้าน ลงสู่ครัวเรือนเกษตรกรผู้ผลิตผัก จากข้อมูลสถิติที่ได้รับการจดทะเบียนตามมาตรฐานการรับรองเกษตรดีที่เหมาะสมของกรมวิชาการเกษตร ปี พ.ศ. 2560 ในเขตภาคเหนือตอนบนที่มีพื้นที่และจำนวนเกษตรกรมากที่สุด 4 อันดับ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน และลำปาง ได้จำนวนครัวเรือนเกษตรกรตัวอย่าง 138, 50, 95 และ 100 ครัวเรือน ตามลำดับ จากการคำนวณขนาดตัวอย่างกรณีข้อมูลที่สนใจศึกษาเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ซึ่งมีค่าปกติมาตรฐาน Z ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าร้อยละ 5 และค่าความแปรปรวนของประชากรร้อยละ 10 (Vanichbuncha, 2017) รวมจำนวนครัวเรือนตัวอย่าง 383 ครัวเรือน สำหรับการปลูกผัก GAP จำนวน 5 กลุ่ม ที่มีศักยภาพในการส่งออกไปยังกลุ่มประเทศ EU และถูกตรวจพบสารเคมีปริมาณตกค้างระดับสูงสุดที่กำหนดไว้ (Maximum Residue Limits; MRLs) ได้แก่ กลุ่มที่ 1) กะเพรา โหระพา แมงลัก และยี่ห่วย กลุ่มที่ 2) พริกหยวก พริกชี้ฟ้า และพริกขี้หนู กลุ่มที่ 3) มะเขือเปราะ มะเขือยาว มะเขือม่วง มะเขือเหลือง มะเขือขาว และมะเขือขื่น กลุ่มที่ 4) มะระจีน และมะระขี้นก และกลุ่มที่ 5) ผักชีฝรั่ง ถั่วฝักยาว และผักตระกูลกะหล่ำ (Pornsiripratharn, 2011)

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล มีการวางแผนการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1) ข้อมูลปฐมภูมิ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามด้วยวิธีการสัมภาษณ์ครัวเรือนเกษตรกรผู้ผลิตผักตามมาตรฐาน GAP ด้วยแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป ข้อมูลการจัดการด้านการผลิตและการตลาดผัก GAP ข้อมูลด้านเศรษฐกิจ สังคม และข้อมูลการช่วยเหลือจากหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนของครัวเรือนเกษตรกร

2) ข้อมูลทุติยภูมิ ดำเนินการรวบรวมข้อมูลจากการติดต่อ ประสานงาน และรวบรวมเอกสารต่างๆ เช่น เอกสารของหน่วยงานราชการ รายงานการวิจัย บทความ และเว็บไซต์การผลิตและการตลาด ที่เกี่ยวกับการรับรองตามมาตรฐาน GAP

3) สถานที่เก็บข้อมูล ได้แก่ แหล่งผลิตผักของครัวเรือนเกษตรกรที่ได้รับมาตรฐาน GAP ในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน และลำปาง

4) ระยะเวลาดำเนินการวิจัย 1 ตุลาคม พ.ศ. 2558–30 กันยายน พ.ศ. 2560

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับมาตรฐานการรับรองตามการผลิตทางการเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ด้วยแบบจำลองทางเลือกตามลำดับ (Order-response Model) ที่ตัวแปรตามถูกสร้างขึ้นในลักษณะการถดถอยแฝงในลักษณะการเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มแบบเรียงลำดับที่มีหลายค่ามากกว่า 2 กลุ่ม (Polychotomous) (Damisa and Yohanna, 2007) โดยเป็นแบบจำลองที่ได้รับความนิยมสำหรับการศึกษาในทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าแบบจำลอง Ordered logit (Maneejuk, 2018) เนื่องจากตัวแปรทางเศรษฐกิจส่วนใหญ่มีการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนเป็นแบบปกติ และแบบจำลองถูกประมาณค่าโดยวิธีค่าความน่าจะเป็นสูงสุด ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ตัวแปรตามลักษณะตัวแปรเชิงคุณภาพชนิด Ordinal scale ที่มีค่าลักษณะของการเรียงลำดับ (Asteriou and Hall, 2007) แสดงแบบจำลองตาม Damisa and Yohanna (2007)

$$\begin{aligned} Y_i^* &= \beta X_i + \varepsilon_i \\ Y_i^* &= 0 \text{ if } Y_i^* \leq 0 \\ &= 1 \text{ if } 0 < Y_i^* \leq \gamma_1 \\ &= 2 \text{ if } Y_i^* > \gamma_1 \end{aligned} \quad \text{หรือ}$$

$$\begin{aligned} \text{prob}(Y = 0) &= P(Y_i^* \leq 0) = P(\beta X + \varepsilon_i \leq 0) = \Phi(-\beta X) \\ \text{prob}(Y = 1) &= \Phi(\delta_1 - \beta X) - \Phi(-\beta X) \\ \text{prob}(Y = 2) &= 1 - \Phi(\delta_1 - \beta X) \end{aligned}$$

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวแล้ว ต้องทำการแปลงค่าสัมประสิทธิ์เหล่านั้นให้อยู่ในรูปผลกระทบส่วนเพิ่ม (Marginal effect) โดยคำนวณได้จาก

$$\frac{d\text{prob}[Y_k]}{dX_k} = [\Phi(\delta_{k-1} - \beta'X_k) - \Phi(\delta_k - \beta'X_k)]\beta$$

กำหนดให้ $\text{prob}[Y_k]$ คือ โอกาสที่เหตุการณ์จะเกิดขึ้น ค่าพารามิเตอร์ Threshold และ X_k คือ ตัวแปรอิสระลำดับที่ k โดยค่าผลกระทบส่วนเพิ่มสะท้อนถึงผลกระทบเมื่อมีตัวแปรอิสระ (X_i) เติงปริมาณเปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วยจากค่าเฉลี่ย หรือตัวแปรหุ่นเปลี่ยนแปลงไปจาก 0 เป็น 1 จะมีผลต่อความน่าจะเป็นค่าคะแนนเฉลี่ยของระดับการยอมรับการปฏิบัติตามข้อกำหนดมาตรฐาน GAP (Y_i^*)

Y_i^* คือ ตัวแปรแฝงที่ไม่สามารถสังเกตได้ โดยจะกำหนดให้เป็นตัวแปรหุ่นที่สามารถเห็นค่าได้ ซึ่งสะท้อนออกมาเป็นความน่าจะเป็นค่าคะแนนเฉลี่ยของระดับการยอมรับการปฏิบัติการผลิตผักตามข้อกำหนดมาตรฐาน GAP ของเกษตรกรตามสำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ และแบบบันทึกการตรวจประเมินแหล่งผลิตพืชตามมาตรฐานระบบการจัดการคุณภาพ GAP พืช ของกรมวิชาการเกษตร ซึ่งถูกคำนวณโดยวิธีการ Likert scale นำมาสู่การกำหนดคะแนนขั้นต่ำไว้ที่ 0 (นั่นคือให้ $Y_i^* \leq 0$) โดยแบ่งระดับการยอมรับการผลิตผักออกเป็นยอมรับน้อย ปานกลาง และมาก ด้วยค่าคะแนนระหว่าง 0.00-0.66, 0.67-1.33 และ 1.34-2.00 คะแนน ตามลำดับ

$\beta_0, \dots, \beta_m$ คือ ค่าพารามิเตอร์

$X_1, \dots, X_m$ คือ ตัวแปรอิสระ แสดงถึงปัจจัย

ที่มีผลต่อการยอมรับการผลิตผักตามมาตรฐาน GAP แบ่งออกเป็นปัจจัยพื้นฐาน 4 ตัวแปร (X_1 - X_4) ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ 22 ตัวแปร (X_5 - X_{26}) และปัจจัยด้านสังคม 11 ตัวแปร (X_{27} - X_{37}) รวม 37 ตัวแปร การพิจารณาตัวแปรอิสระที่จะนำมาสร้างในแบบจำลองนั้น วิเคราะห์จากงานของ Qiu *et al.* (2017) เกี่ยวกับการวัดการพัฒนามนุษย์ โดยอาศัยตัวชี้วัด Human Development Index ของ UNDP ทางด้านเพศ อายุ ระดับการศึกษา ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐาน และปัจจัยด้านเศรษฐกิจวัดจากอำนาจซื้อโดยสะท้อนจากรายได้ประชาชาติต่อหัว รวมถึงปัจจัยทางส่วนประสมทางการตลาด 4P (Serirat, 2003) ทำนองเดียวกับงานของ Amerioun *et al.* (2018) ได้วัดประสิทธิผลของลูกจ้างต่อปัญหาการบริการโรงพยาบาลทหาร ซึ่งได้กำหนดเป็นปัจจัยด้านคุณลักษณะทางสังคมของลูกจ้าง สอดคล้องกับลักษณะประชากรศาสตร์ของผู้ซื้อสินค้าเกษตรอินทรีย์ (Panplum, 2016) เป็นปัจจัยที่นำมากำหนดตัวแปรอิสระ

ผลการวิจัย

ค่าสถิติพื้นฐานของตัวแปรอิสระที่เป็นค่าต่อเนื่อง และค่า Likert scale ของระดับความพึงพอใจต่างๆ รวมถึงพื้นที่ปลูกผัก GAP และผลผลิตเฉลี่ยของผัก GAP แสดงถึงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนใหญ่ตัวแปรอิสระดังกล่าวมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแตกต่างจากค่าเฉลี่ยเพียงเล็กน้อย ยกเว้นรายได้สุทธิการผลิตผัก GAP และผลผลิตเฉลี่ย มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมาก เนื่องจากระดับราคาของผัก GAP แต่ละชนิด และการปฏิบัติการผลิตผักตามมาตรฐาน GAP ของเกษตรกรมีความแตกต่างกัน ส่งผลให้รายได้แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (Table 1)

Table 1 Descriptive statistic values of independent variables

Independent variables	Mean	Std.	Meaning
Age (X_2)	56.80	9.77	
Experience of GAP vegetable production (X_4)	10.40	9.44	
Proportion of owner capital for GAP vegetable production (X_5)	81.58	24.77	
Proportion of loan for GAP vegetable production (X_6)	17.38	23.24	
Net income for GAP vegetable production (X_7)	4,001.55	89,373.42	
Satisfaction levels for safety of GAP vegetable consumption (X_9)	4.46	0.69	Most
Satisfaction levels for detail notification and certification on packages (X_{10})	4.31	0.75	Most
Satisfaction levels for attraction of packages (X_{11})	4.13	0.74	More
Satisfaction levels for variety of the kind of GAP vegetables (X_{12})	3.91	0.92	More
Satisfaction levels for adequacy of the quantity of GAP vegetables (X_{13})	3.70	0.79	More
Satisfaction levels for regularity of the product of GAP vegetables (X_{14})	3.86	0.83	More
Satisfaction levels for freshness of the product of GAP vegetables (X_{15})	4.31	0.71	Most
Satisfaction levels for suitability of the price of GAP vegetables (X_{16})	3.96	0.81	More
Satisfaction levels for suitability of the quality of GAP vegetables (X_{17})	4.09	0.80	More

Table 1 (Continued)

Independent variables	Mean	Std.	Meaning
Satisfaction levels for variety of the markets of GAP vegetables (X_{18})	3.70	0.89	More
Satisfaction levels for the market of GAP vegetables to show clearly sign (X_{19})	3.72	0.97	More
Satisfaction levels for advertise of the markets of GAP vegetables (X_{20})	3.54	1.08	More
Satisfaction levels for cleanness and convenience of the markets (X_{21})	4.07	0.78	More
Satisfaction levels for adequacy of the markets (X_{22})	3.82	0.85	More
Satisfaction levels for discounting, changing, distributing, adding, or testing of promotion strategy of the product of GAP vegetables (X_{23})	3.09	1.04	More
Satisfaction levels for distance to the markets (X_{24})	3.76	0.86	More
Satisfaction levels for the knowledge provided by government agencies on food safety property of GAP vegetables (X_{25})	4.04	0.86	More
Satisfaction levels for the knowledge provided by private agencies on food safety property of GAP vegetables (X_{26})	3.72	0.99	More
Satisfaction levels for training in GAP vegetable production (X_{37})	4.19	1.17	More
Attitudes of GAP vegetable production (X_{28})	1.75	0.20	Agree
Knowledge levels of GAP vegetable production (X_{27})	78.52	7.81	
Area of GAP vegetable production (household/rai)	0.77	1.10	
Average of GAP vegetable products (kg/rai)	879.24	1,869.23	

นำตัวแปรอิสระทั้ง 3 กลุ่ม และตัวแปรตามที่ได้ อธิบายข้างต้น มาวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางเลือก ตามลำดับ เพื่อต้องการทราบว่าปัจจัยใดมีผลต่อระดับ การยอมรับการปฏิบัติการผลิตผักตามมาตรฐาน GAP โดยมีความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง คือ ค่า Log likelihood เท่ากับ -67.353814 ค่า Likelihood ratio (LR) Chi-square เท่ากับ 193.76 และค่าความถูกต้อง ของการพยากรณ์ในแบบจำลอง (Pseudo R-square) เท่ากับร้อยละ 58.99 แสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระ สามารถอธิบายตัวแปรตามได้ ร้อยละ 58.99 โดยตัวแปร อิสระที่มีอิทธิพลต่อระดับการยอมรับของการปฏิบัติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จำนวน 9 ตัวแปร ได้แก่ X_2 , X_3 , X_5 , X_6 , X_{12} , X_{15} , X_{30} , X_{34} และ X_{37} นอกจากนี้ยังมีตัวแปรอิสระ อื่นที่มีอิทธิพลต่อระดับการยอมรับของการปฏิบัติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จำนวน 1 ตัวแปร ได้แก่ X_{33} และ ระดับนัยสำคัญ 0.10 จำนวน 6 ตัวแปร ได้แก่ X_{16} , X_{25} , X_{26} , X_{28} , X_{31} และ X_{36} (Table 2) โดยตัวแปรอิสระที่มี นัยสำคัญทางสถิติแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ตัวแปร อิสระที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อโอกาสการยอมรับ การปฏิบัติ และกลุ่มที่ 2 ตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์ เชิงลบต่อโอกาสการยอมรับการปฏิบัติ อธิบายได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อ โอกาสการยอมรับการปฏิบัติ

1) สัดส่วนการใช้เงินทุนตนเองในการผลิตผัก GAP (X_5) และสัดส่วนการใช้เงินทุนกู้ยืมในการผลิตผัก GAP (X_6) เครื่องหมายและค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ของตัวแปร ทั้งสอง มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อโอกาสการยอมรับการ ปฏิบัติ กล่าวคือ เมื่อสัดส่วนการใช้เงินทุนตนเอง และ เงินทุนกู้ยืมในการผลิตผัก GAP เพิ่มขึ้นจะมีโอกาสการ ยอมรับการปฏิบัติ ระดับมากในทิศทางที่เพิ่มขึ้น

2) ระดับคะแนนความพอใจความหลากหลาย ของชนิดผัก GAP (X_{12}) และความเหมาะสมของราคาผัก GAP (X_{16}) เครื่องหมายและค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ของตัวแปร

ทั้งสอง มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อโอกาสการยอมรับ การปฏิบัติ กล่าวคือ เมื่อเกษตรกรมีระดับคะแนนความ พพอใจความหลากหลายของชนิดผัก GAP และความพอใจ ความเหมาะสมของราคาผัก GAP สูงขึ้นจะมีโอกาสการ ยอมรับการปฏิบัติ ระดับมากในทิศทางที่เพิ่มขึ้น

3) ระดับคะแนนความพอใจความรู้ที่ได้รับจาก หน่วยงานเอกชนด้านความปลอดภัยอาหารของผัก GAP (X_{26}) เครื่องหมายและค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ของตัวแปรนี้ มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อโอกาสการยอมรับการปฏิบัติ กล่าวคือ เมื่อเกษตรกรมีระดับคะแนนความพอใจความรู้ ที่ได้รับจากหน่วยงานเอกชนด้านความปลอดภัยอาหาร ของผัก GAP มากขึ้นจะมีโอกาสการยอมรับการปฏิบัติ ระดับมากในทิศทางที่เพิ่มขึ้น

4) ทัศนคติที่มีต่อการผลิตผัก GAP (X_{28}) การ เป็นสมาชิกธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (X_{30}) การเป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกร (X_{31}) การเป็นสมาชิก กลุ่มวิสาหกิจชุมชน (X_{33}) และการเป็นสมาชิกกลุ่มอื่นๆ (X_{36}) เครื่องหมายและค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ของตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อโอกาสการยอมรับการ ปฏิบัติ กล่าวคือ เมื่อเกษตรกรมีทัศนคติที่ดีต่อการผลิต ผัก GAP และเกษตรกรเป็นสมาชิกธนาคารเพื่อการเกษตร และสหกรณ์การเกษตร กลุ่มเกษตรกร กลุ่มวิสาหกิจ ชุมชน รวมถึงการเป็นสมาชิกกลุ่มอื่นๆ มากขึ้น จะมี โอกาสการยอมรับการปฏิบัติ ระดับมากในทิศทาง ที่เพิ่มขึ้น

กลุ่มที่ 2 ตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์เชิงลบต่อ โอกาสการยอมรับการปฏิบัติ

1) อายุ (X_2) เครื่องหมายและค่าสัมประสิทธิ์ ที่ได้ของอายุมีความสัมพันธ์เชิงลบต่อโอกาสการยอมรับการ ปฏิบัติ กล่าวคือ เมื่อเกษตรกรมีอายุมากขึ้นจะมีโอกาส การยอมรับการปฏิบัติ ระดับมากในทิศทางที่ลดลง

2) ระดับการศึกษา (X_3) เครื่องหมายและค่า สัมประสิทธิ์ที่ได้ของระดับการศึกษามีความสัมพันธ์เชิงลบ

ต่อโอกาสการยอมรับการปฏิบัติฯ กล่าวคือ เมื่อเกษตรกรมีระดับการศึกษาสูงขึ้นจะมีโอกาสการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากในทิศทางที่ลดลง

3) ระดับคะแนนความพอใจความสดใหม่ของผลผลิตผัก GAP (X_{15}) และความรู้ที่ได้รับจากหน่วยงานรัฐด้านความปลอดภัยอาหารของผัก GAP (X_{25}) เครื่องหมายและค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ของตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงลบต่อโอกาสการยอมรับการปฏิบัติฯ กล่าวคือ เมื่อระดับคะแนนความพอใจความสดใหม่ของผลผลิตผัก GAP และความรู้ที่ได้รับจากหน่วยงานรัฐด้านความปลอดภัยอาหารของผัก GAP เพิ่มขึ้นจะมีโอกาสการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากในทิศทางที่ลดลง

4) การเป็นสมาชิกกองทุนหมู่บ้าน (X_{34}) เครื่องหมายและค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ของตัวแปรนี้มีความสัมพันธ์เชิงลบต่อโอกาสการยอมรับการปฏิบัติฯ กล่าวคือ เมื่อเกษตรกรเป็นสมาชิกกองทุนหมู่บ้านมากขึ้นจะมีโอกาสการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากในทิศทางที่ลดลง

5) ระดับคะแนนความพึงพอใจของการเข้ารับการอบรมความรู้มาตรฐาน GAP (X_{37}) เครื่องหมายและค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ของตัวแปรนี้มีความสัมพันธ์เชิงลบต่อโอกาสการยอมรับการปฏิบัติฯ กล่าวคือ เมื่อเกษตรกรมีระดับคะแนนความพึงพอใจของการเข้ารับการอบรมความรู้มาตรฐาน GAP มากขึ้นจะมีโอกาสการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากในทิศทางที่ลดลง

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าผลกระทบ (Marginal effect) ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระต่อความน่าจะเป็นของค่าคะแนนเฉลี่ยของระดับการยอมรับการปฏิบัติการผลิตผักตามข้อกำหนดมาตรฐาน GAP ของเกษตรกร ซึ่งรายละเอียดการอธิบายนำเสนอเป็นกลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 การยอมรับการปฏิบัติฯ ของเกษตรกรระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับเพิ่มขึ้น และการยอมรับการปฏิบัติฯ ของเกษตรกรระดับน้อย และปานกลาง มีแนวโน้มการยอมรับลดลง และกลุ่มที่ 2 การยอมรับการปฏิบัติฯ ของเกษตรกรระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับลดลง และการ

ยอมรับการปฏิบัติฯ ของเกษตรกรระดับน้อย และปานกลางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

กลุ่มที่ 1 การยอมรับการปฏิบัติฯ ของเกษตรกรระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับเพิ่มขึ้น และการยอมรับการปฏิบัติฯ ของเกษตรกรระดับน้อย และปานกลางมีแนวโน้มการยอมรับลดลง

1) ค่าสัมประสิทธิ์ของสัดส่วนการใช้เงินทุนตนเองในการผลิตผัก GAP (X_5) และสัดส่วนการใช้เงินทุนกู้ยืมในการผลิตผัก GAP (X_6) มีเครื่องหมายเป็นบวก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แสดงว่า หากเกษตรกรมีสัดส่วนการใช้เงินทุนทั้งสองแหล่งมากขึ้น จะมีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกษตรกรมีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.02147 และ 0.02178 ตามลำดับ ส่วนเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับน้อยมีแนวโน้มการยอมรับลดลงร้อยละ 1.81×10^{-9} และ 1.84×10^{-9} ตามลำดับ และเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับปานกลางมีแนวโน้มการยอมรับลดลงร้อยละ 0.02147 และ 0.02178 ตามลำดับ เนื่องจากเกษตรกรต้องการให้ผลผลิตได้มาตรฐานปราศจากสารเคมีตกค้าง และมีความปลอดภัยต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค จึงมีความต้องการที่จะใช้เงินทุนตนเองและเงินกู้ยืมดำเนินการผลิตผัก GAP เพิ่มขึ้น เพื่อสร้างโอกาสการแข่งขันทางการตลาด

2) ค่าสัมประสิทธิ์ของระดับคะแนนความพอใจความหลากหลายของชนิดผัก GAP (X_{12}) และความพอใจความเหมาะสมของราคาผัก GAP (X_{16}) มีเครื่องหมายเป็นบวก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และ 90 ตามลำดับ แสดงว่า หากเกษตรกรมีระดับคะแนนความพอใจทั้งสองตัวแปรมากขึ้น จะมีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกษตรกรมีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.30048 และ 0.25587 ตามลำดับ ส่วนเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับน้อยมีแนวโน้มการยอมรับลดลงร้อยละ 2.54×10^{-8} และ 2.16×10^{-8} ตามลำดับ และเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับปานกลางมีแนวโน้มการยอมรับลดลง

ร้อยละ 0.30048 และ 0.25587 ตามลำดับ เนื่องจากการผลิตผัก GAP ที่มีหลากหลายชนิด และราคาผัก GAP มีความเหมาะสม ย่อมดึงดูดความสนใจแก่ผู้บริโภคให้หันมาซื้อผัก GAP ที่มีความหลากหลายปราศจากการปนเปื้อนสารเคมีตกค้าง และสอดคล้องกับความต้องการของตลาด

3) ค่าสัมประสิทธิ์ของระดับคะแนนความพอใจความรู้ที่ได้รับจากหน่วยงานเอกชนด้านความปลอดภัยอาหารของผัก GAP (X_{26}) มีเครื่องหมายเป็นบวก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 แสดงว่า หากเกษตรกรมีระดับคะแนนความพอใจด้านนี้มากขึ้น จะมีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกษตรกรมีการยอมรับการปฏิบัติ ระดับมากมีแนวโน้มมากขึ้น ร้อยละ 0.13149 ส่วนเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติ ระดับน้อย และปานกลางมีแนวโน้มการยอมรับลดลงร้อยละ 1.11×10^{-8} และ 0.13149 ตามลำดับ จากการที่ภาคเอกชนมีการเข้าถึงการให้ความรู้ฯ ให้กับเกษตรกรอย่างรวดเร็วตรงกับความต้องการ และสามารถนำมาปฏิบัติได้อย่างชัดเจนและมีประสิทธิภาพ

4) ค่าสัมประสิทธิ์ของการเป็นสมาชิกธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (X_{30}) และการเป็นสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน (X_{33}) มีเครื่องหมายเป็นบวก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และ 95 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ของทัศนคติที่มีต่อการผลิตผัก GAP (X_{28}) การเป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกร (X_{31}) และการเป็นสมาชิกกลุ่มอื่นๆ (X_{36}) มีเครื่องหมายเป็นบวก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 แสดงว่าหากเกษตรกรมีทัศนคติ ที่ดีต่อการผลิตผัก GAP และเกษตรกรเป็นสมาชิกธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร กลุ่มเกษตรกร กลุ่มวิสาหกิจชุมชน รวมถึงการเป็นสมาชิกกลุ่มอื่นๆ มากขึ้น จะมีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกษตรกรมีการยอมรับการปฏิบัติ ระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.64279, 0.62004, 0.20177, 0.54174 และ 0.13060 ตามลำดับ ส่วนเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติ ระดับน้อยมีแนวโน้มการยอมรับลดลงร้อยละ 5.42×10^{-8} , 1.59×10^{-7} , 1.63×10^{-8} , 4.57×10^{-8} และ

6.04×10^{-9} ตามลำดับ และเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติ ระดับปานกลางมีแนวโน้มการยอมรับลดลง ร้อยละ 0.64279, 0.62004, 0.20177, 0.54174 และ 0.13060 ตามลำดับ ด้วยเหตุผลว่าการเป็นสมาชิกของหน่วยงานดังกล่าวนี้เข้าถึงแหล่งข้อมูลข่าวสารอย่างกว้างขวางและสามารถปฏิบัติได้ สร้างโอกาสการได้รับความรู้การผลิตผัก GAP ให้แก่เกษตรกรอย่างทั่วถึง ส่งผลทำให้เกิดทัศนคติที่ดีในการผลิตผัก GAP นำมาสู่การผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ได้มาตรฐาน และผลผลิตมีความปลอดภัยปราศจากสารเคมีตกค้างสอดคล้องกับความต้องการของตลาด

กลุ่มที่ 2 การยอมรับการปฏิบัติ ของเกษตรกรระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับลดลง และการยอมรับการปฏิบัติ ของเกษตรกรระดับน้อย และปานกลางมีแนวโน้มการยอมรับมากขึ้น

1) ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอายุ (X_2) มีเครื่องหมายเป็นลบ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แสดงว่าหากเกษตรกรมีอายุมากขึ้น จะมีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกษตรกรมีการยอมรับการปฏิบัติ ระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับลดลง ร้อยละ 0.03323 ส่วนเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติ ระดับน้อย และปานกลาง เมื่ออายุเกษตรกรมากขึ้นความน่าจะเป็นการยอมรับการปฏิบัติ ของเกษตรกรทั้งสองระดับมีแนวโน้มการยอมรับเพิ่มขึ้น ร้อยละ 2.80×10^{-9} และ 0.03323 ตามลำดับ เนื่องจากเกษตรกรมีประสบการณ์การผลิตผัก GAP มาอย่างยาวนาน จึงไม่มีความมั่นใจเกี่ยวกับการมีตลาดรองรับผลผลิตผัก GAP ที่แน่นอนเมื่อเปรียบเทียบกับตลาดของผลผลิตเกษตรกรอินทรีย์ ส่งผลให้ราคาผลผลิตผัก GAP ไม่มีความแตกต่างกับผักทั่วไป ตรงข้ามกับเกษตรกรที่อายุน้อยต้องการความท้าทายและการเปลี่ยนแปลง จึงมีโอกาที่จะยอมรับการปฏิบัติ ระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับที่เพิ่มขึ้น

2) ค่าสัมประสิทธิ์ของระดับการศึกษา (X_3) มีเครื่องหมายเป็นลบ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แสดงว่า หากระดับการศึกษาของเกษตรกรสูงขึ้น จะมีผลต่อ

ความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกษตรกรมีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับลดลง ร้อยละ 0.32526 ส่วนเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับน้อย และปานกลาง เมื่อระดับการศึกษาของเกษตรกรสูงขึ้นความน่าจะเป็นการยอมรับการปฏิบัติฯ ของเกษตรกรทั้งสองระดับมีแนวโน้มการยอมรับเพิ่มขึ้น ร้อยละ 2.74×10^{-8} และ 0.32526 ตามลำดับ เนื่องจากเกษตรกรที่มีระดับการศึกษาสูงยอมรับว่ามาตรฐานเกษตรอินทรีย์มีมาตรฐานสูงกว่ามาตรฐาน GAP ทั้งในเรื่องความปลอดภัยต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค การมีตลาดรองรับที่แน่นอน ระดับราคาจำหน่ายสูง และมีความสอดคล้องกับความต้องการของตลาด

3) ค่าสัมประสิทธิ์ของระดับคะแนนความพอใจความสดใหม่ของผลผลิตผัก GAP (X_{15}) และความรู้ที่ได้รับจากหน่วยงานรัฐด้านความปลอดภัยอาหารของผัก GAP (X_{25}) มีเครื่องหมายเป็นลบ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และ 90 ตามลำดับ แสดงว่าหากเกษตรกรมีระดับคะแนนความพอใจทั้งสองด้านนี้มากขึ้น จะมีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกษตรกรมีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับลดลง ร้อยละ 0.39362 และ 0.15243 ตามลำดับ ส่วนเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับน้อยมีแนวโน้มมากขึ้นร้อยละ 3.32×10^{-8} และ 1.29×10^{-8} ตามลำดับ และเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับปานกลางมีแนวโน้มมากขึ้นร้อยละ 0.39362 และ 0.15243 ตามลำดับ เนื่องจากผลผลิตผักทั้ง GAP และไม่ใช่ GAP ไม่สามารถเก็บรักษาได้เมื่อเก็บเกี่ยวเสร็จต้องบริโภคหรือจำหน่ายทันทีทันใดเพื่อคงความสดใหม่ของผลผลิต และเกษตรกรรับรู้ว่ามีผลผลิตผัก GAP มีความปลอดภัยอยู่แล้วถึงแม้ว่าจะได้รับความรู้ความปลอดภัยของการบริโภคผัก GAP จากหน่วยงานภาครัฐ

4) ค่าสัมประสิทธิ์ของการเป็นสมาชิกกองทุนหมู่บ้าน (X_{34}) มีเครื่องหมายเป็นลบ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แสดงว่าหากเกษตรกรเป็นสมาชิกกองทุนหมู่บ้านเพิ่มขึ้น จะมีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกษตรกรมีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับลดลง ร้อยละ 1.64310 ส่วนเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับน้อยและปานกลาง เมื่อเป็นสมาชิกกองทุนหมู่บ้านมากขึ้นความน่าจะเป็นการยอมรับการปฏิบัติฯ ของเกษตรกร ทั้งสองระดับมีแนวโน้มการยอมรับเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.42×10^{-6} และ 1.64310 ตามลำดับ เนื่องจากกองทุนหมู่บ้านเป็นหน่วยงานขนาดเล็กที่มีการบริหารจัดการภายในหมู่บ้านอาจเกิดข้อจำกัดการเข้าถึงแหล่งข่าวสารข้อมูลด้านการผลิตและการตลาดผัก GAP

5) ค่าสัมประสิทธิ์ของระดับคะแนนความพึงพอใจของการเข้ารับการอบรมความรู้มาตรฐาน GAP (X_{37}) มีเครื่องหมายเป็นลบ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 แสดงว่าหากเกษตรกรมีระดับคะแนนความพึงพอใจด้านนี้เพิ่มขึ้น จะมีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกษตรกรมีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับลดลง ร้อยละ 0.22435 ส่วนเกษตรกรที่มีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับน้อย และปานกลาง เมื่อระดับคะแนนด้านนี้มากขึ้นความน่าจะเป็นการยอมรับการปฏิบัติฯ ของเกษตรกรทั้งสองระดับมีแนวโน้มการยอมรับเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.89×10^{-8} และ 0.22435 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรมีระดับความรู้ที่มากพอเพื่อการผลิตผัก GAP มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน จึงไม่ต้องการการอบรมเกี่ยวกับความรู้มาตรฐาน GAP เพิ่มเติมเนื่องจากเกษตรกรมีความเชื่อมั่นในการผลิตผักตามมาตรฐานดังกล่าวว่ามีความปลอดภัยปราศจากสารเคมีตกค้างจากประสบการณ์และความรู้ที่ตนเองสะสมมา

Table 2 Result for maximum likelihood estimate and marginal effect of ordered probit model

Independent variables	Maximum likelihood estimate			Marginal effects		
	Coefficient	S.E.	$P > z $	Y=1 (Low Acceptance: 0.00-0.66)	Y=2 (Medium Acceptance: 0.67-1.33)	Y=3 (High Acceptance: 1.34-2.00)
Sex (X_1)	-0.5151	0.3581	0.1500	1.73e-10	0.0020443	-0.0020443
Age (X_2)	-0.0837	0.0212	0.0000***	2.80e-11	0.0003323	-0.0003323
Education levels (X_3)	-0.8195	0.1806	0.0000***	2.74e-10	0.0032526	-0.0032526
Experience of GAP vegetable production (X_4)	0.0228	0.0181	0.2080	-7.62e-12	-0.0000903	0.0000903
Proportion of owner capital for GAP vegetable production (X_5)	0.0541	0.0202	0.0070***	-1.81e-11	-0.0002147	0.0002147
Proportion of loan for GAP vegetable production (X_6)	0.0549	0.0210	0.0090***	-1.84e-11	-0.0002178	0.0002178
Net income for GAP vegetable production (X_7)	0.0000	0.0000	0.7520	2.91e-16	0.0000000	0.0000000
Land holding (X_8)	0.1978	0.2903	0.4960	-6.63e-11	-0.0007851	0.0007851
Satisfaction levels for safety of GAP vegetable consumption (X_9)	0.4389	0.2805	0.1180	-1.47e-10	-0.0017419	0.0017419
Satisfaction levels for detail notification and certification on packages (X_{10})	-0.1728	0.3082	0.5750	5.79e-11	0.0006860	-0.0006860
Satisfaction levels for attraction of packages (X_{11})	0.3843	0.2351	0.1020	-1.29e-10	-0.0015254	0.0015254
Satisfaction levels for variety of the kind of GAP vegetables (X_{12})	0.7571	0.2637	0.0040***	-2.54e-10	-0.0030048	0.0030048
Satisfaction levels for adequacy of the quantity of GAP vegetables (X_{13})	0.0989	0.3008	0.7420	-3.31e-11	-0.0003925	0.0003925
Satisfaction levels for regularity of the product of GAP vegetables (X_{14})	-0.0419	0.1911	0.8260	1.40e-11	0.0001663	-0.0001663
Satisfaction levels for freshness of the product of GAP vegetables (X_{15})	-0.9917	0.2996	0.0010***	3.32e-10	0.0039362	-0.0039362
Satisfaction levels for suitability of the price of GAP vegetables (X_{16})	0.6447	0.3616	0.0750*	-2.16e-10	-0.0025587	0.0025587
Satisfaction levels for suitability of the quality of GAP vegetables (X_{17})	-0.2444	0.3863	0.5270	8.18e-11	0.0009699	-0.0009699
Satisfaction levels for variety of the markets of GAP vegetables (X_{18})	-0.1390	0.3459	0.6880	4.66e-11	0.0005518	-0.0005518
Satisfaction levels for the market of GAP vegetables to show clearly sign (X_{19})	-0.0266	0.2818	0.9250	8.89e-12	0.0001054	-0.0001054
Satisfaction levels for advertise of the markets of GAP vegetables (X_{20})	0.3602	0.2534	0.1550	-1.21e-10	-0.0014295	0.0014295
Satisfaction levels for cleanness and convenience of the markets (X_{21})	0.2989	0.2948	0.3110	-1.00e-10	-0.0011865	0.0011865
Satisfaction levels for adequacy of the markets (X_{22})	-0.1062	0.2729	0.6970	3.56e-11	0.0004216	-0.0004216
Satisfaction levels for discounting, changing, distributing, adding, or testing of promotion strategy of the product of GAP vegetables (X_{23})	-0.0887	0.1919	0.6440	2.97e-11	0.0003522	-0.0003522

Table 2 (continued)

Independent variables	Maximum likelihood estimate			Marginal effects		
	Coefficient	S.E.	P > z	Y=1 (Low Acceptance: 0.00-0.66)	Y=2 (Medium Acceptance: 0.67-1.33)	Y=3 (High Acceptance: 1.34-2.00)
Satisfaction levels for distance to the markets (X ₂₄)	0.1331	0.2273	0.5580	-4.46e-11	-0.0005282	0.0005282
Satisfaction levels for the knowledge provided by government agencies on food safety property of GAP vegetables (X ₂₅)	-0.3840	0.2265	0.0900*	1.29e-10	0.0015243	-0.0015243
Satisfaction levels for the knowledge provided by private agencies on food safety property of GAP vegetables (X ₂₆)	0.3313	0.1854	0.0740*	-1.11e-10	-0.0013149	0.0013149
Knowledge levels of GAP vegetable production (X ₂₇)	0.0242	0.0196	0.2180	-8.09e-12	-0.0000959	0.0000959
Attitudes of GAP vegetable production (X ₂₈)	1.6195	0.8650	0.0610*	-5.42e-10	-0.0064279	0.0064279
Member in agricultural cooperative (X ₂₉)	0.6429	0.4209	0.1270	-2.15e-10	-0.0025516	0.0025516
Member in Bank of Agriculture and Agricultural Cooperatives (X ₃₀)	1.1747	0.4180	0.0050***	-1.59e-09	-0.0062004	0.0062004
Member in farmer groups (X ₃₁)	0.8061	0.4419	0.0680*	-1.63e-10	-0.0020177	0.0020177
Member in reconstruction funds (X ₃₂)	1.1563	0.8521	0.1750	-1.14e-10	-0.0017710	0.0017710
Member in community enterprise (X ₃₃)	1.3649	0.6051	0.0240**	-4.57e-10	-0.0054174	0.0054174
Member in village fund (X ₃₄)	-1.1899	0.3808	0.0020***	1.42e-08	0.0164310	-0.0164310
Member in relation (X ₃₅)	0.3360	0.4860	0.4890	-1.13e-10	-0.0013338	0.0013338
Member in other groups (X ₃₆)	1.7641	0.9404	0.0610*	-6.04e-11	-0.0013060	0.0013060
Satisfaction levels for training in GAP vegetable production (X ₃₇)	-0.5652	0.2038	0.0060***	1.89e-10	0.0022435	-0.0022435

***, **, * A significant level of 0.01, 0.05, and 0.10, respectively

วิจารณ์ผลการวิจัย

ตัวแปรการรวมกลุ่มของเกษตรกร (X₃₀, X₃₁, X₃₃ และ X₃₆) เงินทุนเพื่อการผลิตผัก GAP (X₅ และ X₆) ความหลากหลายและความเหมาะสมของราคา (X₁₂ และ X₁₆) และความรู้ที่ได้รับจากหน่วยงานเอกชนด้านความปลอดภัยอาหารของผัก GAP และการมีทัศนคติที่ดีต่อการผลิตผัก GAP (X₂₆ และ X₂₈) ที่ส่งผลให้เกษตรกรมีการยอมรับการปฏิบัติ ะดับมากมีแนวโน้มการยอมรับเพิ่มขึ้น ดังนั้นหากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนต้องการกระตุ้นให้เกิดการปฏิบัติการผลิตผักตามมาตรฐาน GAP มากขึ้น ควรให้ความสำคัญกับการ

สนับสนุนด้านเงินทุนเพื่อให้มีการปฏิบัติการผลิตผัก GAP ที่มีความหลากหลายและมีระดับราคาที่เหมาะสมแก่ผู้ผลิตและผู้บริโภค ทำนองเดียวกับการศึกษาของ Al-Amin *et al.* (2020) ระบุว่าด้านการเงินของเกษตรกรมีผลต่อความเต็มใจจ่ายเพื่อการยอมรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ถูกวางแผนไว้ และภาคเอกชนควรมีบทบาทสำคัญในการให้ความรู้ด้านความปลอดภัยอาหารของผักฯ รวมถึงการส่งเสริมให้เกษตรกรเข้าเป็นสมาชิกของ ธ.ก.ส. กลุ่มเกษตรกร กลุ่มวิสาหกิจชุมชน และการเป็นสมาชิกกลุ่มอื่นๆ ซึ่งนำมาสู่การมีอำนาจการต่อรอง เป็นการสร้างโอกาสการแข่งขันทางการตลาด และการรวมกลุ่มในรูปของสหกรณ์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อ

คุณค่าที่ถูกรับในความเต็มใจการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของเกษตรกรมากกว่าการไม่ได้รวมกลุ่ม (Li *et al.*, 2020)

การมีทัศนคติที่ดีในการผลิตผัก GAP เกี่ยวข้องกับความเข้าใจได้ของเทคโนโลยี ต้นทุนทางการเงินขององค์กร และการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมแบบดิจิทัล มีอิทธิพลต่อการยอมรับของฟาร์มอัจฉริยะ (Yoon and Park, 2020) นอกจากนี้การศึกษาของ Suwanpingkham (2009) ระบุว่าความรู้ตามหลักการเกษตรที่เหมาะสมในการปลูกผักปลอดภัยจากสารพิษเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติตามการเกษตรที่เหมาะสมในการปลูกผักปลอดภัยจากสารพิษ และความรู้เกี่ยวกับการเกษตรอินทรีย์ และทัศนคติต่อการทำการเกษตรอินทรีย์มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ (Sunthonphan, 2009) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Taitaemthong (2011) พบว่าการอบรมเทคโนโลยีการปลูกกาแฟอราบิก้า และทัศนคติมีความสัมพันธ์กับการยอมรับเทคโนโลยีการปลูกกาแฟอราบิก้าของเกษตรกร ขณะที่ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการเกษตรของเกษตรกรในโครงการเร่งรัดการปลูกยางพาราทดแทนมันสำปะหลังที่ยังไม่มากเท่าที่ควร ได้แก่ ความรู้ และส่วนที่นำความรู้ไปปฏิบัติ เพื่อต้องการให้เกิดการยอมรับเทคโนโลยีดังกล่าวต้องมีการให้ความรู้อย่างต่อเนื่อง และต้องให้ความสำคัญกับข่าวสารข้อมูลและการประชาสัมพันธ์ ซึ่งเป็นไปตามผลการศึกษาของ Sirilerdwimon (2000) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความรู้ แหล่งข่าวสาร และการเป็นสมาชิกกลุ่มทางการเกษตร ย่อมมีผลต่อการรับเทคโนโลยีการปลูกผักกางมุ้งของเกษตรกร จะเห็นว่าการศึกษาในอดีตนั้นการให้ความรู้และทัศนคติมีผลอย่างมากกับการยอมรับเทคโนโลยีการผลิต จนนำมาสู่การศึกษาในปัจจุบันที่ยังคงเน้นย้ำให้เห็นความสำคัญของการได้รับความรู้และการมีทัศนคติที่ดีมีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีในทิศทางที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกิจกรรมการส่งเสริมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและการฝึกอบรมให้ตระหนักในมาตรฐาน GAP นำมาสู่การปฏิบัติที่ถูกต้อง

เหมาะสมและการขยายการยอมรับการผลิตผัก GAP อย่างแพร่หลาย (Joshi *et al.*, 2019)

มากไปกว่านี้การศึกษาและการฝึกอบรมของเกษตรกรมีผลทำให้เกิดแรงจูงใจในการยอมรับการปฏิบัติการผลิตผัก GAP ระดับมาก โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อความรู้ คือ การศึกษา ประสบการณ์ในการปฏิบัติ การได้รับการฝึกอบรม การติดต่อกับเจ้าหน้าที่ การรับข้อมูลข่าวสาร และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการปฏิบัติ คือ การศึกษา การได้รับการฝึกอบรม และการรับข้อมูลข่าวสาร (Mingsakul, 2015) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Larnlua (2017) ระบุว่าปัจจัยด้านความรู้ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐาน GAP นำมาสู่ความสำเร็จของการเป็นผู้ประกอบการผลิตทางการเกษตรเพื่อสุขภาพ

การกำหนดทัศนคติเป็นสิ่งสำคัญขั้นแรกที่ต้องทำความเข้าใจในพฤติกรรมและกลยุทธ์การรับมือของเกษตรกร เพื่อบรรเทาความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากทัศนคติเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของเกษตรกรเพื่อเกิดการยอมรับในแนวปฏิบัติอันนำมาสู่ความยั่งยืนทางการเกษตร (Zeweld *et al.*, 2019) เนื่องจากความรู้วิธีการปฏิบัติทางการเกษตรอย่างยั่งยืนมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเพื่อสนับสนุนราคาที่สูงขึ้นมากไปกว่านี้พิสูจน์ให้เห็นว่าผู้บริโภคที่ใส่ใจและการได้รับข้อมูลที่มากขึ้นพร้อมที่จะจ่ายเงินเพิ่มสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความสอดคล้องกับหลักการความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม (Lanfranchi *et al.*, 2019) เพื่อให้การส่งเสริมด้านมาตรฐาน GAP มีประสิทธิภาพต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องนำมาสู่การสร้างความสำเร็จในมาตรฐาน GAP ให้มากขึ้น และคู่มือมาตรฐาน GAP ควรถูกสร้างให้เกิดความเหมาะสมกับพื้นฐานการศึกษาของเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟ แม้ว่าตัวแปรระดับการศึกษา (X_3) ของการศึกษารั้งนี้จะมีผลต่อความน่าจะเป็นของการยอมรับการปฏิบัติของเกษตรกรระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับลดลง และความสำเร็จของการทำงานร่วมกันจะส่งเสริมให้เกษตรกรตระหนักถึงมาตรฐาน GAP ที่ทำให้เกิดการนำไปปฏิบัติ

อย่างมีประสิทธิภาพ (Pongvinyoo *et al.*, 2014) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Office of Agricultural Economics (2018) พบว่าการรวมกลุ่มของเกษตรกร การถ่ายทอดความรู้ให้มีความเข้าใจง่าย และจำนวนครั้งอบรม มีอิทธิพลต่อความพร้อมรับเทคโนโลยีและนวัตกรรมการปลูกข้าวตามมาตรฐาน GAP ระดับมาก ในทางที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทำนองเดียวกับการศึกษาของ Nicetic *et al.* (2010) ระบุว่าวิธีการมีส่วนร่วมในการดำเนินการตามการรับรองมาตรฐาน GAP นำมาสู่ความสำเร็จของความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชนในการผลิตส้ม อย่างไรก็ตามการยอมรับและไม่ยอมรับมาตรฐาน GAP เกี่ยวข้องกับข้อจำกัดด้านแรงงานครัวเรือน การเป็นเจ้าของที่ดิน และความคาดหวังด้านโอกาสทางการตลาดของข้าวที่ผลิตตามมาตรฐาน GAP (Srisopaporn *et al.*, 2015) อีกทั้งความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ไม่ได้แสดงให้เห็นว่าเป็นตัวขับเคลื่อนที่สำคัญสำหรับการได้มาซึ่งเอกสารการรับรองมาตรฐาน GAP ในกลุ่มของเกษตรกร (Marine *et al.*, 2016) และไม่สามารถสรุปได้ว่าความยั่งยืนของการรับรอง GAP เกิดจากผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจสำหรับเกษตรกรที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP เมื่อเทียบกับเกษตรกรที่ไม่ผ่านการรับรอง (Nicetic *et al.*, 2010) ซึ่งสะท้อนได้จากตัวแปรระดับคะแนนความพึงพอใจการเข้ารับการอบรมมาตรฐาน GAP (X_{37}) มีผลต่อการยอมรับการผลิตผัก ในทิศทางลบต่อการยอมรับการปฏิบัติฯ และความสดใหม่ของผลผลิตผัก GAP (X_{15}) ไม่ได้รับประกันว่าเกษตรกรจะสามารถจำหน่ายผลผลิตได้ในราคาที่สูงขึ้น ส่งผลให้ความพึงพอใจในราคาไม่มีความสัมพันธ์กับการยอมรับเทคโนโลยีแต่อย่างใด (Sainate, 1997) ขณะที่ช่องทางการตลาดมีผลกระทบต่อ การตัดสินใจของเกษตรกรเพื่อต้องการดำเนินการผลิตผักตามมาตรฐาน GAP ให้มีความปลอดภัย และนำมาสู่การปฏิบัติอย่างมีประสิทธิภาพ (Marine *et al.*, 2016)

อย่างไรก็ตามหากต้องดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปร X_2 , X_3 , X_5 , X_{25} , X_{34} และ X_{37} ที่ส่งผลให้เกษตรกร

มีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับลดลง ต้องวางแผนอย่างระมัดระวัง โดยความรู้ที่ได้รับจากหน่วยงานรัฐด้านความปลอดภัยอาหารของผัก GAP ต้องเปลี่ยนรูปแบบใหม่ เช่น อาจจะมีการจัดแสดงแปลงสาธิตการผลิตผัก GAP พร้อมการปฏิบัติ หรือการจำลองสถานการณ์ให้เกิดการปฏิบัติการผลิตผัก GAP เพื่อแสดงให้เห็นถึงความปลอดภัยของผัก GAP ที่นำมาเป็นวัตถุดิบหลักในการประกอบอาหารอย่างชัดเจน แทนการบรรยายเพียงอย่างเดียว และเนื้อหาในการบรรยายควรมีความทันสมัย กระชับ และนำไปสู่การปฏิบัติการผลิตผัก GAP ที่มีความสดใหม่อยู่เสมออย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเกษตรกรที่มีอายุและระดับการศึกษาน้อยที่สามารถโน้มน้าวและจูงใจให้เกิดการยอมรับการผลิตผัก GAP ระดับมากมีแนวโน้มยอมรับเพิ่มขึ้น เพื่อให้มีความพึงพอใจของการเข้ารับการฝึกอบรมฯ นอกจากนี้การเป็นสมาชิกกองทุนหมู่บ้านควรพิจารณาถึงความเข้มแข็งของสมาชิกที่มีเจตนาแน่วแน่ร่วมกันที่ต้องการพัฒนาสร้างประโยชน์แก่ส่วนรวมอย่างแท้จริง

สรุปผลการวิจัย

ความน่าจะเป็นการยอมรับการปฏิบัติการผลิตผักตามมาตรฐาน GAP ของเกษตรกรระดับน้อย ปานกลาง และมาก จากตัวแปรอิสระที่มีระดับนัยสำคัญ สรุปได้ดังนี้

1) เกษตรกรมีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากมีแนวโน้มมากขึ้นในตัวแปร ได้แก่ X_5 , X_6 , X_{12} , X_{16} , X_{26} , X_{28} , X_{30} , X_{31} , X_{33} และ X_{36} โดยสามารถจัดกลุ่มตัวแปรอิสระดังกล่าวเป็น 4 กลุ่ม คือ ตัวแปรการรวมกลุ่มของเกษตรกร (X_{30} , X_{31} , X_{33} และ X_{36}) เงินทุนเพื่อการผลิตผัก GAP (X_5 และ X_6) ความหลากหลายและความเหมาะสมของราคา (X_{12} และ X_{16}) และความรู้ที่ได้รับจากหน่วยงานเอกชนด้านความปลอดภัยอาหารของผัก GAP และการมีทัศนคติที่ดีต่อการผลิตผัก GAP (X_{26} และ X_{28})

2) เกษตรกรมีการยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับมากมีแนวโน้มการยอมรับลดลง และกลับทำให้การ

ยอมรับการปฏิบัติฯ ระดับน้อย และปานกลาง มีแนวโน้มการยอมรับเพิ่มขึ้น ในตัวแปร ได้แก่ X_2 , X_3 , X_5 , X_{25} , X_{34} และ X_{37} เนื่องจากครัวเรือนเกษตรกรมีการผลิตผัก GAP มีประสบการณ์อย่างยาวนานโดยเฉพาะเกษตรกรที่มีอายุมาก และมีการรับรู้ถึงประโยชน์ของการผลิตผักตามมาตรฐานดังกล่าวอยู่แล้วจากการสะสมความรู้และประสบการณ์จากการที่รัฐบาลประกาศนโยบายลดการใช้สารเคมีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 แต่ผลผลิตผัก GAP ไม่มีตลาดรองรับที่แน่นอนเหมือนกับผลผลิตผักอินทรีย์ ส่งผลให้ระดับราคาที่เกษตรกรได้รับไม่มีความแตกต่างกับราคาของผักทั่วไป จึงไม่สามารถจูงใจให้เกษตรกรดำเนินการผลิตผักตามมาตรฐานนี้อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการเป็นสมาชิกของกองทุนหมู่บ้านไม่ได้สะท้อนถึงการยอมรับการปฏิบัติการผลิตผัก GAP ในระดับมากแต่อย่างใด ประกอบกับการผลิตผักของเกษตรกรที่ปฏิบัติตามข้อกำหนดตามมาตรฐาน GAP และเกษตรกรทั่วไปที่ไม่มีการปฏิบัติตามข้อกำหนดฯ มีพฤติกรรมเกี่ยวกับวิธีการควบคุมแมลงศัตรูพืช และการใช้สารเคมีที่ไม่แตกต่างกันมากนัก (Schreinemachers *et al.*, 2012)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปี 2559 ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 เชียงใหม่ ที่อนุเคราะห์ฐานข้อมูลเกษตรกรที่ได้รับการจดทะเบียนรับรองมาตรฐานการผลิต GAP 4 จังหวัดภาคเหนือตอนบน และครัวเรือนเกษตรกรตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

- Al-Amin, A.Q., M.M. Masud, Md. S.K. Sarkar, W.L. Filho and B. Doberstein. 2020. **Analysing the socioeconomic and motivational factors affecting the willingness to pay for climate change adaptation in Malaysia.** [Online]. Available <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101708> (20 June 2020).
- Amerioun, A., A. Alidadi, R. Zaboli and M. Sepandi. 2018. The data on exploratory factor analysis of factors influencing employees effectiveness for responding to crisis in Iran military hospital. **Data in Brief** 1: 1-8.
- Asteriou, D. and S.G. Hall. 2007. **Applied Econometrics: A Modern Approach using EViews and Microfit.** New York: Palgrave Macmillan. 397 p.
- Damisa, M.A. and M. Yohanna. 2007. Role of rural women in farm management decision making process: ordered probit analysis. **World Journal of Agricultural Sciences** 3(4): 543-546.
- Department of Agriculture (DoA). 2017. **GAP online.** [Online]. Available <http://gap.doa.go.th/> (3 June 2020).
- Joshi, A., D. Kalauni and U. Tiwari. 2019. Determinants of awareness of good agricultural practices (GAP) among banana growers in Chitwan, Nepal. **Journal of Agriculture and Food Research** 1(2019): 1-4.

- Kramol, P., R. Villano, E. Fleming and P. Kristiansen. 2010. Technical efficiency and technology gaps on 'clean and safe' vegetable farms in northern Thailand: a comparison of different technologies. pp. 1-21. *In Proceedings of the Australian Agricultural and Resource Economics Society 2010 Conference (54th) 10-12 February 2010*. Adelaide Australia: University of New England.
- Lanfranchi, M., E. Schimmenti, M.G. Campolo and C. Giannetto. 2019. The willingness to pay of Sicilian consumers for a wine obtained with sustainable production method: an estimate through an ordered probit sample-selection model. *Wine Economics and Policy* 8(2019): 203-215.
- Larnlua, P. 2017. **Model Development for Agricultural Health Product Producers**. Doctoral Dissertation. King Mongkut's University of Technology North Bangkok. 231 p. [in Thai]
- Li, M., J. Wang, P. Zhao, K. Chen and L. Wu. 2020. **Factors affecting the willingness of agricultural green production from the perspective of farmers' perceptions**. [Online]. Available <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720338109> (20 June 2020).
- Maneejuk, P. 2018. **Ordered logit and probit models**. [Online]. Available <https://mparavee.files.wordpress.com/2018/11/ordered-logit-and-ordered-probit-models.pdf> (28 August 2018).
- Marine, S.C., D.A. Martin, A. Adalja, S. Mathew and K.L. Everts. 2016. Effect of market channel, farm scale, and years in production on midAtlantic vegetable producers' knowledge and implementation of Good Agricultural Practices. *Food Control* 59(2016): 128-138.
- Mingsakul, S. 2015. **Knowledge and Practice in Accordance with Good Agricultural Practice (GAP) of Farmers Growing Vegetables in Mae Rim District, Chiangmai**. Master Thesis. Maejo University. 164 p. [in Thai]
- Ministry of Commerce (MOC). 2018. **Export value**. [Online]. Available http://tradereport.moc.go.th/Menu_Trade.aspx (22 January 2018).
- Nicetic, O., E. Fliert, H.O. Chien, V. Mai and L. Cuong. 2010. Good Agricultural Practice (GAP) as a Vehicle for Transformation to Sustainable Citrus Production in the Mekong Delta of Vietnam. pp. 1893-1901. *In Proceedings of 9th European IFSA Symposium 4-7 July 2010*. Vienna: European IFSA Symposium.

- Office of Agricultural Economics (OAE). 2017. **Statistic of agricultural and fertilizer chemical**. [Online]. Available <http://www.oae.go.th/view/1/ปัจจัยการผลิต/TH-TH> (10 March 2017).
- _____. 2018. **The study of farmers' readiness in adaptation to technology and innovation case study on rice, cassava and oil palm**. [Online]. Available <http://www3.oae.go.th/zone7/images/research/research60/research60.pdf> (15 May 2019).
- Panplum, P. 2016. Factors affecting consumers' willingness to pay for organic products in green markets and specialty health food chain stores in the Bangkok metropolis and vicinity. **Modern Management Journal** 14(1): 169-178.
- Pongvinyoo, P., M. Yamao and K. Hosono. 2014. Factors affecting the implementation of Good Agricultural Practices (GAP) among coffee farmers in Chumphon province, Thailand. **American Journal of Rural Development** 2(2): 34-39.
- Pornsiripratharn, S. 2011. **Vegetable and Fruit Export to EU Market**. Bangkok: International Institute for Trade and Development. 21 p. [in Thai]
- Praphaitakoon, S. 2016. **Good Agricultural Practice: GAP**. [Online]. Available http://www.agriman.doae.go.th/home/news/year%202016/047_gap.pdf (3 June 2020).
- Qiu, Q., J. Sung, W. Davis and R. Tchernis. 2017. Using spatial factor analysis to measure human development. **Journal of Development Economics** 132: 130-149.
- Sainate, U. 1997. **Factors Associated with the Acceptance of Agricultural Technology by Farmers in the Accelerated Rubber Plantation Replacing Cassava Project, Chawae Settlement Cooperative Area, Amphoe Wangchan, Changwat Rayong**. Master Thesis. Ramkhamhaeng University. 124 p. [in Thai]
- Schreinemachers, P., I. Schad, P. Tipraqsa, P.M. Williams, A. Neef, S. Riwthong, W. Sangchan and C. Grovermann. 2012. Can public GAP standards reduce agricultural pesticide use? The case of fruit and vegetable farming in Northern Thailand. **Agricultural Human Values** 29(2012): 519-529.
- Serirat, S. 2003. **Strategic Management and Cases**. Bangkok: Diamond in Business World. 399 p. [in Thai]
- Sirilerdwimon, R. 2000. **Adoptions of Vegetable Growing Technology in the Nylon-net House of the Farmers in Changwat Kanchanaburi**. Master Thesis. Chiang Mai University. 147 p. [in Thai]

- Srisopaporn, S., D. Jourdain, S.R. Perret and G. Shivakoti. 2015. Adoption and continued participation in a public Good Agricultural Practices program: the case of rice farmers in the central plains of Thailand. **Technological Forecasting and Social Change** 96(2015): 242-253.
- Sunthonphan, S. 2009. **Farmer's Adoption of Organic Production Technology System of Mango Orchards in Phrao District, Chiang Mai**. Master Thesis. Maejo University. 120 p. [in Thai]
- Suwanpingkham, P. 2009. **Farmers Use of Good Agricultural Practice for Toxic Substance Safe Vegetable Production in Saraphi District, Chiang Mai Province**. Master Thesis. Chiang Mai University. 99 p. [in Thai]
- Taitaemthong, B. 2011. **Adoption of Arabica Coffee Cultivation Technology by Miang Tea Farmers in Royal Project Extended Program at Pag Ma-O Village, Mae Na Sub-district, Chiang Dao District, Chiang Mai**. Master Thesis. Chiang Mai University. 101 p. [in Thai]
- The Customs Department. 2018. **Import value**. [Online]. Available <http://dataservices.mof.go.th/Dataservices/IECountryAndCategory> (22 January 2018).
- Vanichbuncha, K. 2017. **Statistic for Research**. Bangkok: Chulalongkorn University Book Center. 371 p. [in Thai]
- Yoon, C., D. Lim and C. Park. 2020. Factors affecting adoption of smart farms: the case of Korea. **Computers in Human Behavior** 108(2020): 1-20.
- Zeweld, W., G.V. Huylenbroeck, G. Tesfay, H. Azadi and S. Speelman. 2019. Sustainable agricultural practices, environmental risk mitigation and livelihood improvements: empirical evidence from Northern Ethiopia. **Land Use Policy** 1(2019): 1-13.

**ปัจจัยที่มีผลต่อความคิดเห็นและการปฏิบัติตามสิทธิประโยชน์
ในพระราชบัญญัติการยางแห่งประเทศไทยของเกษตรกรชาวสวนยางจังหวัดแพร่**
**Factors Affecting Opinions and Practice with the Privileges under the Rubber
Authority of Thailand Act of Rubber Farmer, Phrae Province**

ธณศานต์ ธรรมเลิศสถิต* นครเรศ รังควัต พหล ศักดิ์กะทัศน์ และกังสดาล กนกหงษ์

Thanasarn Thammalerdsathid*, Nakarate Rangkwat, Phahol Sakkatat and Kongsadan Kanokhong

สาขาวิชาพัฒนาทรัพยากรและส่งเสริมการเกษตร คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Division of Resources Development and Agricultural Extension, Faculty of Agricultural Production

Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: thanasarn.tham@gmail.com

Received: October 09, 2019

Revised: January 23, 2020

Accepted: March 02, 2020

Abstract

The objective of the study were; 1) individual basic factors, economic conditions, social, economy, receiving information; 2) level of knowledge, opinion and practice; 3) finding the relationship between individual basic factors, economy, social, receiving information, and level of knowledge, opinion and practice. and; 4) the problems, obstacles, and recommendations regarding rubber development guidelines. The study employed 310 samples and the questionnaire as the tool for data collection. The data were analyzed by descriptive statistic and multiple regression.

The results indicated that the majority of Phrae rubber farmer were male, average age of 51.75 years, married, elementary education level, the average income was 105,214.19 Baht, the average income obtained from rubber cultivation was 64,667.10 Baht, the average area for rubber cultivation was 13.09 rai, the average number of worker was 2 persons with the average work experience of 11.9 years, the majority of such workers were the group member, the average number of the activity and training participation was 3 activities and 1.98 courses, they mostly contacted with the Rubber Authority of Thailand. And the average channel of receiving information was 2.50 channels. It was found that the agriculturists' knowledge level was at a moderate level and their opinions and operations were at a high level. The factors associating with the opinion were rubber farming experience, group membership, contacting with the agencies, receiving information, and the knowledge level, which yielded the statistical significance (Sig.<0.05). The factors associating with the compliance were gender, status, rubber farming work experience, membership, community activity

participation, training, contact with the agencies, and knowledge level, which also yielded the statistical significance (Sig.<0.05).

The problems, obstacles and recommendations of rubber farmer were farmers do not have documents on land rights, rubber prices down and knowledge in producing quality rubber. Therefore, farmer would like to have an amendment to the regulations to allow people without privileges. Creating a local rubber market system and organizing training courses for the development of farmers in the production of rubber to increase product value and distribution channels to have more choices.

Keywords: opinion and practice, privileges under the rubber authority, rubber development fund

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล สภาพเศรษฐกิจ สังคม เศรษฐกิจ การรับข้อมูลข่าวสาร 2) ระดับความรู้ ความคิดเห็น และการปฏิบัติในสิทธิประโยชน์ ตาม พรบ. การยางแห่งประเทศไทย 3) ปัจจัยความสัมพันธ์กับความคิดเห็นและการปฏิบัติ และ 4) ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะของเกษตรกรชาวสวนยางจังหวัดแพร่ จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 310 คน โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำการวิเคราะห์ข้อมูล สถิติเชิงพรรณนา และการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ

ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรชาวสวนยาง จังหวัดแพร่ ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 51.75 ปี สถานภาพสมรส การศึกษาระดับประถมศึกษา มีรายได้รวมทั้งหมดเฉลี่ย 105,214.19 บาท รายได้จากการปลูกยางพาราเฉลี่ย 64,667.10 บาท พื้นที่ปลูกยางพาราเฉลี่ย 13.09 ไร่ ใช้แรงงานเฉลี่ย 2 คน มีประสบการณ์การทำสวนยางเฉลี่ย 11.9 ปี ส่วนใหญ่เป็นสมาชิกกลุ่ม มีเข้าร่วมกิจกรรมเฉลี่ย 3 กิจกรรม ผ่านการฝึกอบรมเฉลี่ย 1.98 หลักสูตร การติดต่อหน่วยงานส่วนใหญ่ติดต่อกับการยางแห่งประเทศไทย (กยท.) และช่องทางการรับข้อมูลข่าวสารเฉลี่ย 2.50 ช่องทาง เกษตรกรมี

ความรู้ระดับปานกลาง มีความคิดเห็นระดับมาก และมีการปฏิบัติที่ระดับมาก ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความคิดเห็น ได้แก่ ประสบการณ์การทำสวนยาง การเป็นสมาชิกกลุ่ม การติดต่อหน่วยงาน การรับข้อมูลข่าวสาร และระดับความรู้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig.<0.05) ส่วนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติ ได้แก่ เพศ สถานภาพ ประสบการณ์ในการทำสวนยาง การเป็นสมาชิกกลุ่ม การร่วมกิจกรรมชุมชน การฝึกอบรม การติดต่อหน่วยงาน และระดับความรู้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig.<0.05)

ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะของเกษตรกรชาวสวนยาง คือ เกษตรกรไม่มีเอกสารสิทธิ์ในที่ดินทำกิน ราคายางพาราลดต่ำ และความรู้ในการผลิตยางให้ได้คุณภาพ จึงอยากให้มีแก้ไขระเบียบเพื่อเปิดโอกาสให้คนไม่มีเอกสารสิทธิ์ การสร้างระบบตลาดยางท้องถิ่น และจัดหลักสูตรฝึกอบรมพัฒนาฝีมือเกษตรกรในการผลิตยางพาราให้ได้คุณภาพมาตรฐานตามความต้องการของตลาด เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตและช่องทางการจำหน่ายให้มีทางเลือกมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ความคิดเห็นและการปฏิบัติ สิทธิประโยชน์
ในพระราชบัญญัติการยางแห่งประเทศไทย
กองทุนพัฒนายางพารา

คำนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่นำรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมากต่อปี ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกยางพารารายใหญ่ของโลก ครองส่วนแบ่งทางการส่งออกเป็นอันดับ 1 คิดเป็นสัดส่วน 36% ของกำลังการผลิตทั่วโลกจำนวน 12.3 ล้านตันต่อปี (Thiraphutthabhokhin, 2016) ในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยมีรายได้จากการส่งออกยางพารา คิดเป็นมูลค่า 400,845 ล้านบาท ซึ่งสูงสุดในกลุ่มพืชเกษตรของไทย ความเชื่อมโยงกับคุณภาพชีวิตเกษตรกรชาวสวนยางมากกว่า 1.2 ล้านครัวเรือน (The Rubber Authority of Thailand, 2016) ยางพาราจึงมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตเกษตรกรของประเทศไทย และมีความสำคัญในการใช้เป็นวัตถุดิบผลิตสินค้าสำคัญในวงการอุตสาหกรรมของโลก อาทิ ยางล้อรถยนต์ ชิ้นส่วนโครงสร้างขนาดใหญ่ ถังมือยาง ถังยางอนามัย และผลิตภัณฑ์อื่นๆ เป็นต้น

จากนโยบายรัฐบาลโครงการปลูกยางพาราเพื่อยกระดับรายได้และความมั่นคงให้เกษตรกรในพื้นที่ปลูกยางใหม่ ระยะ 2 พ.ศ. 2547–2549 ทำให้การปลูกยางพาราครอบคลุมทั่วทุกภาคของประเทศไทย

เพื่อประสิทธิภาพการบริหารจัดการยางพาราภายในประเทศเป็นไปอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพสามารถยกระดับศักยภาพการแข่งขันในระดับนานาชาติทั้งในระดับต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำได้ โดยการจัดตั้งการยางแห่งประเทศไทย (กยท.) ตามพระราชบัญญัติการยางแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2558 ขึ้น มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นองค์กรกลางรับผิดชอบดูแลการบริหารจัดการยางพาราของประเทศทั้งระบบอย่างครบวงจร บริหารจัดการเกี่ยวกับเงินของกองทุน ส่งเสริมและสนับสนุนให้ประเทศเป็นศูนย์กลางอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพารา โดยจัดให้มีการศึกษา วิเคราะห์ วิจัย พัฒนา เผยแพร่ข้อมูลสารสนเทศเกี่ยวกับยางพารา และการรักษาระดับราคายางให้มีเสถียรภาพ รวมทั้งส่งเสริมสนับสนุนให้ความ

ช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยาง สถาบันเกษตรกรชาวสวนยาง และผู้ประกอบการยาง ให้มีคุณภาพชีวิตดีขึ้นภายใต้ พรบ. การยางแห่งประเทศไทย กำหนดให้มีการจัดตั้ง “กองทุนพัฒนายางพารา” เพื่อเป็นค่าดำเนินการในการสนับสนุนให้บรรลุภารกิจตามวัตถุประสงค์ โดยได้จัดสรรเงินจากกองทุนฯ เพื่อเป็นค่าใช้จ่าย สำหรับกิจกรรมต่างๆ ดังนี้

1) จำนวนไม่เกินร้อยละ 10 เป็นค่าใช้จ่ายในการบริหารกิจการของ กยท. ตามมาตรา 49(1)

2) จำนวนไม่เกินร้อยละ 40 เพื่อการส่งเสริมสนับสนุนให้ความช่วยเหลือเพื่อการปลูกแทน ตามมาตรา 49(2)

3) จำนวนไม่เกินร้อยละ 35 เพื่อการส่งเสริมสนับสนุน และให้ความช่วยเหลือในการปรับปรุงคุณภาพผลผลิต การแปรรูป การตลาด การรักษาเสถียรภาพราคายาง ตามมาตรา 49(3)

4) จำนวนไม่เกินร้อยละ 5 เพื่อการส่งเสริมและสนับสนุนด้านการเงิน วิชาการ การศึกษาวิจัย และการค้นคว้าทดลองเกี่ยวกับยางพารา ตามมาตรา 49(4)

5) จำนวนไม่เกินร้อยละ 7 เพื่อการจัดสวัสดิการให้เกษตรกรชาวสวนยาง ตามมาตรา 49(5)

6) จำนวนไม่เกินร้อยละ 3 เพื่อการส่งเสริมและสนับสนุนสถาบันเกษตรกรชาวสวนยาง ตามมาตรา 49(6)

จังหวัดแพร่ เป็นจังหวัดหนึ่งที่มีเกษตรกรปลูกยางพารา จากข้อมูลปี พ.ศ. 2561 มีเกษตรกรผู้ปลูกยางมาขึ้นทะเบียนกับ กยท.จังหวัดแพร่ จำนวน 1,347 ราย รวมพื้นที่ปลูกยางมากกว่า 12,000 ไร่ และยังมีเกษตรกรอีกจำนวนมากที่ไม่สามารถขึ้นทะเบียนได้ เนื่องจากสวนยางไม่มีเอกสารสิทธิ์ จากการดำเนินงานของ กยท. จังหวัดแพร่ ที่ผ่านมา พบว่าเกษตรกรมาติดต่อเพื่อขอรับการสนับสนุนเงินจากกองทุนพัฒนายางพาราค่อนข้างน้อย รวมถึงผู้ที่ไม่ได้มาแจ้งขึ้นทะเบียน ทำให้สูญเสียโอกาสการเข้าถึงเงินกองทุนฯ ส่งผลต่อการพัฒนาขับเคลื่อนยางพาราไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของ พรบ. การยางแห่งประเทศไทยเท่าที่ควรจะเป็น การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความ

คิดเห็นและการปฏิบัติตามสิทธิประโยชน์ใน พรบ. การยางแห่งประเทศไทย เพื่อศึกษาเฉพาะตามมาตรา 49(2), 49(3), 49(5) และ 49(6) ซึ่งเป็นมาตราที่ให้การสนับสนุนเกษตรกรชาวสวนยางโดยตรง เพื่อศึกษาพัฒนาและปรับปรุงแนวทางให้เงินกองทุนพัฒนายางพาราได้ก่อเกิดประโยชน์สูงสุดแก่เกษตรกรชาวสวนยาง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะส่วนบุคคล เศรษฐกิจ สังคม การรับข้อมูลข่าวสาร และระดับความรู้ของเกษตรกรชาวสวนยางต่อสิทธิประโยชน์ใน พรบ. การยางแห่งประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาระดับความคิดเห็นและการปฏิบัติ และหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล เศรษฐกิจ สังคม การรับข้อมูลข่าวสาร และระดับความรู้ กับความคิดเห็นการปฏิบัติ
3. เพื่อศึกษาปัญหาอุปสรรค ข้อเสนอแนะการพัฒนายางพาราภายใต้ พรบ. การยางแห่งประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงปริมาณเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคิดเห็นและการปฏิบัติตามพระราชบัญญัติการยางแห่งประเทศไทย ของเกษตรกรชาวสวนยางจังหวัดแพร่

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ เกษตรกรผู้ปลูกยางพาราจังหวัดแพร่ ที่ขึ้นทะเบียนกับการยางแห่งประเทศไทย จำนวน 1,347 คน เลือกพื้นที่ครอบคลุม 6 อำเภอที่มีการปลูกยางมากที่สุด ได้แก่ อำเภอเมืองแพร่ อำเภอเด่นชัย อำเภอลอง อำเภอวังชิ้น อำเภอร้องกวาง และอำเภอสอง โดยใช้วิธีการคำนวณหากลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Sample random sampling) โดยคำนวณจากสูตรของ Taro Yamane (Yamane,

1973) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 310 คน แต่เนื่องจากจำนวนเกษตรกรแต่ละอำเภอมียังไม่เท่ากัน จึงต้องมีการหาสัดส่วนขนาดตัวอย่างของแต่ละอำเภอเพื่อให้ได้จำนวนตัวแทนกลุ่มตัวอย่างที่ดี การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 (Suwatthi, P. 1998)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) แบบสอบถาม กำหนดโครงสร้าง 2 ประเภท คือ คำถามปลายปิด เพื่อศึกษาข้อมูลส่วนบุคคล เพื่อทดสอบวัดความรู้ วัดระดับความคิดเห็น วัดระดับการปฏิบัติ และคำถามปลายเปิด เพื่อได้ข้อมูลด้านปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ ของเกษตรกรชาวสวนยางต่อสิทธิประโยชน์ใน พรบ. การยางแห่งประเทศไทย
- 2) การจัดเวทีการสนทนากลุ่ม เพื่อแลกเปลี่ยนประเด็นปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ เพื่ออธิบายเหตุผลเชิงลึกประกอบเนื้อหาข้อมูลที่รวบรวมจากประเด็นปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะจากแบบสอบถาม

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัย แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- 1) ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) รวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานภาครัฐและบุคคลที่เกี่ยวข้อง และเกษตรกรชาวสวนยางจังหวัดแพร่ กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 310 คน นำข้อมูลมาวิเคราะห์แปลผล ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อวัดผล ปริมาณ และหาความสัมพันธ์ของตัวแปรในแต่ละด้าน
- 2) ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) เป็นการรวบรวมข้อมูลจากตำราวิชาการ หนังสือ งานวิจัยทั้งในประเด็นข้อมูลบริบท ด้านแนวคิด ทฤษฎี และเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

3) การสนทนากลุ่ม (Focus group discussion) คัดเลือกตัวแทนเกษตรกรจาก 6 อำเภอ ด้วยวิธีแบบโควต้า (Quota sampling) โดยการจัดสนทนากลุ่มแบ่งเป็น 2 เวที ตามสัดส่วนพื้นที่อำเภอ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยในครั้งนี้ แบ่งการวิเคราะห์แบบออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1) การวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล เศรษฐกิจ สังคม และการรับข้อมูลข่าวสาร ใช้สถิติเชิงพรรณนา เพื่อหาค่าความถี่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) การวิเคราะห์ระดับความรู้ ด้วยสถิติเชิงพรรณนา เพื่ออธิบายค่าสถิติร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แบ่งระดับความรู้ออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้ คะแนน 0-7 มีความรู้ระดับต่ำ คะแนน 8-14 มีความรู้ระดับปานกลาง และคะแนน 15-20 มีความรู้ระดับสูง

3) การวิเคราะห์ระดับความคิดเห็นและการปฏิบัติ เพื่อหาค่าน้ำหนักคะแนนเฉลี่ย โดยใช้มาตรวัดอันดับ (Rating scale) เป็นการประเมินความมากน้อย ใช้มาตรวัดของ Likert method กำหนดให้ระดับมากที่สุดคะแนนเฉลี่ย 4.51-5.00 ระดับมากค่าคะแนนเฉลี่ย 3.51-4.50 ระดับปานกลางค่าคะแนนเฉลี่ย 2.51-3.50 ระดับน้อยค่าคะแนนเฉลี่ย 1.51-2.50 และระดับน้อยที่สุดค่าคะแนนเฉลี่ย 1.00-1.50 (Suwan, 1999)

4) การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ใช้สถิติการวิเคราะห์พหุคูณ (Multiple regression analysis)

5) การวิเคราะห์ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะสรุปผลในลักษณะของการบรรยาย รายงานโดยการพรรณนา

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ข้อมูลปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ สังคม และการรับข้อมูลข่าวสาร

ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรชาวสวนยางจังหวัดแพร่ ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 51.75 ปี สถานภาพสมรส มีการศึกษาระดับประถมศึกษา มีรายได้เฉลี่ย 105,214.19 บาท โดยได้จากการปลูกยางพาราเฉลี่ย 64,667.10 บาท มีหนี้สินเฉลี่ยต่อคนที่ 129,107.80 บาท เกษตรกรมีพื้นที่ปลูกยางพาราเฉลี่ย 13.09 ไร่ มีประสบการณ์การทำสวนยางเฉลี่ยอยู่ที่ 11.19 ปี ส่วนใหญ่ใช้แรงงานในครัวเรือน เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นสมาชิกกลุ่มยางพารา เกษตรกรส่วนใหญ่เข้าร่วมกิจกรรมของชุมชน เฉลี่ย 2.99 กิจกรรม ผ่านการอบรมเฉลี่ย 1.98 หลักสูตร ทางด้านการติดต่อหน่วยงานของเกษตรกรเฉลี่ย 1.75 หน่วยงาน ส่วนใหญ่ติดต่อกับการยางแห่งประเทศไทย (กยท.) และด้านการรับข้อมูลข่าวสาร เฉลี่ยจำนวน 2.5 ช่องทาง โดยรับข้อมูลข่าวสารจากเจ้าหน้าที่ กยท. เป็นหลัก

ระดับความรู้ในสิทธิประโยชน์ตาม พรบ. การยางแห่งประเทศไทย

ระดับความรู้ในสิทธิประโยชน์ตาม พรบ. การยางแห่งประเทศไทย รวมทุกด้านอยู่ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 55.8 คะแนนเฉลี่ยที่ 13.90 คะแนน มีคนตอบถูกมากที่สุด จำนวน 20 ข้อ และถูกน้อยที่สุดจำนวน 6 ข้อ (Table 1)

Table 1 Number and percentage of rubber farmers in Phrae province who provided information by knowledge level on benefits in The Rubber Authority of Thailand Act in all aspects

(n=310)

Knowledge level on benefits in Rubber Authority of Thailand Act	No.	%
Low	4	1.3
Moderate	173	55.8
High	133	42.9
$\bar{X} = 13.90$; Min-Max = 6-20; SD = 2.771		

ผลการศึกษาระดับความคิดเห็นและการปฏิบัติตามสิทธิประโยชน์ใน พรบ. การยางแห่งประเทศไทย

การศึกษาพบว่าระดับความคิดเห็นต่อสิทธิประโยชน์ตาม พรบ. การยางแห่งประเทศไทยของเกษตรกรชาวสวนยางจังหวัดแพร่ แบ่งออกเป็น 4 ด้านดังนี้

- 1) ด้านการส่งเสริม สนับสนุนให้ความช่วยเหลือเพื่อการปลูกแทนมีความเห็นด้วยระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.13)
- 2) ด้านการส่งเสริมสนับสนุนเพื่อปรับปรุงคุณภาพผลผลิต การแปรรูป การตลาด การรักษาเสถียรภาพราคายาง มีความเห็นด้วยระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.22)
- 3) ด้านการจัดสวัสดิการเพื่อเกษตรกรชาวสวนยาง มีความเห็นด้วยระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.26)

4) ด้านการส่งเสริม สนับสนุนสถาบันเกษตรกรชาวสวนยาง มีความเห็นด้วยระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.37)

ด้านการปฏิบัติตามสิทธิประโยชน์ใน พรบ. การยางแห่งประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่า

- 1) ด้านการส่งเสริม สนับสนุน เพื่อการปลูกแทนด้วยยางพันธุ์ดีและไม่เศรษฐกิจอื่น มีการปฏิบัติระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.98)
- 2) ด้านการส่งเสริมสนับสนุนเพื่อปรับปรุงคุณภาพผลผลิต การแปรรูป การตลาด การรักษาเสถียรภาพราคายาง มีการปฏิบัติระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.91)
- 3) ด้านการจัดสวัสดิการเพื่อเกษตรกรชาวสวนยาง มีการปฏิบัติระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.87)
- 4) ด้านการส่งเสริม สนับสนุนสถาบันเกษตรกรชาวสวนยาง มีการปฏิบัติระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.02) (Table 2)

Table 2 Nummyber of percent, average, standard deviation level of opinion and practice with benefits in The Rubber Authority of Thailand Act

(n=310)

Benefits in The Rubber Authority of Thailand Act each side	Opinion		Practice		Level
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD	
Support for planting	4.13	0.603	3.98	0.774	High
Support for improving quality of products, processing, marketing stabilizing rubber prices	4.22	0.650	3.91	0.807	High
Support for welfare management for rubber	4.26	0.685	3.87	0.821	High
Support for the rubber planters institute	4.37	0.682	4.02	4.016	High
Total	4.23	0.532	3.96	0.684	High

ปัจจัยที่มีผลต่อความคิดเห็นและการปฏิบัติตามสิทธิประโยชน์ใน พรบ. การยางแห่งประเทศไทย

การวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความคิดเห็นและการปฏิบัติ โดยใช้สถิติวิเคราะห์การถดถอยพหุ (Multiple regression analysis) ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (ตัวแปรเกณฑ์) กับตัวแปรอิสระ (ตัวแปรพยากรณ์) ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป (Peng Sawat, 2010) โดยการวิเคราะห์ที่ได้คัดเลือกตัวแปร อิสระจากการทบทวนวรรณกรรมทั้งหมด 14 ตัว ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพ การศึกษา รายได้จากยางพารา พื้นที่ปลูกยางพารา แรงงานในการทำสวนยาง ประสบการณ์ในการปลูกยาง การเป็นสมาชิกกลุ่ม การร่วมกิจกรรมชุมชน การฝึกอบรม การติดต่อหน่วยงาน การรับข้อมูลข่าวสาร และระดับความรู้ในสิทธิประโยชน์ ตาม พรบ. การยางแห่งประเทศไทย เพื่อหาว่าตัวแปรอิสระใดมีความสัมพันธ์ต่อความคิดเห็นและการปฏิบัติตามสิทธิประโยชน์ใน พรบ. การยางแห่งประเทศไทยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และส่งผลในเชิงบวกหรือลบ ทั้งนี้ การศึกษาปัญหา Multicollinearity พบว่าไม่มี ตัวแปรอิสระใดที่มีความสัมพันธ์กันสูงเกิน 0.80 ที่ทำให้เกิดการละเมิดข้อกำหนดเบื้องต้นของการวิเคราะห์

การถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis) (Prasitratasin, 2002)

การวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความคิดเห็น จากตัวแปรอิสระทั้งหมด 14 ตัวแปร มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม คือ ความคิดเห็นในสิทธิประโยชน์ตาม พรบ. การยางแห่งประเทศไทยอยู่ร้อยละ 28.3 ($R^2=0.283$) โดยตัวแปรอิสระที่มีผลต่อความคิดเห็น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่ามีทั้งหมด 5 ตัวแปร คือ ประสบการณ์การทำสวนยาง การเป็นสมาชิกกลุ่ม การติดต่อหน่วยงาน การรับข้อมูลข่าวสาร และระดับความรู้ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.028, 0.006, 0.023, 0.004 และ 0.000 ตามลำดับ

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เกษตรกรที่มีประสบการณ์ในการทำสวนยาง มีองค์ความรู้และการปฏิบัติสามารถสะท้อนออกมาเป็นความคิดเห็นได้ ส่วนการเป็นสมาชิกกลุ่มช่วยให้เกษตรกร มีโอกาสในการแลกเปลี่ยนแนวความคิด คำปรึกษา ประสบการณ์และแนวทางการปฏิบัติระหว่างกันจนเกิดมุมมองแนวความคิดที่ไม่จำกัดเฉพาะของตัวเอง ทางด้านการติดต่อกับหน่วยงานยังมีการติดต่อมากย่อมได้ความรู้ ได้เกิดการซักถามข้อสงสัยหรือประเด็นไม่ชัดเจน ตลอดจนการแลกเปลี่ยนสะท้อนปัญหาตัวเองให้กับหน่วยงานที่ติดต่อ

เกษตรกรที่มีการรับข้อมูลข่าวสารจากช่องทางสื่อต่างๆ ที่ปัจจุบันการเข้าถึงแหล่งข้อมูลข่าวสารมีความสะดวก รวดเร็ว ทำให้มีการเข้าถึงข้อมูลข้อเท็จจริงได้มากขึ้น รวมถึงการสื่อสารระหว่างเกษตรกรด้วยกันผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ช่วยให้เกษตรกรได้แลกเปลี่ยน ประสบการณ์จากการปฏิบัติและองค์ความรู้ ซึ่งกิจกรรมทั้งหมดได้ช่วยให้เกษตรกรมีการพัฒนา เพิ่มระดับความรู้ ของเกษตรกรให้มากขึ้น และความรู้ที่เพิ่มขึ้นจะสะท้อน มุมมองด้วยความคิดเห็นมากขึ้นเช่นเดียวกัน

ด้านการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการ ปฏิบัติ จากตัวแปรอิสระทั้งหมด 14 ตัวแปร มีอิทธิพลต่อ ตัวแปรตาม คือ การปฏิบัติตามสิทธิประโยชน์ใน พรบ. การยางแห่งประเทศไทยอยู่ร้อยละ 28.3 ($R^2=0.283$) และเมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระที่มีผลต่อการปฏิบัติ โดยรวมมี 7 ตัวแปร ได้แก่ เพศ สถานภาพ การเป็น สมาชิกกลุ่ม การร่วมกิจกรรมชุมชน การฝึกอบรม การติดต่อหน่วยงานและระดับความรู้ โดยมีระดับ นัยสำคัญที่ 0.007, 0.001, 0.020, 0.015, 0.000, 0.008 และ 0.003 ตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติของ เกษตรกรชาวสวนยางจังหวัดแพร่ คือ เพศ เนื่องจากสังคม ชนบทไทยผู้ชายจะถูกยกย่องให้เป็นหัวหน้าครอบครัว

ในการตัดสินใจต่างๆ ส่วนเพศหญิงจะรับผิดชอบกิจกรรม ในครัวเรือน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับเกษตรกรที่มี สถานภาพสมรสมีการปฏิบัติมากกว่าสถานะอื่น เพราะคน ที่สมรสมีการแบ่งบทบาทหน้าที่เพื่อการปฏิบัติได้มากกว่า คนที่อยู่คนเดียว ซึ่งมีข้อจำกัดที่ต้องปฏิบัติภารกิจอื่นๆ หรือความจำเป็นในครอบครัวด้านอื่นที่ต้องทำ ส่วนปัจจัย ด้านประสบการณ์การทำงานสวนยาง เกษตรกรที่เคยทำ สวนยางจะมีความตระหนักถึงความสำคัญในการนำ ความรู้ คำแนะนำ หรือข้อมูลข่าวสารมาปฏิบัติให้เกิดผล อย่างจริงจังมากกว่า ซึ่งสอดคล้องในทิศทางเดียวกับ เกษตรกรที่เข้าเป็นสมาชิกกลุ่ม และการร่วมกิจกรรมของ ชุมชน จะมีโอกาสในการพบปะแลกเปลี่ยนความรู้ ข้อมูล ข่าวสารระหว่างสมาชิกด้วยกัน จะเป็นการกระตุ้นให้เกิด การแลกเปลี่ยนและผลักดันให้เกิดการปฏิบัติและ มีเป้าหมายร่วมกัน เช่น การเพิ่มอำนาจการต่อรอง ทางด้านราคา เป็นต้น นอกจากนี้ เกษตรกรที่ผ่านการ ฝึกอบรมและการติดต่อกับหน่วยงานย่อมมีความเข้าใจ และตระหนักถึงความสำคัญในการนำความรู้ และ คำแนะนำไปปฏิบัติให้เกิดผลอย่างแท้จริง ตลอดจนการ สร้างแรงผลักดันให้เกิดการปฏิบัติ ในการพัฒนาศักยภาพ การเป็นเกษตรกรชาวสวนยาง ที่มีศักยภาพและ ประสิทธิภาพในการประกอบอาชีพชาวสวนยาง (Table 3)

Table 3 Factors that affect opinions and compliance on benefits in The Rubber Authority of Thailand Act of rubber farmers in Phrae province

Independent variables	Dependent variables					
	Opinion			Practice		
	b	t	Sig.	b	t	Sig.
1. Sex	-0.057	-1.017	0.310	-0.197	-2.737**	0.007
2. Age	0.000	0.082	0.935	-0.003	-0.860	0.391
3. Status	0.048	0.722	0.471	0.275	3.241**	0.001
4. Education	-0.004	-0.063	0.950	-0.111	-1.407	0.161
5. Income from rubber farm	-9.845E-008	-0.211	0.833	-3.469E-007	-0.577	0.564

Table 3 (Continued)

Independent variables	Dependent variables					
	Opinion			Practice		
	b	t	Sig.	b	t	Sig.
6. Rubber plantation area	0.002	0.396	0.692	0.003	0.589	0.556
7. Labor in rubber plantation	-0.029	-1.085	0.279	-0.014	-0.410	0.682
8. Experience in rubber planting	0.020	2.215*	0.028	0.023	1.932	0.051
9. Group membership	0.078	2.762**	0.006	0.085	2.338*	0.020
10. Participation in community activities	-0.015	-0.648	0.517	-0.074	-2.447*	0.015
11. Training course	-0.027	-0.911	0.363	0.176	4.589**	0.000
12. Contacting staff	0.075	2.291*	0.023	0.111	2.654**	0.008
13. Receiving rubber information	0.074	2.882**	0.004	-0.037	-1.110	0.268
14. Knowledge of benefits according to The Rubber Authority of Thailand Act	0.064	6.394**	0.000	0.038	2.945**	0.003
Constant	2.786	11.898	0.000	2.912	9.658	0.000
R ²	0.283 (28.3%)			0.283 (28.3%)		
F	8.33			8.29		
Sig. F	0.000**			0.000**		

*, ** = significant difference at probability level 0.05 and 0.01, respectively

ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่าปัญหาและอุปสรรคของเกษตรกรชาวสวนยาง ต่อสิทธิประโยชน์ใน พรบ. การยางแห่งประเทศไทย มีดังนี้

1) เกษตรกรไม่มีเอกสารสิทธิ์ในที่ดินที่ปลูกยางพารา ไม่สามารถขึ้นทะเบียนชาวสวนยางได้ ส่งผลต่อการเข้าถึงสิทธิ์ต่างๆ จากการสนับสนุนของหน่วยงานรัฐ เช่น โครงการชดเชยรายได้ การสูญเสียโอกาสในการพัฒนาศักยภาพตัวเอง การขอรับการสนับสนุนปัจจัยการผลิต การสนับสนุนกิจกรรมของกลุ่ม ตลอดจนการเข้ามามีส่วนร่วมในกระบวนการต่างๆ ของกิจกรรมที่ ทาง กยท. ได้จัดขึ้นภายใต้ระเบียบของ พรบ. การยางแห่งประเทศไทย

2) ปัญหาราคายางตกต่ำ ทำให้เกษตรกรสูญเสียรายได้มาใช้จ่ายในครัวเรือน ภาระหนี้สินมีมากขึ้น หลายคนต้องหยุดกรีดยางชั่วคราวเพื่อไปประกอบอาชีพอื่นๆหารายได้มาชดเชย

3) ปัญหาการขาดความรู้ของเกษตรกรในการผลิตยางให้มีคุณภาพ ไม่ได้มาตรฐานคุณภาพที่ดีตามหลักวิชาการทำให้ถูกกดราคา ทำให้สูญเสียโอกาสในการได้ราคาที่เหมาะสม รวมถึงอุปกรณ์เครื่องมือในการแปรรูปผลผลิตขั้นต้น

จากปัญหาและอุปสรรคดังกล่าวข้างต้น เกษตรกรได้มีข้อเสนอแนะในการแก้ไขปัญหานั้นสอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกร ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปประเด็น

ข้อเสนอของเกษตรกรต่อปัญหาในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ดังนี้

1) ปัญหาประเด็นเรื่องเอกสารสิทธิทำกิน เกษตรกรชาวสวนยางได้เสนอให้มีกระบวนการแก้ไขระเบียบ กฎเกณฑ์ของ พรบ. การยางแห่งประเทศไทย ในการรับขึ้นทะเบียนเกษตรกรที่ปลูกยางในพื้นที่ที่ไม่มีเอกสารสิทธิ

2) ประเด็นปัญหาราคายางตกต่ำ เกษตรกรเสนอแนะ ให้ กยท. สนับสนุนการจัดหาปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ยบำรุง น้ำกรด ในราคาถูกเพื่อลดต้นทุนการผลิต พัฒนาตลาดยางพาราท้องถิ่นให้มีความเข้มแข็ง

3. ให้ กยท. ฝึกอบรมหลักสูตรการผลิตยางให้ได้คุณภาพ การแปรรูปยาง การขายผลผลิตในรูปแบบอื่นๆ จะช่วยให้กระจายช่องทางการขายได้หลายทางมากขึ้น

นอกจากประเด็นข้างต้นเกษตรกรยังมีข้อเสนอแนะอื่นๆ เช่น การส่งเสริมการประกอบอาชีพเสริมด้านอื่นๆ การทำเกษตรกรรมผสมผสาน การฝึกอบรมทักษะฝีมือในการหารายได้ช่องทางอื่นๆ ควบคู่กับการทำการเกษตรไปด้วย

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่ผลต่อความคิดเห็นและการปฏิบัติตามสิทธิประโยชน์ในพระราชบัญญัติการยางแห่งประเทศไทยของเกษตรกรชาวสวนยางจังหวัดแพร่ ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรชาวสวนยางจังหวัดแพร่ ส่วนใหญ่มีอายุเฉลี่ย 51.75 ปี อยู่ในสถานภาพสมรส มีการศึกษาระดับประถมศึกษา มีรายได้ทั้งหมดเฉลี่ย 105,214.19 บาท โดยรายได้จากยางพาราเฉลี่ย 64,667.10 บาท มีหนี้สินเฉลี่ย 129,107.80 บาท มีพื้นที่ปลูกยางพาราเฉลี่ย 13.09 ไร่ ใช้งานในครัวเรือนเฉลี่ย 2 คน มีประสบการณ์การทำสวนยางเฉลี่ย 11.9 ปี เกษตรกรชาวสวนยางส่วนใหญ่เป็นสมาชิกกลุ่มยางพาราเข้าร่วมกิจกรรมของชุมชน เฉลี่ย 2.99 กิจกรรม ได้ผ่าน

การฝึกอบรมเฉลี่ย 1.98 หลักสูตร ส่วนใหญ่ผ่านหลักสูตร การรวมกลุ่มขายยาง การตลาดยางพารา ทางด้านการติดต่อหน่วยงานของเกษตรกร เฉลี่ย 1.75 หน่วยงาน และด้านช่องทางการรับข้อมูลข่าวสารด้านยางพารา จำนวนเฉลี่ย 2.5 ช่องทาง

เกษตรกรชาวสวนยางจังหวัดแพร่มีระดับความรู้ระดับปานกลาง มีความคิดเห็นด้วยในระดับมาก และมีการปฏิบัติในระดับมาก สำหรับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อความคิดเห็นต่อสิทธิประโยชน์ใน พรบ. การยางแห่งประเทศไทย ได้แก่ ประสบการณ์การทำสวนยาง การเป็นสมาชิกกลุ่ม การติดต่อหน่วยงาน การรับข้อมูลข่าวสาร และระดับความรู้ โดยมีระดับนัยสำคัญ ($\text{Sig.} < 0.05$) และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการปฏิบัติ มี 7 ตัวแปร ได้แก่ เพศ สถานภาพ การเป็นสมาชิกกลุ่ม การร่วมกิจกรรม ชุมชน การฝึกอบรม การติดต่อหน่วยงานและระดับความรู้ โดยมีระดับนัยสำคัญ ($\text{Sig.} < 0.05$)

ข้อเสนอแนะของเกษตรกรชาวสวนยางเพื่อเข้าถึงสิทธิประโยชน์ตาม พรบ. การยางแห่งประเทศไทย คือ การปรับปรุงระเบียบปฏิบัติ พรบ. เพื่อให้เกษตรกรที่ปลูกยางในพื้นที่ที่ไม่มีเอกสารสิทธิสามารถเข้าถึงสิทธิตาม พรบ.การยางแห่งประเทศไทยได้มากขึ้น และจากผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์พบว่า การเข้าเป็นสมาชิกกลุ่ม การเข้ารับฝึกอบรม การติดต่อหน่วยงาน และการมีความรู้มีความสัมพันธ์ทั้งด้านความคิดเห็นและการปฏิบัติ เสนอให้ กยท. เน้นการสนับสนุนสร้างความเข้มแข็งในการรวมกลุ่มของเกษตรกร พัฒนาผ่านกระบวนการของกลุ่ม สร้างอำนาจต่อรองด้านราคายางพารา รวมถึงการบูรณาการร่วมกับหน่วยงานต่างๆ เช่น มหาวิทยาลัย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ผู้ประกอบการเอกชนที่มีองค์ความรู้ในการฝึกอบรมให้ความรู้ เพื่อลดต้นทุนการผลิต ถ่ายทอดเทคโนโลยีในการบริหารจัดการสวนยางอย่างมีประสิทธิภาพ พัฒนาแปรรูปผลผลิตให้มีคุณภาพ ตลอดจนยกระดับศักยภาพเกษตรกรชาวสวนยาง เพื่อให้เป็นผู้ประกอบการในการแปรรูปผลผลิตเป็นผลิตภัณฑ์

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาประเด็นกิจกรรมกลุ่มเกษตรกร เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเกษตรกรส่วนใหญ่ เข้าเป็นสมาชิกกลุ่ม สะท้อนให้เห็นว่ามีความเชื่อมั่น ในรูปแบบการรวมกลุ่ม เพื่อเป็นการศึกษาแนวทางการ ขยับเคลื่อนการพัฒนาเกษตรกรชาวสวนยางผ่านระบบกลุ่ม เกษตรกรมากยิ่งขึ้น

2. ควรมีการศึกษาประเด็น แนวทางการเพิ่ม ประสิทธิภาพการดำเนินงาน และการพัฒนาคุณภาพชีวิต ของเกษตรกร ภายใต้ พรบ. การยางแห่งประเทศไทย เพื่อได้แนวทางที่สอดคล้องกับความต้องการ และเกิด ประโยชน์สูงสุดต่อเกษตรกรชาวสวนยาง

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จด้วยดี จากความกรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ จากคณาจารย์ที่ปรึกษา สาขาพัฒนา ทรัพยากรและส่งเสริมการเกษตร คณะผลิตกรรมการ เกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ การสนับสนุนจากผู้บริหาร การยางแห่งประเทศไทย และความร่วมมือการให้ข้อมูล จากเกษตรกรชาวสวนยางจังหวัดแพร่ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบ ขอบพระคุณไว้อย่างสูง ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- Peng Sawat, V. 2010. **Applied Statistics for Social Science Research**. Bangkok: Suwiriyasarn. 410 p. [in Thai]
- Prasitratasin, S. 2002. **Using Statistics in Research Correctly and Receiving International Standards**. Bangkok: Fueng Fah Printing. 444 p. [in Thai]

Suwatthi, P. 1998. Sampling for research.

Journal of Administrative Development 38(3): 103-130. [in Thai]

Suwan, P. 1999. **Attitude: Measurement of Change and Hygiene Behavior**.

Bangkok: Thai Wattana Panich Publishing Company Limited. 143 p. [in Thai]

The Rubber Authority of Thailand. 2016.

Thai Rubber Act 015. [Online]. Available http://www.rubber.co.th/ewt_news.php?nid=4037_ (10 February 2018).

Thiraphutthabhokhin, N. 2016. **Rubber "The**

Gears Driving the Economy. [Online]. Available <https://forbesthailand.com/commentaries/insights/%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%9F%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%9F%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%82%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B9%80%E0%B8%84.html> (10 February 2018).

Yamane, T. 1973. **Statistics: An Introductory Analysis**. 3rd. New York: Harper and Row Publication. 1130 p.

ความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงราย
The Strength of Farmer Groups Participating in Large Agricultural Land Plots
on Rice Farming in Chiang Rai Province

รภัทสรณ์ คงธนจารูอนันต์* และอารีย์ เชื้อเมืองพาน

Raphassorn Kongtanajaruanun* and Aree Cheamuangphan

คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Faculty of Economics, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: phassy77@gmail.com

Received: May 25, 2020

Revised: November 11, 2020

Accepted: February 22, 2021

Abstract

The purposes of this research were to study levels and factors influencing the strength of farmer groups participating in large agricultural land plots on rice farming in Chiang Rai province. The samples of this study were 319 farmers whose members' farmer groups participating in large agricultural land plots on a rice farm and selected by using a multi-stage sampling technique. The instrument used to collect data was the 319 questionnaires with a reliability of 0.925. The statistical tests were performed by using statistical frequency, percentage, average, standard deviation, and multiple linear regression for hypothesis testing. The results found that the factors affecting the strength of farmer groups included participation, support from both public and private sectors, group management, and leadership. Finally, factors related to local wisdom and community culture and natural and environmental resources had no effect on the strength of the communities.

Keywords: strength, farmer group, large agricultural land plots on rice farming

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาระดับและปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงราย กลุ่มตัวอย่างจำนวน 319 ราย โดยใช้วิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน โดยจัดกลุ่มแบบสัดส่วน หาจำนวนกลุ่มตัวอย่างโดยการสุ่มอย่างง่าย โดยนำรายชื่อสมาชิกเกษตรกรมาสุ่ม

โดยใช้คอมพิวเตอร์ตามจำนวนที่กำหนด เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา คือ แบบสอบถาม จำนวน 319 ชุด ซึ่งค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามอยู่ที่ 0.925 สถิติในการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยสำคัญต่อความเข้มแข็งของกลุ่ม ได้แก่ การสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐและองค์กรเอกชน การบริหารจัดการกลุ่ม และผู้นำ ส่วนปัจจัย

ภูมิปัญญาท้องถิ่นและวัฒนธรรมกลุ่ม และปัจจัย
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ไม่ส่งผลต่อระดับ
ความเข้มแข็งของกลุ่ม

คำสำคัญ: ความเข้มแข็ง กลุ่มเกษตรกร ระบบเกษตร
นาแปลงใหญ่

คำนำ

ท่ามกลางกระแสการพัฒนาประเทศตามแนว
ทางการพัฒนากระแสหลักที่มุ่งให้ประเทศปรับเปลี่ยนเป็น
ระบบอุตสาหกรรม โดยเน้นการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ
ในภาพรวมนั้น ในมุมของภาคเกษตรกรรมถือเป็นรากฐาน
ของการผลิตในสังคมไทยให้เดินหน้าไปสู่เป้าหมายที่วางไว้
เฉกเช่นเดียวกัน ดังนั้นย่อมต้องได้รับการพัฒนาให้ภาค
การเกษตรมีมาตรฐาน มั่นคง และยั่งยืน ด้วยการนำ
องค์ความรู้และภูมิปัญญาท้องถิ่นมาประยุกต์ควบคู่กับ
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม รวมถึงการต่อยอดไปสู่การทำ
เกษตรทฤษฎีใหม่ เพื่อสร้างความเข้มแข็งให้กับเกษตรกร
และชุมชน สามารถพึ่งพาตนเองได้ กลไกหนึ่งที่สนับสนุน
ให้เกษตรกรและชุมชนได้รับการพัฒนาอย่างเต็ม
ความสามารถจนนำไปสู่เป้าหมาย นั่นคือ ความเข้มแข็ง
ของกลุ่มเกษตรกร ที่จะสามารถสะท้อนศักยภาพด้านการ
บริหารจัดการกลุ่มของเกษตรกร ไม่ว่าจะเป็นศักยภาพ
ของผู้นำ การมีส่วนร่วม รวมไปถึงการแลกเปลี่ยนเรียนรู้
ระหว่างเครือข่ายของเกษตรกร ดังนั้นในการดำเนินงาน
กลุ่มของเกษตรกรจะมีประสิทธิภาพหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับ
คนในกลุ่มนั้นๆ เนื่องจากในแต่ละกลุ่มเกษตรกรจะมี
ความแตกต่างเป็นไปตามบริบทของแต่ละพื้นที่ ปัญหาที่
เกิดอาจมีความแตกต่างกัน การบริหารจัดการกลุ่มมี
ลักษณะต่างกัน การกำหนดโครงสร้างการดำเนินงานไม่
เหมือนกัน รวมทั้งกฎระเบียบ และเงื่อนไขต่างๆ เป็นต้น
ดังนั้นหากกลุ่มเกษตรกรมีความสามารถในการบริหาร
จัดการกลุ่มที่มีประสิทธิภาพ จะส่งผลทำให้กลุ่มเกษตรกร
มีความเข้มแข็งและยั่งยืน

ในปัจจุบันระบบเกษตรนาแปลงใหญ่เป็น
นโยบายที่กำหนดมาจากภาครัฐ โดยกระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์ ซึ่งได้มีการประกาศและนำเสนอนโยบายควบคู่
กับแผนยุทธศาสตร์ระยะ 5 ปี ของกระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์ ระหว่างปี พ.ศ. 2560-2564 ที่มีเป้าหมายอยู่
ที่การเร่งให้เกษตรกรทำเกษตรนาแปลงใหญ่ให้ได้ถึง 1.5
ล้านไร่ในอนาคต ยุทธศาสตร์ที่วางนี้ในด้านหนึ่งเป็นการต่อ
ยอดความสำเร็จของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์
หลักคิดของการส่งเสริมระบบเกษตรนาแปลงใหญ่
มีเป้าหมายเพื่อมุ่งปรับเปลี่ยนระบบการส่งเสริม
การเกษตรในพื้นที่ขนาดใหญ่ เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต
ของเกษตรกรรายย่อยมาสู่การรวมกลุ่มที่สามารถใช้
เครื่องมือเครื่องจักรกลมาช่วยในการผลิต เข้าถึง
เทคโนโลยีได้มากขึ้น มีความสามารถในการจัดการ
การผลิตผลผลิตอย่างมืออาชีพ ทำให้คุณภาพสินค้าได้
มาตรฐานเท่าเทียมกัน สามารถเข้าถึงการตลาด และสร้าง
อำนาจต่อรองทางการตลาดสูงขึ้น ดังนั้นข้อได้เปรียบของ
เกษตรนาแปลงใหญ่จึงอยู่ที่การลดต้นทุนการผลิต การเพิ่ม
ผลผลิตต่อไร่ การเพิ่มศักยภาพการบริหารจัดการผลิตของ
ชุมชนแบบครบวงจร และการเชื่อมโยงตลาดระหว่าง
เกษตรกร ผู้ประกอบการ สหกรณ์การเกษตร เกิดความ
เข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกร อีกทั้งเกษตรกรสามารถ
จำหน่ายผลผลิตได้ในราคาที่เป็นธรรม

จังหวัดเชียงรายมีสภาพแวดล้อมทั่วไปที่อุดม
สมบูรณ์ มีศักยภาพในการเพาะปลูกพืชได้หลากหลายชนิด
โดยเฉพาะข้าวถือเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญและมีความ
หลากหลายทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคมและวัฒนธรรม
ปัจจุบันจังหวัดเชียงราย มีเกษตรกรที่เข้าร่วมเป็นสมาชิก
ระบบเกษตรแปลงใหญ่ จำนวนทั้งสิ้น 1,594 ราย และได้
ขึ้นทะเบียนเข้าร่วมโครงการส่งเสริมระบบเกษตรนาแปลงใหญ่
เพื่อเก็บข้อมูลการจัดทำทะเบียนสมาชิกและบันทึกข้อมูล
พื้นฐานของสมาชิก ในปี พ.ศ. 2561 พบว่าผลผลิตของ
กลุ่มเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการฯ สามารถลดต้นทุนการ
ผลิตได้ร้อยละ 19 และสามารถผลิตข้าวที่มีคุณภาพได้
ร้อยละ 13 (Department of Agricultural Extension,

2017) จากข้อมูลของเจ้าหน้าที่กรมการข้าว และจากการสัมภาษณ์เชิงลึกตัวแทนกลุ่มชาวนาในพื้นที่ พบว่ายังเกิดปัญหาและอุปสรรคในการบริหารจัดการกลุ่มอย่างต่อเนื่อง เกี่ยวกับความไม่เข้าใจและไม่เห็นความสำคัญในการรวมกลุ่ม (Rice Department Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2020) ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ศึกษาระดับความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ และปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงราย ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการบริหารจัดการกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงรายให้มีประสิทธิภาพ ตามนโยบายของรัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่มีการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการบริหารจัดการกลุ่มที่เข้มแข็ง มีรายได้ที่มั่นคง เกิดความยั่งยืนในชุมชนต่อไป ทั้งนี้ในการศึกษาในครั้งนี้จะประยุกต์ใช้หลักแนวคิดในการศึกษาวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

แนวคิดเกี่ยวกับระบบเกษตรนาแปลงใหญ่

เกษตรนาแปลงใหญ่ คือ วิธีการหนึ่งในการเพิ่มความได้เปรียบทางการแข่งขันของหน่วยผลิตด้วยการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงสุด หรืออีกนัยหนึ่งคือการบริหารความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างต้นทุนการผลิตกับปริมาณการผลิต/ขนาดการผลิต เพื่อให้เกิดการประหยัดต่อขนาด จะเกิดขึ้นได้โดยการผลักดันให้เกษตรกรรวมกลุ่มการผลิต การจัดหาปัจจัยการผลิตที่มีคุณภาพ การจัดการด้านการตลาดและห่วงโซ่อุปทาน รวมทั้งมีการบริหารจัดการฟาร์มที่ดี เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของธุรกิจ คือ 1) การเพิ่มขีดความสามารถในการสร้างกำไร 2) ความมั่นคงของกิจการและการเติบโตขยายกิจการ รวมถึงการพัฒนาผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดอย่างไม่สิ้นสุด 3) ความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมได้รับการรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตร และคุณค่าทางโภชนาการ

(Department of Agricultural Extension, 2018) แนวทางการดำเนินงานระบบส่งเสริมการเกษตรนาแปลงใหญ่ของเกษตรกร ดังนี้ 1) เกษตรกรสมัครใจเข้าร่วมกลุ่มแปลงใหญ่ พร้อมทั้งจะพัฒนาการผลิตและการตลาดร่วมกัน โดยเข้ามามีส่วนร่วมตลอดกระบวนการพัฒนา เช่น วิเคราะห์ปริมาณการผลิต/ขนาดการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อให้เกิดการประหยัดต่อขนาด เพื่อวางแผนการผลิตและแผนการตลาด การวิเคราะห์กำหนดเป้าหมายการผลิตและการตลาด การกำหนดการใช้ปัจจัยการผลิตและเทคโนโลยีต่างๆ การพัฒนาคุณภาพมาตรฐานสินค้า และการกำหนดแผนปฏิบัติการและดำเนินการตามแผน เป็นต้น 2) เกษตรกรรวมตัวในรูปแบบกลุ่ม/องค์กร/วิสาหกิจชุมชนหรือสหกรณ์ ที่มีความเข้มแข็งในการบริหารจัดการกลุ่มตนเอง 3) มีพื้นที่การทำเกษตรกรรมรายสินค้าชนิดเดียวกัน เป็นสินค้าที่มีศักยภาพทางเศรษฐกิจและสอดคล้องกับข้อมูล Agri-map โดยแปลงของเกษตรกรไม่จำเป็นต้องติดต่อกันแต่ควรตั้งอยู่ภายในชุมชนที่ใกล้เคียงกัน 4) เกษตรกรที่เข้าร่วมแปลงใหญ่นำมาดำเนินการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในด้านการจัดการดินและน้ำและสามารถเข้าถึงแหล่งเงินทุน เพื่อใช้ในการพัฒนาการผลิตและสร้างความเข้มแข็งให้แก่กลุ่มหรือองค์กรที่จัดตั้งขึ้นเพื่อบริหารจัดการแปลงใหญ่ พร้อมทั้งได้รับการถ่ายทอดองค์ความรู้และการบริการต่างๆ ตามความต้องการของเกษตรกรจากหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ผลลัพธ์ด้านความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการ เป็นหนึ่งในตัวชี้วัดความสำเร็จของระบบส่งเสริมการเกษตรนาแปลงใหญ่ อีกทั้งสามารถสะท้อนให้เห็นถึงการบริหารจัดการกลุ่มฯ ที่มีประสิทธิภาพ

แนวคิดเกี่ยวกับความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกร

จากการค้นคว้า ผู้วิจัยพบว่าได้มีนักวิชาการซึ่งได้ให้แนวคิดความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรไว้ ดังนี้ กลุ่มเกษตรกรตามพระราชกฤษฎีกาว่าด้วยกลุ่มเกษตรกร พ.ศ. 2547 มีความหมายว่า บุคคลผู้ประกอบอาชีพ

เกษตรกรรมเป็นหลักจำนวนไม่น้อยกว่าสามสิบคน และมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการประกอบอาชีพเกษตรกรรม อาจารย์ร่วมกันจัดตั้งเป็นกลุ่มเกษตรกร และจดทะเบียนจัดตั้งตามพระราชกฤษฎีกา (Cooperative Promotion Department, 2020) การรวมตัวกันของเกษตรกรนับเป็นแนวทางสำคัญต่อการพัฒนาการเกษตร เพราะการรวมตัวกันนอกจากจะเป็นการเพิ่มอำนาจต่อรอง ทั้งด้านการซื้อปัจจัยการผลิตและขายผลผลิตแล้ว ยังนำมาซึ่งความสามัคคีเกิดความร่วมมือกันของหมู่คณะ ซึ่งกลุ่มมุ่งเน้นการมีส่วนร่วมในการพัฒนาแก้ปัญหา สามารถพึ่งตนเองได้ และนำไปสู่ความเข้มแข็งของชุมชน (Ariwan, 2016) ส่วนความเข้มแข็งของชุมชนนั้นหมายถึง สมาชิกในชุมชนรักและผูกพันต่อกันต่อชุมชน มีความรู้สึกว่าเป็นส่วนหนึ่งของชุมชน มีศักยภาพที่จะพึ่งพาตนเองแม้จะต้องพึ่งพาปัจจัยภายนอกบ้าง แต่อำนาจการตัดสินใจทุกๆ ด้านยังอยู่ที่ชุมชน (Sawinee, 2011) โดยที่ประชาชนในชุมชนไม่ว่าจะเป็นชุมชนเมืองหรือชนบทรวมตัวกันเป็นองค์กรชุมชน โดยมีการเรียนรู้การจัดการ และแก้ไขปัญหาาร่วมกันของชุมชน แล้วนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงหรือการพัฒนาต่อไป

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มแข็งของชุมชน พบว่ามี 6 ปัจจัยที่สอดคล้องกับบริบทในพื้นที่ที่ทำการวิจัย ประกอบไปด้วย 1) ปัจจัยผู้นำ กลุ่มเกษตรกรส่วนใหญ่มักขาดแคลนผู้นำ ผู้นำมักเกิดขึ้นโดยธรรมชาติจากผู้ประสบผลสำเร็จในอาชีพ มีความรู้ความสามารถ มีบารมี มีฐานะ เป็นที่พึ่งพาของคนในชุมชนได้ สอดคล้องกับ Rane (2001) ให้ความหมายผู้นำไว้ว่า ผู้ที่สามารถชักจูงโน้มน้าวหรือใช้อิทธิพลให้ผู้อื่นปฏิบัติงานสำเร็จตามวัตถุประสงค์ 2) ปัจจัยการมีส่วนร่วมของผู้นำชุมชนและประชาชน เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการพัฒนาชุมชนให้เข้มแข็ง (Phichon, 2009) ทั้งนี้ต้องเกิดจากความตระหนักและตัดสินใจของสมาชิกเอง รัฐเป็นเพียงผู้ทำให้เกิดการมีส่วนร่วมเท่านั้น (Amphai, 2009) 3) ปัจจัยการบริหารจัดการกลุ่มชุมชน โดยการเสริมสร้างกระบวนการเรียนรู้ผ่านการ

ทำโครงการ/กิจกรรมต่างๆ โดยการบูรณาการ ทุกภาคส่วน เพื่อให้ชุมชนเกิดการพัฒนาดังต่อเนื่อง โดยชุมชนจะต้องมีกระบวนการในการจัดการของการจัดทำแผนชุมชนสู่การปฏิบัติ 4) ปัจจัยด้านภูมิปัญญาท้องถิ่นและวัฒนธรรมสมาชิกในชุมชนมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกัน เครือญาติกัน มีการช่วยเหลือเอื้อเฟื้อเกื้อกูลกันฉันท์พี่น้อง หากในชุมชนมีการสืบทอดภูมิปัญญาท้องถิ่นให้แก่สมาชิกรุ่นใหม่ๆ ไม่ว่าจะเป็นประเพณี ความเชื่อ และพิธีกรรมที่สืบทอดมาจากบรรพบุรุษ ทำให้เกิดการเรียนรู้และถ่ายทอดความรู้ของชุมชนสืบไป (Somboon, 2013) 5) ปัจจัยด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยการจัดการทรัพยากรในชุมชนตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงเสริมสร้างให้ชุมชนเกิดความเข้มแข็ง (Withaya, 2011) และ 6) ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐและองค์กรเอกชน การเกิดความร่วมมือระหว่างหน่วยงานต่างๆ เป็นเงื่อนไขที่สำคัญ และเป็นกลไกในการสร้างความเข้มแข็ง สามารถบริหารจัดการท้องถิ่นของตนเองอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกร คือ การที่กลุ่มเกษตรกรสามารถคิด กำหนดทิศทาง วิธีการบริหารจัดการกลุ่มที่เป็นไปตามความต้องการของ สมาชิกโดยส่วนใหญ่ โดยมีกระบวนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และการมีส่วนร่วมในการพัฒนากลุ่มของตนเอง สู่การดำเนินชีวิตแบบสามารถพึ่งพาตนเองได้ และในขณะเดียวกันสามารถปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ภายนอกที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างพลวัต (Hansuek, 2007)

จากการทบทวนแนวคิด ทฤษฎี วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัยระดับความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ และปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงราย ดังนั้น สามารถสรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกร ทำให้ได้ตัวแปรอิสระจำนวน 6 ตัวแปร ดังกรอบแนวคิดการวิจัย (Figure 1)

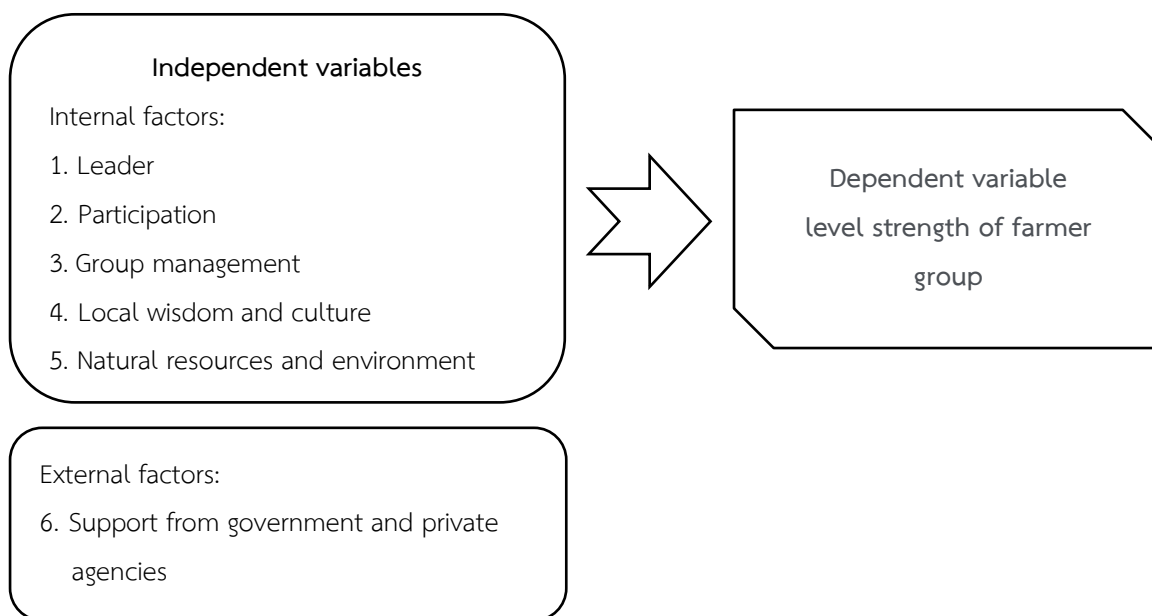


Figure 1 Conceptual framework

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงปริมาณ และใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่นำมาศึกษาครั้งนี้คือ กลุ่มเกษตรกรที่เป็นสมาชิกขึ้นทะเบียนเข้าร่วมโครงการส่งเสริมระบบเกษตรแบบนาแปลงใหญ่ จำนวนทั้งสิ้น 1,594 ราย และกำหนดกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้การคำนวณตามวิธีการของยามาเน (Yamane, 1973) กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 0.05 ได้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 319 คน ใช้วิธีการสุ่มแบบง่ายโดยนำรายชื่อสมาชิกเกษตรกรมาสุ่มโดยใช้คอมพิวเตอร์ตามจำนวนที่กำหนด ขั้นตอนที่ 1) แบ่งเขตพื้นที่สุ่มตัวอย่างกลุ่มเกษตรกรที่เป็นสมาชิกขึ้นทะเบียนเข้าร่วมโครงการส่งเสริมระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ ขั้นตอนที่ 2) ทำการจัดกลุ่มตัวอย่างแบบสัดส่วน โดยการหาจำนวนกลุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่มเกษตรกรที่เป็นสมาชิกระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ ขั้นตอนที่ 3) ทำการสุ่มตัวอย่างแบบง่ายโดยนำบัญชีรายชื่อสมาชิกที่ขึ้นทะเบียนมาสุ่มเลือกกลุ่ม

ตัวอย่างโดยใช้คอมพิวเตอร์ ในการทดสอบเครื่องมือโดยใช้วิธีการวัดความสอดคล้องพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ครอนแบ็คอัลฟา โดยใช้ข้อคำถามที่มีค่าความเชื่อมั่นตั้งแต่ 0.70 และภาพรวมของแบบสอบถามทั้งฉบับที่มีค่าตั้งแต่ 0.70 ขึ้นไป ถือว่าเชื่อถือได้ค่อนข้างสูง (Prasithrathsint, 2000) ซึ่งจากการทดสอบได้ค่าความเชื่อมั่น ผลรวมทั้งหมดได้ค่าเท่ากับ 0.925 ซึ่งถือว่าเชื่อถือได้จึงนำแบบสอบถามไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไปด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 4 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ค่าความถี่และร้อยละ ตอนที่ 2) การวิเคราะห์ระดับความเข้มแข็งของชุมชน โดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตอนที่ 3) การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา โดยใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) และตอนที่ 4) สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ใช้เพื่ออธิบายค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ได้แก่ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มแข็งของกลุ่มชาวนาระบบเกษตรนาแปลงใหญ่จังหวัดเชียงราย มีข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างพบว่า สมาชิกกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงราย ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 54.30 และเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 45.70 มีอายุเฉลี่ยอยู่ที่ 63 ปี มีที่ดินทำกินเฉลี่ย 12 ไร่ มีการถือครองที่ดินทำกินของตนเอง คิดเป็นร้อยละ 62.50 และเช่าที่ดินทำกิน คิดเป็นร้อยละ 37.50 ส่วนใหญ่มีรายได้ระหว่าง 60,001-80,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 22.25 ตามลำดับ

ผลการสำรวจความคิดเห็นของสมาชิกถึงปัจจัยใดที่มีส่วนกำหนดให้กลุ่มเกิดความเข้มแข็ง ซึ่งสะท้อนให้

เห็นว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มแข็งกลุ่มชาวนาระบบเกษตรนาแปลงใหญ่จังหวัดเชียงราย ภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}=4.14$, $SD=0.54$) ส่วนใหญ่ให้ระดับความสำคัญปัจจัยด้านการมีส่วนร่วมส่งผลต่อความเข้มแข็งของกลุ่มฯ ซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.22$, $SD=0.53$) ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐและองค์กรเอกชนอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}=4.17$, $SD=0.58$) ปัจจัยด้านการบริหารจัดการกลุ่มฯ อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}=4.16$, $SD=0.58$) ปัจจัยด้านผู้นำกลุ่มฯ อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}=4.15$, $SD=0.57$) ปัจจัยด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของกลุ่มฯ อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}=4.12$, $SD=0.56$) และปัจจัยด้านภูมิปัญญาท้องถิ่นและวัฒนธรรม อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}=4.02$, $SD=0.60$) ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Level of factors affecting the strength of farmer groups participating in large agricultural land plots in Chiang Rai province

Factors affecting the strength of farmer groups	$\bar{x}$	SD	Level of opinions factors affecting the strength of farmer groups
Leader	4.15	0.57	High
Participation	4.22	0.53	Highest
Group management	4.16	0.58	High
Local wisdom and culture	4.02	0.60	High
Natural resources and environment	4.12	0.56	High
Support from government and private	4.17	0.58	High
Total	4.14	0.54	High

Level of opinions factors affecting the strength of farmer groups' levels: 4.21-5.00 =highest; 3.41-4.20 = high; 2.61-3.40 = medium; 1.81-2.60 = low; 1.00-1.80 = lowest

เมื่อพิจารณาผลการดำเนินงานกิจกรรมของกลุ่มถึงระดับความเข้มแข็งเป็นรายประเด็น ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นเกี่ยวกับระดับความเข้มแข็งของกลุ่มชาวนาระบบเกษตรนาแปลงใหญ่จังหวัดเชียงราย ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.24$, $SD=0.78$) เมื่อพิจารณาห้าอันดับแรกมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ส่งผลต่อระดับความเข้มแข็งของชุมชน พบว่ากลุ่มเกษตรกรสามารถผลิตอาหารเพื่อบริโภคเองได้ อยู่ในระดับมาก

ที่สุด ($\bar{x}=4.37$, $SD=0.85$) เกษตรกรมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมในกลุ่ม อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.35$, $SD=0.83$) ผู้นำมีความสามารถในการบริหารจัดการ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.33$, $SD=0.81$) กลุ่มเกษตรกรมีคุณภาพชีวิตที่ดี อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.29$, $SD=0.81$) และเกษตรกรมีรายได้ที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิต อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.25$, $SD=0.81$) ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 The strength level of farmer groups participating in large agricultural land plots in Chiang Rai

The strength level of farmer groups	$\bar{X}$	S.D.	Level of opinions
Leaders have the ability to manage groups.	4.33	0.81	Highest
There is planning of the structure and regulation of the group.	4.20	0.76	High
There is group management that is transparent and verifiable.	4.19	0.88	High
Comprehensive product management and marketing	4.18	0.82	High
Product and product quality development	4.19	0.76	High
Appropriate welfare for farmer group	4.17	0.82	High
Training to enhance skills and knowledge of farmers	4.20	0.81	High
Farmers are involved in group activities.	4.35	0.83	Highest
Farmers can produce food for their own consumption.	4.37	0.85	Highest
Farmers have sufficient income to support themselves.	4.25	0.81	Highest
Farmers have savings.	4.19	0.77	High
Farmers have a good quality of life.	4.29	0.81	Highest
Total	4.24	0.78	High

Level of opinions factors affecting the strength of farmer groups' levels: 4.21-5.00 =highest; 3.41-4.20 = high; 2.61-3.40 = medium; 1.81-2.60 = low; 1.00-1.80 = lowest

ในการศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อระดับความเข้มแข็งของกลุ่มซึ่งประกอบด้วยตัวแปรอิสระ 8 ตัวแปร ได้แก่ อายุของสมาชิก ระดับการศึกษาของสมาชิก ปัจจัยด้านผู้นำกลุ่มมีความรู้ความสามารถ ปัจจัยด้านการมีส่วนร่วมในกิจกรรม ปัจจัยด้านการบริหารจัดการกลุ่ม ปัจจัยด้านภูมิปัญญาท้องถิ่นและวัฒนธรรม

ปัจจัยด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และปัจจัยด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐ โดยปัจจัยต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กัน (Table 3) โดยเฉพาะปัจจัยด้านผู้นำกลุ่มมีความรู้ความสามารถ และปัจจัยด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐ

Table 3 The correlation coefficient of variables

	AGE	EDUCATION	LEADER	PARTICIPATION	MANAGEMENT	CULTURE	ENVIRON	SUPPORTED
AGE	1.0000	0.0626	0.0678*	-0.0476	0.0130	-0.0476	0.0845	-0.0177
EDUCATION	0.0626	1.0000	0.0650	0.1495	0.2790**	0.1495	0.0158	-0.2540*
LEADER	0.0678*	0.0650	1.0000	-0.0965	0.0075*	-0.0965	0.2701	0.1003
PARTICIPATION	-0.0476	0.1495	-0.0965	1.0000	0.8490**	0.7241**	-0.2840**	-0.8810**
MANAGEMENT	0.0130	0.2790**	0.0075*	0.8490**	1.0000	0.8490**	0.0771	-0.7770**
CULTURE	-0.0476	0.1495	-0.0965	0.7241**	0.8490**	1.0000	-0.2840**	-0.8810**
ENVIRON	0.0845	0.0158	0.2701	-0.2840**	0.0771	-0.2840**	1.0000	0.2260*
SUPPORTED	-0.0177	-0.2540*	0.1003	-0.8810**	-0.7770**	-0.8810**	0.2260*	1.0000

***, **, * denote significance at the 0.01, 0.05, and 0.10 levels of t-statistic, respectively

Table 4 The relationship of factors that influence the strength of the group

Variables	Coefficient	Standard error	Sig-t
(Constant)	0.4461*	0.2684	0.0965
AGE	-9.7600	8.0524	0.2534
EDUCATION	-0.0082	0.0086	0.3405
LEADER	7.1456**	3.1608	0.0238
PARTICIPATION	3.0238	0.1267	0.0000
MANAGEMENT	-0.0000185***	0.00000629	0.0033
CULTURE	0.00000157***	0.0000922	0.8926
ENVIRON	-0.2124	0.2979	0.8854
SUPPORTED	0.4698***	0.1755	0.0074

***, **, * denote significance at the 0.01, 0.05, and 0.10 levels of t-statistic, respectively.

Dependent variable is level of strength. $R^2=0.683$ and Adjusted $R^2=0.680$

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple regression) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มแข็งของกลุ่มชาวนาระบบเกษตรนาแปลงใหญ่จังหวัดเชียงราย (Table 4) พบว่ามี 4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระดับความเข้มแข็งของกลุ่ม ได้แก่ ปัจจัยด้านการมีส่วนร่วม ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐและองค์กรเอกชน ปัจจัยด้านการบริหารจัดการกลุ่ม และปัจจัยด้านผู้นำ เมื่อนำตัวพยากรณ์ทั้ง 8 ตัวแปรเข้าสู่สมการถดถอยพหุคูณแล้ว มีผลให้ค่าอำนาจการทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.683 ซึ่งถือว่าตัวแปรอิสระของแบบจำลองดัง Table 4 สามารถอธิบายถึงความเข้มแข็งของกลุ่มได้ค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่อธิบายถึงพฤติกรรมมนุษย์ นั่นหมายความว่า ปัจจัยด้านการมีส่วนร่วม ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐและองค์กรเอกชน ปัจจัยด้านการบริหารจัดการกลุ่ม และปัจจัยด้านผู้นำ สามารถพยากรณ์ความเข้มแข็งของกลุ่มชาวนาระบบเกษตรนาแปลงใหญ่จังหวัดเชียงรายได้ร้อยละ 68.30

วิจารณ์ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาระดับความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงราย โดยกำหนดปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกร 6 ด้าน ได้แก่ ด้านผู้นำ ด้านการมีส่วนร่วม ด้านการบริหารจัดการกลุ่มเกษตรกร ด้านการเรียนรู้ร่วมกันของชุมชน ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ด้านภูมิปัญญาท้องถิ่นและวัฒนธรรมชุมชน และด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐและองค์กรเอกชน จากผลการวิจัยพบว่า สมาชิกกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ มีความเห็นว่า กลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงรายมีความเข้มแข็งระดับมาก ($\bar{X}=4.24$, $SD=0.78$) เนื่องจากสมาชิกกลุ่มให้ความร่วมมือเข้ามาร่วมกิจกรรมอย่าง

สม่ำเสมอ ความเข้มแข็งชุมชนทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ มีส่วนร่วมในการพัฒนากลุ่มร่วมกัน และสามารถพึ่งพาตนเองได้ อีกทั้งยังสามารถปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ภายนอกได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wisit and Usanakon (2018) ที่ศึกษาเรื่องปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มแข็งของชุมชนหมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียงต้นแบบ อำเภอเกาะจันทร์ ซึ่งเป็นชุมชนที่มีความเข้มแข็งมากโดยใช้ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มแข็งที่นำมาศึกษาเหมือนกัน จากผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยด้านการมีส่วนร่วมเป็นปัจจัยอันดับที่ 1 ที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่มีการจัดกระบวนการเรียนรู้เป็นรากฐานและเป็นพลังในการส่งเสริมความเข้มแข็งให้กับกลุ่มสมาชิกในชุมชน ทั้งนี้ชุมชนได้เรียนรู้ร่วมกันในการแก้ปัญหาของชุมชนร่วมกันอย่างสม่ำเสมอ และชุมชนได้ร่วมกันกำหนดแนวทางพัฒนาชุมชนให้เกิดความเข้มแข็ง มีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรมของชุมชน สอดคล้องกับ Phichon (2009) พบว่าการมีส่วนร่วมของผู้นำชุมชนและประชาชนในชุมชนเป็นปัจจัยสำคัญของความเข้มแข็ง ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนทำให้เกิดกิจกรรม และสามารถดำเนินกิจกรรมต่างๆ ได้อย่างประสบความสำเร็จ

ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐและองค์กรเอกชนเป็นปัจจัยอันดับที่ 2 ที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ สอดคล้องกับ Witthaya (2011) พบว่าการสนับสนุนจากองค์กรภาครัฐและเอกชนมีผลต่อการพัฒนาชุมชนมาก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการพัฒนาสมาชิกในชุมชนให้มีความเข้มแข็ง โดยการให้ความรู้ อบรม สร้างระบบข้อมูลการสนับสนุนจากองค์กรภายนอกเพื่อสามารถนำไปปฏิบัติ ซึ่งสามารถสร้างกลุ่มชุมชนมีความเข้มแข็งมากขึ้นความร่วมมือระหว่างหน่วยงานต่างๆ เป็นเงื่อนไขที่สำคัญในการเป็นกลไกสร้างความเข้มแข็ง สามารถบริหารจัดการท้องถิ่นของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยด้านการบริหารจัดการกลุ่มเป็นปัจจัยอันดับที่ 3 ที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่

สอดคล้องกับ Thanachot (2005) พบว่าปัจจัยด้านการบริหารจัดการชุมชนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มแข็งของชุมชน หากปัจจัยด้านการบริหารจัดการชุมชนที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มแข็งมากขึ้น จะทำให้ชุมชนเกิดความเข้มแข็งเพิ่มขึ้นด้วย ปัจจัยด้านผู้นำเป็นปัจจัยอันดับที่ 4 ที่ส่งผลต่อความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ สอดคล้องกับแนวคิดของ Laddawan (2016) พบว่าผู้นำที่มีความรู้ความสามารถมีความสำคัญต่อความเข้มแข็งของชุมชน เป็นที่รักและเคารพโดยได้รับการยอมรับของสมาชิกในชุมชน มีความสามารถในการตัดสินใจ อีกทั้งมีจิตอาสา มีความเสียสละและทำงานเพื่อส่วนรวมอย่างแท้จริง ดังนั้นจากผลการศึกษาพบว่า หากต้องการให้กลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงรายเกิดความเข้มแข็ง จะต้องมีการพัฒนาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มแข็งของกลุ่มทั้ง 4 ปัจจัยข้างต้น เนื่องจากผลการวิเคราะห์ สามารถพยากรณ์ความเข้มแข็งของกลุ่มชาวนาระบบเกษตรนาแปลงใหญ่จังหวัดเชียงราย ได้ร้อยละ 68.30

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่อง ความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงราย ผลการศึกษาพบว่า การมีส่วนร่วมของสมาชิกกลุ่มเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของการรวมกลุ่ม ขณะที่ปัจจัยด้านภูมิปัญญาท้องถิ่นและวัฒนธรรมมีความสำคัญน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่นๆ ระดับความเข้มแข็งจากการดำเนินกิจกรรมของกลุ่มเกษตรกรอยู่ในระดับเข้มแข็งมาก ($\bar{x}=4.24$, $SD=0.78$) โดยสาเหตุที่ทำให้กลุ่มเกิดความเข้มแข็งสูงสุด คือ กลุ่มเกษตรกรสามารถผลิตอาหารเพื่อบริโภคเองได้ เกษตรกรมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมในกลุ่ม สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัด

เชียงราย ได้แก่ ปัจจัยด้านการมีส่วนร่วม ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐและองค์กรเอกชน ปัจจัยด้านการบริหารจัดการกลุ่ม และปัจจัยด้านผู้นำ จะต้องมีการส่งเสริมและพัฒนาปัจจัยเหล่านี้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากจะนำมาซึ่งความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงรายให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ซึ่งเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดความสำเร็จของระบบส่งเสริมการเกษตรนาแปลงใหญ่ ข้อเสนอแนะจากการวิจัยหน่วยงานภาครัฐ และองค์กรเอกชน ควรให้การสนับสนุนส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ กับกลุ่มเกษตรกรอย่างจริงจังและต่อเนื่อง ทั้งด้านอบรมความรู้ เสริมสร้างทักษะ รวมทั้งด้านงบประมาณ เพื่อให้กลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงราย มีความเข้มแข็งเกิดการพัฒนามีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ กลุ่มเกษตรกรระบบเกษตรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดเชียงราย ที่สละเวลาอันมีค่ามาให้ข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเป็นอย่างยิ่ง และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Ariwan, K. 2016. Success of the integration of Japanese farmers reflections on Thai farmers. [Online]. Available <https://landactionthai.org/2012-05-18-03-24-45/article/108-content2.html?start=12> (24 May 2020).

- Amphai, S. 2009. **Factors affecting the strength of Sam Chuk centennial market community, Sam Chuk district, Suphan Buri province.** [Online]. Available <https://dric.nrct.go.th/Search/ShowFulltext/2/229457> (20 March 2020).
- Cooperative Promotion Department. 2020. **Establishment of farmer groups.** [Online]. Available <http://office.cpd.go.th/dacfg/images/2561/MainInfo/Guidelines-FG-.pdf> (24 March 2020).
- Department of Agricultural Extension. 2017. **Budget allocation report of the large scale agricultural system promotion project.** [Online]. Available https://ssnet.doae.go.th/wp-content/uploads/2017/08/scan_0030.PDF (9 March 2020).
- _____. 2018. **Summary of project details according to policy important (agenda) 15 projects.** [Online]. Available <https://www.opsmoac.go.th/satun-dwl-files-401291791018> (24 June 2020).
- Hansuek, S. 2007. **Factors Affecting the Strong Community: A Case Study of Tha Kham Subdistrict Municipality, Chon Daen District, Phetchabun Province.** Master Thesis. Phetchabun Rajabhat University. 132 p. [in Thai].
- Laddawan, S. 2016. Factors influencing to the strength of community: the case study at Samchuk, Suphunburi. pp. 629-637. *In Proceedings the 1st Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi National Conference: The 1st RUSCON.* Phra Nakhon Si Ayutthaya: University of Technology Suvarnabhumi.
- Phichon, O. 2009. **Leadership and Public Participation in Strengthening the Community Development, Livable City: The Case Study Muang Phatthana District, Mae Taeng District, Chiang Mai Province.** Master Thesis. Chiang Mai University. 116 p. [in Thai].
- Prasithrathsint, S. 2000. **Statistics for Social Science Research.** 4th Ed. Bangkok: Fueng Fa Printing Co., Ltd. 188 p. [in Thai].
- Ranee, I. 2001. **Teaching Document, Introduction to Tourism Industry.** Unit 8-15 (2nd edition). Nonthaburi: Sukhothai Thammathirat University. 372 p. [in Thai].
- Rice Department Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2020. **Project to enhance the rice seed production potential of largely agricultural land plots in Chiang Rai province.** [Online]. Available <http://www.ricethailand.go.th/web/index.php/mactivities/7617-2020-02-06-10-06-05> (14 May 2020).

- Sawinee, R., 2011. **Strength Community: A Case Study of Ban Pang Champi Community, Huay Kaew, Mae On, Chiang Mai.** Master Thesis. Silpakorn University. 157 p. [in Thai].
- Somboon, T. 2013. Local wisdom-based model to build up community strength in Chiang Rai province. **Journal of Education Naresuan University** 15(2): 58-66. [in Thai]
- Thanachot, I. 2005. **Factors Affecting Community Strength: A Case Study of Phu Ruea District Loei Province.** Master Thesis. Sukhothai Thammathirat University. 117 p. [in Thai].
- Wisit, Y. and T. Usanakon. 2018. Factors contributing to community strength of village models for sufficiency economy Amphoe Koh Chan, Chonburi province. **Journal of Applied Arts** 11(1): 39-50.
- Witthaya, C. 2011. **Development of a Strong Community Management Model Based on the Sufficiency Economy Philosophy in the Upper Central Region.** Doctoral Dissertation. Rajabhat University. 137 p. [in Thai].
- Yamane, T. 1973. **Statistics: An Introductory Analysis.** 3rdEd. New York: Harper and Row Publications. 1130 p.

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร เป็นวารสารราย 4 เดือน กำหนดออกปีละ 3 ฉบับ โดยเริ่มฉบับที่ 1 ในเดือนมกราคม ฉบับที่ 2 ในเดือนพฤษภาคม และฉบับที่ 3 ในเดือนกันยายน มีจุดประสงค์หลักเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ และองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตรทั่วประเทศ โดยมีการเผยแพร่ออนไลน์ (Journal Online) ในรูปวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-ISSN 2630-0206) สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตร เรื่องที่จะตีพิมพ์ในวารสาร นอกจากบทความวิจัยแล้ว บทความทางวิชาการอื่นๆ ที่เป็นการแสดงความคิดใหม่ หรือสมมุติฐานใหม่ที่มีหลักฐานอ้างอิง หรือเป็นการแสดงความคิดเห็นอย่างกว้างขวางหรือลึกซึ้งในสาขาวิชาการใดสาขาวิชาการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร หรือเป็นการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ที่มีสิทธิ์ได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องกับบทความนั้นๆ อย่างน้อย 2 ท่าน พิจารณาให้ลงตีพิมพ์ ได้เช่นเดียวกัน

การเตรียมต้นฉบับ

1. **ต้นฉบับ** เผยแพร่บทความเป็นภาษาไทย โดยใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา ในส่วนของหัวข้อเรื่อง และขนาดตัวอักษร 15 ตัวปกติ ในส่วนของเนื้อหา พิมพ์หน้าเดียว เว้นขอบทั้ง 4 ด้าน 1 นิ้ว (2.5 ซม.) พร้อมระบุเลขหน้า ความยาวของเนื้อเรื่อง รวมรูปภาพ ตาราง และเอกสารอ้างอิงต้องไม่เกิน 10 หน้า
2. **ชื่อเรื่อง** ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกระชับและตรงกับเนื้อเรื่อง ขนาดตัวอักษร 18 ตัวหนา
3. **ชื่อผู้แต่ง และสถานที่ติดต่อ** ต้องมีชื่อเต็ม-นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 15 ตัวหนา และระบุหน่วยงานหรือสถาบันที่สังกัด ของผู้แต่งหลักและผู้แต่งร่วมทุกคน และ E-mail address ของผู้แต่งหลักไว้ด้วย ขนาดตัวอักษร 12 ตัวปกติ
4. **บทคัดย่อ (Abstract)** บทความวิจัย/บทความทางวิชาการอื่นๆ จะต้องมีย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด โดยเขียนให้กะทัดรัด ตรงประเด็น และให้สาระสำคัญ
5. **คำสำคัญ (Keywords)** ต้องมีคำสำคัญทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา อย่างละไม่เกิน 5 คำ
6. **เนื้อเรื่อง**

- (1) **คำนำ** อธิบายความสำคัญของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย อาจรวมการตรวจเอกสารเข้าไว้ด้วย ในการอ้างอิงเอกสารให้เขียนชื่อผู้แต่ง และปีที่ตีพิมพ์ อยู่ในวงเล็บเดียวกัน หรือเขียนชื่อผู้แต่ง แล้วเขียนปีที่ตีพิมพ์ ไว้ในวงเล็บแล้วแต่กรณี **เฉพาะภาษาอังกฤษ** ดังนี้ “.....โรคใบหงิกมีพบทั่วไปในประเทศบังคลาเทศ จีน อินเดีย อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา ไต้หวัน ไทย (Boccardo and Milne, 1984; Ling *et al.*, 1978) ในประเทศไทยนั้น นอกจากก่อความเสียหายกับข้าวปลูกทั้งชนิด Japonica และ Indica (*Oryza sativa*) พันธุ์ต่างๆ แล้ว Thawat (2001) ยังพบว่า ทำความเสียหายได้กับข้าวไร่และข้าวป่าต่างๆ.....”
- (2) **อุปกรณ์และวิธีการ/วิธีดำเนินการวิจัย** อธิบายเครื่องมือ พร้อมระบุวิธีการวิจัย วิธีการเก็บข้อมูล ระยะเวลาและปีที่ทำการวิจัย รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ให้บรรยายโดยสรุปและไม่จำเป็นต้องระบุวิธีการที่เป็นที่รู้จักทั่วไป
- (3) **ผลการวิจัย** ไม่จำเป็นต้องแสดงวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ แต่ให้เสนอในรูปของตาราง และรูปภาพโดยสรุปหลังจากวิเคราะห์ทางสถิติแล้ว ทั้งนี้ **คำอธิบายและรายละเอียดต่างๆ ของตารางและรูปภาพ ต้องเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น** โดยมีความชัดเจน กะทัดรัด และมีหมายเลขกำกับด้านบของตารางและด้านล่างของรูปภาพ และเมื่ออ้างถึงในเนื้อหาให้ใช้เป็นคำว่า Table และ Figure
- (4) **การวิจารณ์ผล การสรุปผล และข้อเสนอแนะ** ควรวิจารณ์ผลการวิจัยพร้อมทั้งสรุปประเด็น และสาระสำคัญของงานวิจัย หรือให้ข้อเสนอแนะบนพื้นฐานของผลการวิจัย

หมายเหตุ: หน่วยวัดตามระบบต่างๆ ให้ใช้ตัวย่อตามมาตรฐานในการเขียนที่กำหนดไว้ เช่น เซนติเมตร = ซม. ตารางเมตร = ตร.ม.

มิลลิกรัมต่อกรัม = มก./กก. แต่ถ้าเป็นหน่วยวัดที่มีเพียงอย่างเดียวให้ใช้คำเต็มตามปกติ เช่น เมตร กรัม ลิตร

7. **กิตติกรรมประกาศ** เพื่อแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย
8. **เอกสารอ้างอิง** รายชื่อเอกสารที่ใช้เป็นหลักในการค้นคว้าวิจัยและมีการอ้างอิงในเนื้อหา ต้องแสดงเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น กรณีที่อ้างอิงจากเอกสารภาษาไทยหรือภาษาอื่นๆ ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษ โดยมีวงเล็บกำกับท้ายเอกสาร [in Thai] หรือภาษาอื่นๆ ตามคำแนะนำวิธีการเขียน ดังนี้

การเขียนเอกสารอ้างอิง

1. บทความจากวารสารวิชาการมาตรฐาน

1.1 ผู้เขียนคนเดียวหรือหลายคน

ชื่อผู้เขียนบทความคนที่ 1/ผู้เขียนบทความคนที่ 2/และผู้เขียนบทความคนสุดท้าย./ปีที่พิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร/
เลขปีที่(เลขฉบับที่):/เลขหน้า.

Koiprasert, H. and P. Niranatlumpong. 2004. Investigation of method for stainless steel welding wire as a replacement for arc wire consumables. **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 27(1): 91-100. [in Thai]

Nadeem, M.Y. and M. Ibrahim. 2002. Phosphorus management in wheat-rice cropping system. **Pak. J. Soil Sci.** 21(4): 21-23.

Chowdhury, M.A.H., R. Begum, M.R. Kabit and H.M. Zakir. 2002. Plant and animal residue decomposition and transformation of S and P in soil. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 5(7): 736-739.

2. หนังสือ

2.1 ผู้เขียนคนเดียวหรือหลายคน

ชื่อผู้แต่งคนที่ 1/ผู้แต่งคนที่ 2/และผู้แต่งคนสุดท้าย./ปีที่พิมพ์./ชื่อหนังสือ./ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)./สถานที่พิมพ์:สำนักพิมพ์./
จำนวนหน้า.

Peyachoknagu, S. 2000. **Pan Thu Vis Sa Wa Kum.** Bangkok: Kasetsart University Press. 256 p. [in Thai]

Aksornkoae, S. 1999. **Ecology and Management of Mangroves.** Bangkok: Kasetsart University Press. 198 p.

Rajeshwar, K. and J.G. Ibanez. 1997. **Environmental Electrochemistry.** San Diego: Academic Press. 327 p.

2.2 บทหนึ่งในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่พิมพ์./ชื่อบทความ./น./เลขหน้าที่ปรากฏเรื่อง./ใน/ชื่อผู้รับผิดชอบ./ชื่อหนังสือ./รายละเอียดอื่นๆ (ถ้ามี).
//ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)/สถานที่พิมพ์:สำนักพิมพ์.

Hill, S.E. 1996. Emulsions. pp. 153-185. In Hall, G.M. (ed.). **Methods of Testing Protein Functionality.** London: Chapman & Hall.

Jacober, L.F. and A.G. Rand. 1982. Biochemical of Seafood. pp. 347-365. In Martin, R.E., G.J. Flick, C.E. Hebard and D.R. Ward (eds.). **Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products.** Westport: AVI Inc.

2.3 หนังสือที่มีผู้รับผิดชอบในหน้าที่เป็นผู้รวบรวม ผู้เรียบเรียง หรือบรรณาธิการ

ชื่อผู้รับผิดชอบ./ (หน้าที่รับผิดชอบ)./ ปีที่พิมพ์./ชื่อเรื่อง./ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)./สถานที่พิมพ์:สำนักพิมพ์./จำนวนหน้า.

Tosirichok, K. (Editor). 1994. **Karn Rak Sa Doi Sa Moon Pri.** 1st. Bangkok: Mayik Publisher. 172 p. [in Thai]

Byrappa, K. and M. Yoshimura. (eds.). 2001. **Handbook of Hydrothermal Technology.** New Jersey: Noyes Publication. 854 p.

3. เอกสารอื่นๆ

3.1 วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง./ปีที่พิมพ์./ชื่อวิทยานิพนธ์./ระดับของวิทยานิพนธ์./ชื่อสถาบันการศึกษา./จำนวนหน้า.

Soitongcome, P. 1987. **Tannin Extraction from Rhizophora's Bark for Retanning.** Master Thesis. Kasetsart University. 113 p. [in Thai]

Saiklao, W. 2002. **Adaptive Bandwidth Allocation Control for Virtual Paths in Broadband Networks.** Doctoral Dissertation. Georgia Institute of Technology. 86 p.

3.2 รายงานการประชุมวิชาการ รายงานการสัมมนา ปาฐกถา รายงานประจำปี

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่พิมพ์./ชื่อบทความ./น./เลขหน้าที่ปรากฏเรื่อง./ใน/ชื่อการประชุม./รายละเอียดอื่นๆ (ถ้ามี)./ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี)./สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

Summadee, P. and B. Leenanon. 2013. Production of Probiotic Kefir Product. p. 109-116 *In Proceedings of the 12th MJU Annual Conference (Poster)*. Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]

Coates, J. 2013. Clinical Trial for Canine Degenerative Myelopathy. pp. 29-31. *In Proceedings of ACVIM Specialty Symposium (Pre-forum) 12-15 June 2013*. Seattle: American College of Veterinary Internal Medicine (ACVIM).

3.3 รายงานผลการวิจัย

ชื่อผู้เขียนงานวิจัย./ปีที่พิมพ์./ชื่องานวิจัย./จำนวนหน้า./ใน/รายงานผลการวิจัย./สถานที่พิมพ์:ชื่อหน่วยงาน.

Pooprornpan, P., K. Duangsong and R. Sriaporn. 2001. **DNA fingerprinting of Thai native orchid *Vanda coerulea***. 62 p. *In Research Report*. Chiang Mai: Maejo University. [in Thai]

Theraumpon, N. 2003. **Automatic classification of white blood cells in bone marrow images**. 74 p. *In Research Report*. Chiang Mai: Chiang Mai University.

3.4 บทความจากนิตยสาร

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่ตีพิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อนิตยสาร./ปีที่ของนิตยสาร(เล่มที่): เลขที่หน้าที่อ้างอิง.

Srinuansom, K. 2018. Half-artificial breeding of *Monopterus albus*. **Maejo Vision** 18(4): 33-37. [in Thai]

3.5 บทความจากหนังสือพิมพ์

ชื่อผู้เขียนบทความ./ปีที่ตีพิมพ์./ชื่อบทความ./ชื่อหนังสือพิมพ์./ (วันที่/เดือน/ปี): เลขที่หน้าที่อ้างอิง.

Manapaisarn, S. 2006. Kra Sate Tra Korn Thai Nai A Na Koth. **Thai Rath**. (10 January 2006): 7. [in Thai]

4. แหล่งข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

ผู้แต่งหรือผู้รับผิดชอบ./ปีที่บันทึกข้อมูล./ชื่อเรื่อง./[ระบบออนไลน์]/แหล่งที่มา/ระบุแหล่งการติดต่อเครือข่ายหรือการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล ชื่อแฟ้มข้อมูล/(วันที่/เดือน/ปี ที่ค้นข้อมูล).

Maythiyanon, T., N. Piriyarungroj and S. Soponarit. 2004. Novel vortex-fluidized bed combustor with two combustion chambers for rice-husk fuel. **SJST** 26(6): 875-893. [Online]. Available <http://www2.psu.ac.th/PresidentOffice/EduService/Journal/Firstpage.htm> (22 September 2005). [in Thai]

National Economic and Social Development Board (NESDB). 2001. **Input-output tables of Thailand**. [Online]. Available <http://www.nesdb.go.th> (8 August 2001).

Singh, M. and R.P. Singh. 2001. **Siderophore producing bacteria-as potential biocontrol agents of mushroom disease**. [Online]. Available <http://www.uio.no/conferences June2000.htm# Samuels> (3 July 2001).

Guide for Authors

Manuscripts submitted for publication should be of high academic merit and are accepted on condition that they are contributed solely to the Journal of Agricultural Research and Extension. Manuscripts, parts of which have been previously published in conference proceedings, may be accepted if they contain additional material not previously published and not currently under consideration for publication elsewhere.

Submission of a multi-authored manuscript implies the consent of all the participating authors. All manuscripts considered for publication will be peer-reviewed by at least 2 independent referees.

Submission checklist

Manuscript submission must include title page, abstract, keywords, text, tables, figures, acknowledgments, reference list and appendices (if necessary). The title page of this file should include the title of the article, full names, official name and affiliations of all authors, E-mail address, telephone and fax numbers and full postal address of the corresponding author.

Preparation and Submission of Manuscripts

Authors submitting manuscripts for consideration for publication should follow the following guidelines.

1. Manuscript texts must be written using high-quality language. For non-native English language authors, the article should be proof-read by a language specialist before it is sent to Journal.
2. Manuscript texts should not exceed than 10 pages and the combined number of figures and tables. The inclusion of more figures and tables will reduce the word allowance, and vice versa.
3. The manuscript text and tables should be created using Microsoft Word.
4. Manuscript texts should be prepared single column, with sufficient margins (1.0 inch) for editorial and proof-reader's marks. 15 pt TH Sarabun PSK font should be used throughout and all pages numbered consecutively.
5. Abstracts should not exceed than 200 words. About 5 keywords should also be provided.
6. All measures in the text should be reported in abbreviation
7. Tables and figures should each be numbered consecutively.
8. Acknowledgments should be as brief as possible, in a separate section before the references, not in the text or as footnotes.
9. Citations of published literature in the text should be given in the form of author and year in parentheses; (Hoffmann *et al.*, 2001), or, if the name forms part of a sentence, it should be followed by the year in parenthesis; Hoffmann *et al.* (2001). All references mentioned in the reference list must be cited in the text, and vice versa. The references section at the end of the manuscript should list all and only the references cited in the text in alphabetical order of the first author's surname. The following are examples of reference writing.

Reference to a journal article:

Chowdhury, M.A.H., R. Begum, M.R. Kabit and H.M. Zakir. 2002. Plant and animal residue decomposition and transformation of S and P in soil. **Pak. J. Bio. Sci.** 5: 736-739.

Reference to article or abstract in a conference proceedings:

Coates, J. 2013. Clinical Trial for Canine Degenerative Myelopathy. pp. 29-31. **In Proceedings of ACVIM Specialty Symposium (Pre-forum) 12-15 June 2013.** Seattle: American College of Veterinary Internal Medicine (ACVIM).

Reference to a book:

Rajeshwar, K. and J.G. Ibanez. 1997. **Environmental Electrochemistry.** San Diego: Academic Press. 327 p.

Reference to an edited book:

Hill, S.E. 1996. Emultions. pp. 153-185. *In* Hall, G.M. (ed.). **Methods of Testing Protein Functionality.** London: Chapman & Hall.

Reference to an electronic data source (used only when unavoidable): Supplier/Database name (Database identifier or number)/Item or accession number (Access date) should be included

National Economic and Social Development Board (NESDB). 2001. **Input-output tables of Thailand.** [Online]. Available <http://www.nesdb.go.th> (8 August 2001).

10. Submission of manuscript must conform to the format of the Journal of Agricultural Research and Extension and cover letter to the editor. All should be directed to the editor at the <http://tc-thaijo.org/index.php/MJUJN/index> or <http://www.jare.mju.ac.th>

การส่งต้นฉบับ การตรวจสอบเบื้องต้น และการแก้ไข

1) ส่งไฟล์ต้นฉบับ ให้มีรายละเอียดครบตรงตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ และหนังสือนำส่งถึงบรรณาธิการ โดยนำส่งและลงทะเบียนออนไลน์ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index> หรือ <http://www.jare.mju.ac.th> ช่องทาง “ลงทะเบียนออนไลน์”

2) กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้น ในกรณีที่ต้องแก้ไขจะแจ้งให้เจ้าของบทความทำการแก้ไข ก่อนนำส่งต่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาในลำดับต่อไป สำหรับบทความที่ไม่ได้รับการพิจารณาให้ดำเนินการต่อจะส่งต้นฉบับคืนให้เจ้าของบทความ

3) บทความที่ได้รับการพิจารณาจากกองบรรณาธิการให้ดำเนินการต่อ จะได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างน้อยบทความละ 2 ท่าน ที่เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับบทความนั้นๆ และบทความที่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะส่งข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ พร้อมทั้งต้นฉบับให้เจ้าของบทความปรับปรุงแก้ไข

4) บทความที่ได้รับการตีพิมพ์จะมีการเผยแพร่ออนไลน์ (Journal Online) ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ที่ <http://www.jare.mju.ac.th> และ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/MJUJN/index>

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

บทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ปีที่ 38 ฉบับที่ 1-3 ได้รับความอนุเคราะห์พิจารณาความถูกต้องทางวิชาการของบทความจากผู้ทรงคุณวุฒิจากหลากหลายสถาบัน/หน่วยงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ดังรายนามต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ศาสตราจารย์ ดร. อานันท์ ตันโซ
รองศาสตราจารย์ ดร. จักรพงษ์ พวงงามชื่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายสกุล ฟองมูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริกุล ตฤาสมบัติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เรืองชัย จูวัฒนสำราญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รักษ์สรณ์ คงธนจารุอนันต์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทริกา มณีพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พุฒิสรรค์ เครือคำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ โอสถาพันธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรินทร์ ทองวิทยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐดนัย ลิขิตตระการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยศ สัมฤทธิ์สกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จีราภรณ์ อินทสาร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณะ ลานน้ำเที่ยง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร. ศกร คุณวุฒิฤทธิธิน
รองศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ สิริพลวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร. รัตติยา พงศ์พิสุทธา
รองศาสตราจารย์ ดร. ยงยุทธ โอสถา
รองศาสตราจารย์ ดร. พัฒนา สุขประเสริฐ
รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรียา บุญกอกแก้ว
รองศาสตราจารย์ ดร. กรรณิการ์ ดวงมัลย์
รองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ เพียบพร้อม

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศาสตราจารย์ ดร. ดนัย บุญเกียรติ
รองศาสตราจารย์ น.สพ.ดร. ณัฐวุฒิ สติเมธิ
รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล เศรษฐบุตร
รองศาสตราจารย์ ดร. รุจ ศิริสัญลักษณ์
รองศาสตราจารย์ ดร. พิทยา สรวมศิริ
รองศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ ศรีวิชัยลำพันธ์
รองศาสตราจารย์ ดร. จีราวรรณ ฉายสุวรรณ
รองศาสตราจารย์ ดร. วรทัศน์ อินทร์คัมพร
รองศาสตราจารย์ ดร. ยาวเรศ เขาวนพูนผล
รองศาสตราจารย์ ดร. เบญจพรรณ เอกะสิงห์
รองศาสตราจารย์สุวรรณา เลาหะวิสุทธิ
รองศาสตราจารย์ ภญ. พิมพร สีลาพรพิสิฐ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศรา ลิ่มนรินทร์กุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สงวนศักดิ์ ธนาพรพูนพงษ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะดา ชีระกุลพิศุทธิ์
รองศาสตราจารย์ สพ.ญ.ดร. ฟ่าน่าน สุขสวัสดิ์
รองศาสตราจารย์ น.สพ.ดร. บัณฑิตย์ เต็งเจริญกุล
รองศาสตราจารย์ ดร. โสภณ บุญลือ
รองศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ พวงชมภู
รองศาสตราจารย์ ดร. สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา
รองศาสตราจารย์ ดร. ชูลิมาศ บุญไทย อิวาย
รองศาสตราจารย์ ดร. คุณเดช สุริหาร
รองศาสตราจารย์ ดร. ไกรเลิศ ทวีกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ แสงอาวุธ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร. อัจฉรา เพ็งหนู
รองศาสตราจารย์ ดร. สุธิญา ทองรักษ์
รองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิไลวรรณ ประพฤติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชยวรรณ วัฒนจันทร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร. ชฎา ณรงค์ฤทธิ์
รองศาสตราจารย์ ดร. จรินทร์ บุญญานุภาพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันวิสาข์ ปั่นศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ แสนยางค์

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช

รองศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ พันธิวิชญ์
รองศาสตราจารย์ ดร. สุนันท์ สีสังข์
รองศาสตราจารย์บำเพ็ญ เขียวหวาน

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์ ดร. บุญส่ง เอกพงษ์
รองศาสตราจารย์ ดร. สุริพร เกตุงาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุวดี ชูประภาวรรณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเจียร
รองศาสตราจารย์ น.สพ.ดร. จิรศักดิ์ ตั้งตรงไพโรจน์
รองศาสตราจารย์ ภก.ดร. ปิติ จันทร์วรโชติ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์ ดร. ขนิษฐา สมตระกูล
รองศาสตราจารย์ ดร. อนุชิตา มุ่งงาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

รองศาสตราจารย์ ดร. โองการ วณิชชีวะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนภูมิ ศิริงาม

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นุชนาฏ เสือเล็ก

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

รองศาสตราจารย์ ดร. มยุรี กัลยาวัฒนกุล

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิราภรณ์ ทองตัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร. ยุพารมณ์ อารีพงษ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร. บัญญัติ ศิริธนาวงศ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิภาศักดิ์ คงงาม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา ภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รองศาสตราจารย์ ดร. ชิติ ศรีตนทิพย์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร. อารมณ ศรีพิจิตร

สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1

อาจารย์ ดร. นัทฐา ทักษิรัตน์ศรีณย์

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

Honorable Consultants: Asst. Prof. Dr. Chamnian Yosraj
Asst. Prof. Pawin Monochai

Directing Editors: Assoc. Prof. Dr. Yongyut Khamsee Assoc. Prof. Dr. Jamnian Bunmark
Asst. Prof. Dr. Jiraporn Inthasan Asst. Prof. Dr. Sureewan Mekkamol

Editor-in Chief: Assoc. Prof. Dr. Kriangsak Sri-Ngernyuang

Editorial Board:	Prof. Chalermpol Sampet	Chiang Mai University
	Prof. Emeritus Dr. Anurak Panyanuwat	Chiang Mai University
	Prof. Dr. Tanongkiat Kiatsiriroat	Chiang Mai University
	Prof. Dr. Sanchai Jaturasitha	Chiang Mai University
	Prof. Dr. Prisarn Sithigorngul	Srinakharinrawit University
	Prof. Dr. Pranom Chantaranothai	Khon Kaen University
	Prof. Dr. Uthairat Na-Nakorn	Kasetsart University
	Prof. Dr. Siriwat Wongsiri	Maejo University
	Assoc. Prof. Dr. Wallratat Intarucconnorn	Chiang Mai University
	Assoc. Prof. Dr. Wandee Wattanachaiyingcharoen	Naresuan University
	Assoc. Prof. Dr. Ubolluk Rattanasak	Burapha University
	Assoc. Prof. Dr. Pramot Seetakoses	Maejo University
	Assoc. Prof. Dr. Prasert Janyasupab	Maejo University
	Assoc. Prof. Dr. Nopmanee Topoonyanont	Maejo University
	Assoc. Prof. Aomtip Mekruksawannich-Kampe	Maejo University
	Assoc. Prof. Prawit Puddhanon	Maejo University
	Asst. Prof. Teerapong Sawangpanyangkura	Maejo University

Operation committee:	Ms. Varee Rahong	Mrs. Thanyarat Thawatmongkonsuk
	Ms. Rungsima Ampawan	Mrs. Thipsuda Pookmanee
	Mr. Somyot Meesuk	Ms. Ampar Sansai
	Mrs. Chiranan Senanan	Ms. Ranrana Kayun

PR and Publishing:	Mr. Prinya Painusa	Mr. Prasit Chaikum
	Mrs. Prapaisri Thongjang	

Journal of Agricultural Research and Extension is a publication of the Office of Agricultural Research and Extension, Maejo University, and is intended to make available the results of technical work in the agricultural and related social sciences. Articles are contributed by MJU faculty members as well as by relevant general public. The paper must be considered by at least 2 peer reviewers. **Journal of Agricultural Research and Extension** is published three times per year, the first issue is on January, the second and the third issue are on May and September, respectively. Contact with the Journal should be addressed to:

The Editor, Journal of Agricultural Research and Extension
Academic Services Administration Division, Office of Agricultural Research and Extension
Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

Tel: +66-53-87-3411 Fax: +66-53-87-3418
E-mail: Mju_journal@gmaejo.mju.ac.th
Web site: www.jare.mju.ac.th



JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION

Office of Agricultural Research & Extension

Maejo University

Vol. 38 No. 3 September – December 2021

E-ISSN 2630-0206

Magnesium Fertilizer Response of Maize Grown in Growing Media Chakkrit Poonpakdee and Jumpen Onthong.....	1-14
Pattern of <i>Streptomyces</i> sp. Culture Filtrate Application on Seedling Growth of Rice cv. RD6 Cultivated under Fluorene or Phenanthrene Contamination Khanitta Somtrakoon, Bussarin Sabutong, Patchariporn Srinoi Rachadaporn Chaiyasit, Apidech Sangdee and Waraporn Chouychai.....	15-27
Assessment of Potato Variety Resistance to <i>Phytophthora infestans</i> in Greenhouse Thitaporn Ruangkul, Tharntip Bhasabutra, Orathai Wongmetha Chatsuda Phuakjaiphaeo and On-Uma Ruangwong.....	28-38
Phosphorus Deficiency in Plant and Roles of Phosphate-solubilizing Bacteria Khanitta Somtrakoon and Waraporn Chouychai.....	39-49
Isolation and Role of Halophilic Bacteria and Halotolerant Lactic Acid Bacteria Involved in Biochemical Reactions in Fermented Fish Fermentation Process Somkiat Seilsuth, Supanee Danviriyakul, Amnat Pakdeeto, Chantharat Phitchayaphon Suntitham Chotipratoom and Tajchada Arayakarn.....	50-61
Development of Multiplex Polymerase Chain Reaction for Detection of <i>Ehrlichia canis</i>, <i>Hepatozoon canis</i>, <i>Babesia canis</i> and <i>Anaplasma platys</i> in Dogs Pennapa Takam, Reankeaw Praphet, Saengtong Pongjareankit and Wasin Chareerntantanakul.....	62-74
Effects of Nursing Rice-field Crab (<i>Sayamia bangkokensis</i>) with <i>Spirulina</i> (<i>Arthrospira</i>) platensis Supplemented Diets on Growth Performance and Cost Thanabodee Pintasiri, Jongkorn Promya, Chanagun Chitmanat and Sudaporn Tongsir.....	75-85
Cost-benefit and Economic, Society and Environmental Impacts of Srivijaya Naked Neck Chicken Production Jareewan Chankong and Napapach Chuaychu-noo.....	86-99
Urban Agriculture and BCG Economic Model Tupthai Norsuwan, Kularb Utthasuk, Thakoon Punyasai, Thanit Saltikulnukam, Rattanaphon Chaima Pongsakorn Suppakittpaisarn, Ekachai Yaipimol, Vipavee Surinseng Nadchawan Charoenlerthanakit and Thewin Kaeomuangmoon.....	100-116
Value Added of Coffee Pulp as Functional Ingredient in Skin Care Cosmetic Nitchima Boonyu, Lapatrada Mungmai, Kriangsak Mengamphan Nattawut Whangsomnuek and Doungporn Amornlerdpison.....	117-127
Adhering to Okra Production Technology for Export among Farmers in Nakhon Pathom Province Onuma Thonglor, Nualpen Puangpuns, Paparwee Chaiyo Wanrapa Posri and Suwanan Kummong.....	128-137
Adoption Pattern of Rice Parachute Technology by Farmers in Phitsanulok Province Sirin Mahayotsanun, Yunyong Chalermisan and Napharat Vetchasitniraphai.....	138-151
Factor Affecting Adoption for Vegetables with Good Agricultural Practices Standard in the Upper North of Thailand Patcharin Supapunt, Patcharee Intanu and Kongnaran Chaikampun.....	152-170
Factors Affecting Opinions and Practice with the Privileges under the Rubber Authority of Thailand Act of Rubber Farmer, Phrae Province Thanasarn Thammalerdsathid, Nakarate Rangkawat, Phahol Sakkatat and Kangsadan Kanokhong.....	171-181
The Strength of Farmer Groups Participating in Large Agricultural Land Plots on Rice Farming in Chiang Rai Province Raphassorn Kongtanajaruanun and Aree Cheamuangphan.....	182-193

AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION