



SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วารสาร

เกษตรพระจอมเกล้า

KING MONGKUT'S AGRICULTURAL JOURNAL

ปีที่ 41 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม-เมษายน 2566

VOLUME 41 NUMBER 1 JANUARY - APRIL 2023



Approved by TCI during 2022-2024



บรรณาธิการแถลง

วารสารเกษตรพระจอมเกล้าฉบับนี้เป็นฉบับแรกของปีที่ 41 ประจำเดือนมกราคม - เมษายน 2566 ในฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัย จำนวน 11 เรื่อง ประกอบด้วยสาขาพืชไร่ 2 เรื่อง สาขา กัญญาวิทยา 1 เรื่อง สาขาโรคพืช 1 เรื่อง สาขาปฐพีวิทยา 1 เรื่อง สาขาสัตวศาสตร์ 1 เรื่อง สาขาประมง 4 เรื่อง และสาขาส่งเสริมและพัฒนากการเกษตร 1 เรื่อง

ทางวารสารเกษตรเกษตรพระจอมเกล้า มีจุดมุ่งหมายเพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความ วิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง จากหลากหลายหน่วยงานและ สถาบันการศึกษาต่างๆ ทางกองบรรณาธิการยินดีเป็นสื่อกลาง สำหรับนักวิจัย นักวิชาการ นิสิต นักศึกษาทุกท่าน ที่ประสงค์จะตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานของท่าน ซึ่งต้องผ่านการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน จึงกล่าวได้ว่า บทความที่เผยแพร่ไปนั้น ได้รับการกลั่นกรองและผ่านกระบวนการที่เข้มข้นทุก รายละเอียด เพื่อยกระดับคุณภาพของงานวิจัยและมีมาตรฐานทางวิชาการ

กองบรรณาธิการ จึงขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมในการสร้างงานวิชาการเหล่านี้ทุกท่าน ทั้งเจ้าของ ผลงาน ผู้ทรงคุณวุฒิ กองบรรณาธิการและผู้จัดการวารสาร ซึ่งวารสารนี้ยังคงเป็นแหล่งรองรับผลงานดีๆ ที่สร้างสรรค์ เพื่อเป็นประโยชน์แก่แวดวงวิชาการต่อไป สำหรับผู้ที่สนใจส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสาร เกษตรพระจอมเกล้า สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal> หรือสามารถติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่ E-mail : ajournal@kmitl.ac.th หวังว่าผู้อ่านจะได้รับประโยชน์อย่างเต็มที่ในเนื้อหาสาระของวารสารฉบับนี้ และคงได้รับความสนใจจากนักวิจัยและนักวิชาการส่งบทความเข้าร่วมเผยแพร่อย่างต่อเนื่องต่อไป นะครับ

รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา หมั่นเก็บ
บรรณาธิการ วารสารเกษตรพระจอมเกล้า

ผลของ 6-Benzyladenine ร่วมกับ silver thiosulfate ต่อลักษณะการเจริญเติบโตและ การชักนำการออกดอกในมันสำปะหลัง

Effects of 6-Benzyladenine with Silver Thiosulfate on Growth Traits and Flowering Induction in Cassava

ธนพล แพร่งกระโทก^{1,2*}, เฉลิมพล ภูมิไชย์¹ และ ภัคจี คงศีล¹

Thanapon Prangkratok^{1,2*}, Chalermphol Phumichai¹, and Pasajee Kongsil¹

บทคัดย่อ

ลักษณะการออกดอกของมันสำปะหลังมีความสำคัญในขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ เพื่อให้สามารถกำหนดคู่ผสมตามแผนได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินการตอบสนองของมันสำปะหลังที่มีต่อลักษณะการเจริญเติบโตและการออกดอกเมื่อได้รับการชักนำด้วยการฉีดพ่น 6-benzyladenine (BA) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับ silver thiosulfate (STS) วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยใช้มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ซึ่งได้รับการฉีดพ่นด้วย BA ที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับ STS ความเข้มข้น 2.0 มิลลิโมลาร์ เก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโต ประกอบด้วย ความสูงต้น ความสูงการแตกกิ่งที่ 1 และค่าสัดส่วนการแตกกิ่งที่ 1 ต่อความสูงต้น เมื่อมันสำปะหลัง อายุ 2-8 เดือนหลังปลูก และลักษณะการออกดอก ประกอบด้วย จำนวนดอกตัวเมีย จำนวนดอกตัวผู้ และจำนวนช่อดอกต่อต้น เมื่อมันสำปะหลังอายุ 5-8 เดือนหลังปลูก ผลการทดลองพบว่า BA ทุกระดับความเข้มข้น ส่งผลให้ลักษณะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกลักษณะของทุกเดือนที่ศึกษา ในขณะที่ลักษณะการออกดอกพบว่า BA ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลให้จำนวนดอกตัวเมีย จำนวนดอกตัวผู้ และจำนวนช่อดอกต่อต้น ของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) เมื่อมันสำปะหลังอายุ 7 เดือนหลังปลูก การฉีดพ่น BA 1.0 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับ STS ส่งผลให้ค่าลักษณะดังกล่าวมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของ BA จะส่งผลให้ลักษณะการออกดอกของมันสำปะหลังแตกต่างกันทางสถิติในบางเดือนที่ศึกษา แต่ไม่ส่งผลต่อจำนวนดอกที่เพียงพอเพื่อใช้ในขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง

คำสำคัญ: การปรับปรุงพันธุ์พืช สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ไซโตไคนิน ซิลเวอร์ไธโอซัลเฟต

Abstract

Cassava flowering characteristics are important for breeding program in order to operate the preferred crossing along with the plan. Therefore, this research aims to assess cassava response to growth and flowering traits when it was induced by spraying 6-benzyladenine (BA) at different concentrations along with silver thiosulfate (STS). The Randomized Complete Block Design (RCBD) with four replications was planned by using Huay-bong 80 as a commercial variety that was sprayed with BA at concentrations of 0, 0.5, 1.0 1.5 and 2.0 mM with 2.0 mM STS concentrations. The data from growth traits which consisted of the plant height, the 1st branching height, and the 1st branching ratio

¹ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok Campus, Bangkok 10900

²กลุ่มวิจัยพัฒนาการตรวจสอบพืชและจุลินทรีย์ดัดแปรพันธุกรรม สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

²Research and Development of GM Plant and Microbe Detection Laboratory, Biotechnology Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok, 10900

*Corresponding author, Email: thanaponprangkratok@gmail.com

to plant height were recorded after planting for 2-8 months. The data from flowering traits which consisted of the number of female flowers, the number of male flowers and the number of bunches per plant were recorded after planting for 5-8 months. The results showed that BA at different concentrations did not affect the growth traits of Huay-bong 80. There was no statistically significant difference in all traits of every month studied. For the flowering traits of Huay-bong 80, BA at different concentrations led to the statistically significant differences ($P < 0.01$) in the number of female flowers, the number of male flowers and the number of bunches per plant. When the cassava was 7 months old after planting as well as the number of male flowers and the number of bunches per plant. Spraying 1.0 millimolar BA in combination with STS resulted in the greatest effect. Although the concentration of BA resulted in statistically significant difference in the flowering traits of cassava in some months studied, it did not affect the number of flowers sufficient for using in the cassava breeding program.

Keywords: plant breeding, plant growth regulators; (PGRs), cytokinin, silver thiosulfate (STS)

คำนำ

มันสำปะหลัง (Cassava) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุก ๆ ส่วนตั้งแต่ยอดจนถึงราก โดยผลผลิตมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้แปรรูปเป็นมันเส้นหรือมันอัดเม็ด เพื่อใช้ประโยชน์ในการเป็นอาหารสัตว์และยังสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการแปรรูปอื่น ๆ ได้ เช่น อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง หรืออุตสาหกรรมผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน เป็นต้น (Department of Agriculture, 1983) จากข้อมูลดังกล่าวจึงส่งผลให้ปัจจุบันมีปริมาณความต้องการมันสำปะหลังเพื่อใช้บริโภคภายในประเทศและส่งออกสูงเพิ่มมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2563 มีมูลค่าการส่งออก 82,346,001,304 บาทต่อปี (Office of Agricultural Economics, 2020) และมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้น

การปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังจำเป็นต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่ปัญหาที่พบบ่อยในขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง คือ ลักษณะการออกดอก เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกันแต่แยกกันอยู่คนละตำแหน่งภายในช่อดอกเดียวกัน (monoecious plant) โดยช่อดอกจะเกิดตรงปลายยอด ของลำต้นหรือบริเวณรอยต่อที่เกิดการแตกกิ่ง จึงส่งผลให้พันธุ์ที่ไม่แตกกิ่งจะไม่เกิดช่อดอก ส่วนในพันธุ์ที่ออกดอกยากจะออกดอกไม่พร้อมกันกับพันธุ์อื่น ๆ จากปัญหาดังกล่าวส่งผลต่อการกำหนดคู่ผสมในขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง Tongumpai (1986) พบว่า ไซโตไคนิน เป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่มสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการชักนำการเกิดช่อดอกของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งฮอร์โมนไซโตไคนิน ชนิด 6-Benzyladenine (BA) ที่จะมีบทบาทในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดของเซลล์ การเจริญของกิ่งใบและลำต้น และเร่งการแตกตาข้าง ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการชักนำการเกิดช่อดอกของพืช (Bernier et al., 1985) นอกจากนี้ Oluwasanya et al. (2021) ได้ศึกษาการใช้ BA และ Silver Thiosulfate (STS) ต่อการออกดอกของมันสำปะหลังสายพันธุ์ IITA-TMS-IBA980002 สายพันธุ์ IITA-TMS-IBA30572 และสายพันธุ์ TMEB419 พบว่า การใช้ BA 0.5 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับ STS 2.0 มิลลิโมลาร์ ส่งผลให้มันสำปะหลังเพิ่มจำนวนช่อดอก จำนวนดอกตัวเมีย และจำนวนการติดผล อีกด้วย สำหรับสาร STS เป็นสารกลุ่ม inhibitors ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการสังเคราะห์สารเอทิลีน โดยสาร STS จะมีฤทธิ์ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthase และ ACC oxidase ส่งผลให้เกิดการชะลอการร่วงหล่นของดอกหลังการออกดอก (Ma et al., 2006) จากข้อมูลที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการใช้ BA และ STS มีโอกาสนำมาใช้ในการชักนำการออกดอกของมันสำปะหลังเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินการตอบสนองของมันสำปะหลังพันธุ์หัวยวง 80 ที่

มีต่อลักษณะการเจริญเติบโตและการออกดอกเมื่อได้รับการชักนำด้วยการฉีดพ่น BA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับ STS เหตุผลที่เลือกใช้มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ในการทดลองนี้ เนื่องจากเป็นพันธุ์การค้าที่มีรายงานว่ามีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงโดยมีปริมาณแป้งเฉลี่ยสูงถึง 27.3 เปอร์เซ็นต์ และให้ผลผลิตเฉลี่ย 4.9-5.5 ตัน/ไร่ (Vichukit et al, 1999) ซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็นฐานพันธุกรรมสำคัญที่นำไปใช้ในโครงการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง

วิธีการศึกษา

1. แผนการทดลอง

ทำการทดลองที่สถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ตำบลห้วยบง อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยใช้มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ชักนำการออกดอกด้วยการ ฉีดพ่น BA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ประกอบด้วย 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับสาร STS 2.0 มิลลิโมลาร์

2. การปลูกและการดูแลรักษา

เตรียมพื้นที่สำหรับใช้ทดลองโดยการไถและไถแปรอย่างละ 1 ครั้ง ท่อนพันธุ์ที่ใช้ยาวประมาณ 20-25 เซนติเมตร จากต้นที่มีอายุ 8-12 เดือน สดปราศจากโรคและแมลง จากนั้นนำท่อนพันธุ์ที่ใช้ทดลองมาแช่สารเคมีเพื่อป้องกันกำจัดเชื้อแบคทีเรียและมันสำปะหลัง ปลูกแบบปักตั้งตรงบนสันร่องด้วยระยะปลูก 1 เมตรต่อต้นในแถว และ 2 เมตรต่อแถว เป็นการปลูกแบบอาศัยน้ำฝน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อมีอายุ 30 วันหลังปลูก ตลอดการทดลองกำจัดวัชพืช 3 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ใช้แรงงานคน ครั้งที่ 2 และ 3 ใช้สารเคมีร่วมกับแรงงานคนตามความจำเป็น และจัดการด้านเขตกรรมอื่น ๆ ตามความเหมาะสม

3. ศึกษาความเข้มข้นของ BA ต่อการชักนำการออกดอกของมันสำปะหลัง

ตลอดการทดลองฉีดพ่น BA และ STS 4 ครั้ง โดยฉีดพ่นครั้งแรกเมื่อมันสำปะหลังอายุ 75 วันทางก้านใบของใบที่กางเต็มบริเวณส่วนกลางที่ยังไม่มีสีเหลือง จากนั้นฉีดพ่นทุก ๆ 2 สัปดาห์ แต่ละหน่วยทดลองจะได้รับ BA ที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับสาร STS 2.0 มิลลิโมลาร์ สำหรับความเข้มข้นที่ 0 ฉีดพ่นเพียง STS 2.0 มิลลิโมลาร์ ส่วนความเข้มข้นที่ 0.5 มิลลิโมลาร์ ดัดแปลงจากงานวิจัยของ (Oluwasanya et al., 2021) และเพิ่มความเข้มข้นขึ้นอีก 3 ระดับ โดยฉีดพ่นครั้งละ 100 มิลลิลิตรต่อชนิดสาร

4. การเก็บข้อมูล

4.1 ข้อมูลสภาพอากาศ เก็บข้อมูลสภาพอากาศระหว่างการทดลองโดยอาศัยข้อมูลจากสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ตำบลห้วยบง อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา ตั้งแต่ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 ถึง เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด ปริมาณน้ำฝนรวมในแต่ละเดือน และจำนวนวันฝนตกต่อเดือน

4.2 ข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโต เก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่อายุ 2-8 เดือนหลังปลูก ประกอบด้วย ความสูงต้น ความสูงการแตกกิ่งที่ 1 และค่าสัดส่วนการแตกกิ่งที่ 1 ต่อความสูงต้น คำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{ค่าสัดส่วนการแตกกิ่งที่ 1 ต่อความสูงต้น} = \frac{\text{ความสูงการแตกกิ่งที่ 1}}{\text{ความสูงต้น}}$$

4.3 ข้อมูลลักษณะการออกดอก เก็บข้อมูลลักษณะจำนวนการออกดอกของมันสำปะหลังในเดือนนั้น ๆ ที่อายุ 5-8 เดือนหลังปลูก ประกอบด้วย จำนวนดอกตัวเมีย จำนวนดอกตัวผู้ และจำนวนช่อดอกต่อต้น

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากการเก็บข้อมูลตามแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) โดยใช้โปรแกรม (STAR version 2.0.1., 2014) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ข้อมูลสภาพอากาศ

ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ปริมาณน้ำฝนรายเดือน และจำนวนวันฝนตกต่อเดือน ณ สถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ตำบลห้วยบง อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งการทดลองอยู่ระหว่าง 28-34 องศาเซลเซียส ในขณะที่เดือนกันยายนและมกราคม มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดรายเดือนอยู่ที่ 28 องศาเซลเซียส เดือนมิถุนายนมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุตรายเดือนอยู่ที่ 34 องศาเซลเซียส (Figure 1a) ส่วนปริมาณน้ำฝนรวมในแต่ละเดือนตลอดการทดลองอยู่ระหว่าง 0-555 มิลลิเมตรต่อเดือน จำนวนวันฝนตกอยู่ระหว่าง 0-23 วันต่อเดือน (Figure 1b) จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าช่วง 3 เดือนสุดท้ายของการทดลองมีปริมาณฝนตกน้อยทำให้อยู่ในสภาวะแล้งที่อาจส่งผลกระทบต่อ การออกดอกของมันสำปะหลัง

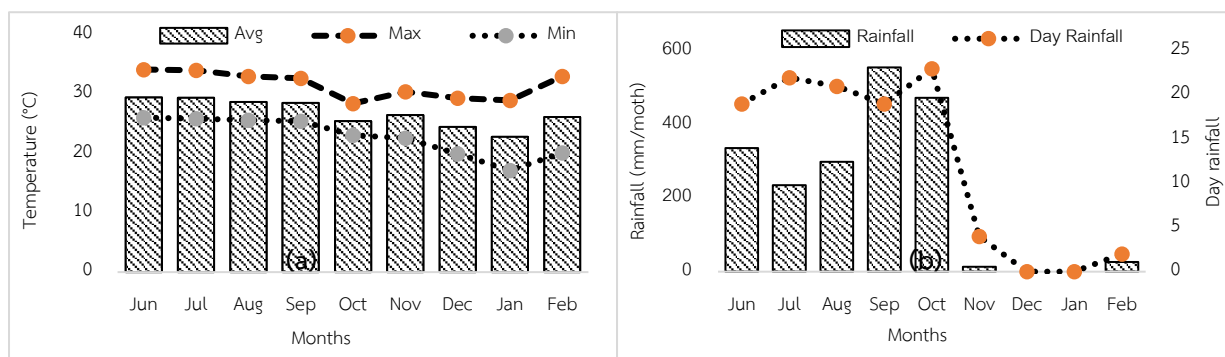


Figure 1 Average, minimum, and maximum temperature (a) and rainfall and daily rainfall at the Tapioca Development Institute, Huay-bong Dankhutor, Nakorn Ratchasima, from June 2020 to February 2021.

2. ผลของ BA และ STS ต่อลักษณะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

จากการวิเคราะห์ความสูงต้นของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่อายุ 2-8 เดือนหลังปลูก พบว่า BA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ไม่ส่งผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 แตกต่างกันทางสถิติ หลังปลูกเป็นเวลา 2 เดือน การให้ BA 0.5 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับ STS มีแนวโน้มให้ค่าความสูงต้นมากที่สุด เท่ากับ 53.50 เซนติเมตร ส่วนที่ 3 เดือน หลังปลูก พบว่าการให้ BA 1.0 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับ STS มีแนวโน้มให้ค่าความสูงต้นมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 115.50 เซนติเมตร ในขณะที่ เดือนที่ 4, 5 และ 7 เดือนหลังปลูก การฉีดพ่นเพียง STS มีแนวโน้มให้ค่าความสูงต้นมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 147.19, 148.75 และ 167.50 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับที่ 6 เดือนหลังปลูก การให้ BA 1.5 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับ STS มีแนวโน้มให้ค่าความสูงต้นมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 170 เซนติเมตร และที่ 8 เดือนหลังปลูก การให้ BA 0.5 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับ STS มีแนวโน้มให้ค่าความสูงต้นมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 176.67 เซนติเมตร (Table 1) ผลของความเข้มข้นต่าง ๆ ของ BA ต่อความสูงกิ่งที่ 1 และค่าสัดส่วนการแตกกิ่งที่ 1 ต่อความสูงต้นของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่อายุ 5, 6, 7 และ 8 เดือนหลังปลูก โดยจะเริ่มรายงานผลความสูงการแตกกิ่งที่ 1 และค่าสัดส่วนการแตกกิ่ง เมื่อมันสำปะหลังอายุ 5 เดือนหลังปลูก เนื่องจากเป็นเดือนแรกที่มีการแตกกิ่ง ผลการทดลองพบว่า การฉีดพ่น BA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ร่วมกับ STS ไม่ส่งผลให้ค่าความสูงกิ่งที่ 1 และค่าสัดส่วนการแตกกิ่งที่ 1 ต่อความสูงต้นของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มีความแตกต่างกันทางสถิติทุกเดือนที่ศึกษา การปลูกในสภาพธรรมชาติโดยไม่ชักนำด้วยสารใด ๆ ส่งผลให้แนวโน้มค่าความสูงการแตกกิ่งที่ 1 ของมันสำปะหลังมากที่สุด เมื่อมันสำปะหลังอายุ 6 และ 7 เดือนหลังปลูก มีค่าเท่ากับ 108.56 และ 118.75 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 2) ในขณะที่ค่าสัดส่วนการแตกกิ่ง พบว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุ 7 เดือนหลังปลูก การฉีดพ่น BA 1.0 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับ STS ส่งผลให้ค่าสัดส่วนการแตกกิ่งมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.76 (Table 2) สำหรับค่าสัดส่วนการแตกกิ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงตำแหน่ง ณ ที่แตกกิ่งของมันสำปะหลังต้นนั้น ๆ ซึ่งผลการทดลองที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในการทดลองนี้ ในขณะที่การศึกษา ของ Prangkratok et al. (2021) ที่ศึกษาผลของการใช้แสงสีแดง และ BA ร่วมกับ STS ต่อความสูง การแตกกิ่งและการออกดอกในมันสำปะหลัง ADIRA4, ห้วยบง 90, เกษตรศาสตร์ 50, ระยะเวลา 9 และ TME3 พบว่า การให้แสงสีแดงร่วมกับ BA และ STS มีแนวโน้มส่งผลให้ความสูงต้น และการแตกกิ่งของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในการทดลองนี้ไม่ได้ใช้แสงสีแดงร่วมด้วย ซึ่งการเจริญเติบโตของพืชอาจต้องมีปัจจัยอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง Srikanth et al. (2011) ได้อธิบายไว้ว่าการเจริญเติบโตของพืชจะถูกควบคุมด้วยกลไกที่สลับซับซ้อนทั้งปัจจัยภายในต้นพืช เช่น อายุพืช ฮอรโมน และปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น ความยาวช่วงแสง อุณหภูมิ เป็นต้น นอกจากนี้ระหว่างการทดลองยังกระทบกับสภาวะแล้งในช่วงสามเดือนสุดท้ายของการทดลอง ที่อาจจะส่งผลต่อการแสดงออกของลักษณะการเจริญเติบโตในมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 สำหรับการทดลองนี้ และจะเห็นได้ว่าลักษณะการเจริญเติบโตความสูงต้นและค่าสัดส่วนการแตกกิ่ง ในบางเดือนไม่มีความต่อเนื่องกันเป็นผลจากบางช่วงการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังจะมีการผลัดใบเพื่อให้มีการสะสมแป้งไว้ในราก และนอกจากนี้การทดลองนี้เป็นการสุ่มเก็บข้อมูลความสูงต้น 3 ต้น จาก 5 ต้น จึงอาจจะไม่ใช้ต้นเดียวกันในการเก็บข้อมูลของแต่ละเดือนที่จะส่งผลต่อความไม่ต่อเนื่องการของลักษณะการเจริญเติบโต

3. ผลของ BA และ STS ต่อลักษณะการออกดอกของมันสำปะหลัง

ผลของความเข้มข้นต่าง ๆ ของ BA ต่อลักษณะการออกดอกของมันสำปะหลัง ประกอบไปด้วย จำนวนดอกตัวเมีย จำนวนดอกตัวผู้ และจำนวนช่อดอกต่อต้น ของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 พบว่า มันสำปะหลังเริ่มออกดอกในเดือนที่ 5 หลังปลูก ซึ่งเป็นเดือนพฤศจิกายน 2563 ไปจนถึงอายุ 8 เดือนหลังปลูก ซึ่งเป็นเดือนกุมภาพันธ์ 2564 ผลการทดลอง พบว่า เมื่อมันสำปะหลังอายุ 5 และ 6 เดือนหลังปลูก ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ BA ไม่ส่งผลต่อการออกดอกทุกลักษณะ ในขณะที่ลักษณะการออกดอกเมื่อมันสำปะหลังอายุ 7 และ 8 เดือนหลังปลูก ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ BA ส่งผลให้ลักษณะการออกดอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ยกเว้น จำนวนดอกตัวเมียเมื่อมันสำปะหลังอายุ 8 เดือนหลังปลูก เมื่อมันสำปะหลังอายุ 7 เดือนหลังปลูก มีเพียงการฉีดพ่น BA 1.0 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับ STS ที่ส่งผลให้มันสำปะหลังออกดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย มีจำนวนเท่ากับ 2.72 และ 13.50 ดอกต่อช่อ ตามลำดับ และมีจำนวนช่อเท่ากับ 1.50 ช่อต่อต้น

Table 1 Plant height from 2-8 months after planting (MAP) of Huay-bong 80 when using difference BA concentrations.

Treatments (T)	Plant height (cm)						
	2 MAP	3 MAP	4 MAP	5 MAP	6 MAP	7 MAP	8 MAP
0 BA + STS	47.50	98.75	147.19	148.75	152.00	167.50	173.75
0.5 BA + STS	53.50	102.75	142.19	142.75	160.00	155.00	176.67
1.0 BA + STS	47.38	115.50	131.00	130.92	137.25	135.25	146.50

1.5 BA + STS	47.00	91.25	142.50	144.88	170.00	147.50	156.25
2.0 BA + STS	51.00	101.25	140.50	148.31	156.92	155.00	164.06
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	11.43	10.94	7.80	8.35	9.31	9.13	9.32

ns not significant.

Table 2 The first branch height (FBH; cm) and the ratio of the first branch to total height (RBTH) from 5-8 months after planting (MAP) of Huay-bong 80 when using difference BA concentrations.

Treatments (T)	5 MAP		6 MAP		7 MAP		8 MAP	
	FBH	RBTH	FBH	RBTH	FBH	RBTH	FBH	RBTH
0 BA + STS	105.50	0.71	108.56	0.72	118.75	0.71	107.50	0.62
0.5 BA + STS	100.21	0.71	102.50	0.64	98.75	0.64	96.67	0.55
1.0 BA + STS	99.58	0.77	101.67	0.75	102.50	0.76	104.38	0.72
1.5 BA + STS	108.23	0.75	93.75	0.56	103.02	0.70	107.71	0.69
2.0 BA + STS	110.65	0.74	107.44	0.69	100.00	0.64	107.92	0.66
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	12.84	11.89	11.94	13.97	12.02	11.48	13.12	13.06

ns not significant.

ในขณะที่มันสำปะหลังอายุ 8 เดือนหลังปลูก การฉีดพ่น BA 1.0 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับ STS ที่ส่งผลให้มันสำปะหลังออกดอกตัวผู้และจำนวนช่อดอต้น มากที่สุดเช่นกัน มีค่าเท่ากับ 7.71 ดอกต่อช่อ และ 1.75 ช่อดอต้นตามลำดับ ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของ BA ร่วมกับ STS จะส่งผลให้ลักษณะการออกดอกของมันสำปะหลังแตกต่างกันทางสถิติในบางเดือนที่ศึกษา แต่ไม่ส่งผลต่อจำนวนดอกที่เพียงพอเพื่อใช้ในขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง ซึ่งจากผลการทดลองนี้แตกต่างจากรายงานของ (Oluwasanya et al., 2021) ที่ศึกษาผลของการใช้ BA ร่วมกับ STS ต่อการออกดอกของมันสำปะหลัง พบว่า การใช้ BA ร่วมกับ STS ส่งผลให้มันสำปะหลังเพิ่มจำนวนดอกรวม ดอกตัวเมีย จำนวนการติดผล และมีจำนวนดอกเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้งสองใช้ BA ชนิดเดียวกัน แต่วิธีการให้ปัจจัยที่ใช้ชักนำแตกต่างกันโดยในงานทดลองนี้ใช้วิธีการฉีดพ่นทางใบ ส่วนการทดลองของ Oluwasanya et al. (2021) ทำ Petiole fed โดยการตัดก้านใบแล้วให้สารที่ใช้ในการชักนำผ่านเข้าทาง xylem ของพืช ซึ่งเป็นการดูดซับสารเหล่านั้นได้โดยตรง ในขณะที่การฉีดพ่นทางใบต้องขึ้นอยู่กับการเปิดปิดปากใบของมันสำปะหลังในขณะช่วงที่ฉีดพ่น นอกจากนี้ลักษณะทางพันธุกรรมของมันสำปะหลังที่ใช้ในงานทดลองก็ยังคงมีความแตกต่างกัน ซึ่งการใช้ STS ร่วมด้วยจะส่งผลให้เกิดการชะลอการร่วงหล่นของดอกหลังการออกดอก (Ma et al., 2006) ส่วน Oluwasanya et al. (2021) ได้อธิบายกลไกการทำงานของ STS ไว้ว่า STS จะไปยับยั้งการสังเคราะห์สารเอทิลีน และเอทิลีนจะไม่สามารถกระตุ้นการทำงานของยีนกลุ่ม TEMPRANILLO1 (TEM 1) ได้ ซึ่งยีนกลุ่มนี้จะไปยับยั้งการทำงานของจีบเบอเรลลินที่เกี่ยวข้องกับการ ออกดอกของมันสำปะหลัง และจากผลการทดลองก็พบว่าการใช้ STS ร่วมด้วยก็ไม่ส่งผลต่อลักษณะการออกดอกของมันสำปะหลังพันธุ์หัวbyg 80 ที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

Table 3 Numbers of females per bunch (NF), numbers of males per bunch (NM) and numbers of bunches per plant (NB) at 5, 6, 7, and 9 months after planting (MAP) of Huay-bong when using difference BA concentrations.

Treatments												
(T)	5 MAP			6 MAP			7 MAP			8 MAP		
	Femal			Femal			Femal			Femal		
	e	Male	NB	e	Male	NB	e	Male	NB	e	Male	NB
0 BA + STS	0.66	5	0.1 9	0.62	2.70	0.75	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	1.30	^a	5.00 ^a
0.5 BA + STS	0.25	1.5	0.1 9	0.00	0.00	0.00	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00	0.00 ^b	0.00 ^b
1.0 BA + STS	0.00	0.00	0.0 0	0.00	0.00	0.00	2.72 ^a	13.50 ^a	1.50 ^a	0.37	7.71 ^{ab}	1.75 ^a ^b
1.5 BA + STS	0.25	1.5	0.2 5	0.37	2.87	0.25	0.02 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00	0.00 ^b	0.00 ^b
2.0 BA + STS	0.25	4.83	0.4 1	1.37	6.62	2.00	0.03 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00	0.00 ^b	0.00 ^b
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**	ns	**	**
CV (%)	138.12	8	145.0 136	210.75	1	213.9 3	267.61	447.21	6	260.79	1	215.3 3

Mean in the same column with the same letter are not significantly different by least significant difference (LSD) **

Significant at $P < 0.01$ and ns not significant.

สรุปผลการศึกษา

ผลการทดลองพบว่า BA ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับ STS ส่งผลให้ลักษณะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกลักษณะของทุกเดือนที่ศึกษา ในขณะที่ลักษณะการออกดอกพบว่า BA ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับ STS ส่งผลให้จำนวนดอกตัวเมีย จำนวนดอกตัวผู้ และจำนวนข้อต่อต้น ของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) การการฉีดพ่น BA 1.0 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับ STS ส่งผลให้ค่าลักษณะดังกล่าวมากที่สุด เมื่อมันสำปะหลังอายุ 7 เดือนหลังปลูก เช่นเดียวกับการฉีดไม่ฉีดพ่น BA และ STS ที่ส่งผลให้จำนวนดอกตัวผู้และจำนวนข้อต่อต้น ของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 มากที่สุด เมื่ออายุ 8 เดือนหลังปลูก ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของ BA จะส่งผลให้ลักษณะการออกดอกของมันสำปะหลังแตกต่างกันทางสถิติในบางเดือนที่ศึกษา แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณดอกที่เพียงพอเพื่อใช้ในขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยสำหรับโครงการการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังเพื่อต้านทานโรคใบด่างมันสำปะหลัง และสถานที่ในการทดลอง และขอขอบคุณภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

เอกสารอ้างอิง

- Bernier, G., Kinit J., & Sachs, R. (1985). **The Physiology of Flowering (Vol. 2nd). Transition to Reproductive Growth.** Florida: CRC Press.
- Department of Agriculture. (1983). **Academic Papers volume 7th Cassava. Department of agriculture.**
Retrieved from: <http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00559.pdf>
- Ma, N., Tan, H., Liu, X., Xue, J., Li, Y., & Gao, J. (2006). Transcriptional regulation of ethylene receptor and CTR genes involved in ethylene-induced flower opening in cut rose (*Rosa hybrida*) cv. Samantha. **Journal of Experimental Botany.** 57(11), 2763-2773.
- Oluwasanya, D., Esan, O., Hyde, P., Kulakow, P., & Setter, T. (2021). Flower development in cassava is feminized by cytokinin, while proliferation is stimulated by anti-ethylene and pruning: transcriptome responses. **Journal Frontiers in plant science.** 12(1), 1-17.
- Office of Agricultural Economics. (2020). **Agricultural Statistics of Thailand Year 2020.** Retrieved from: http://impexp.oae.go.th/workflow/export_report.php.
- Prangkratok, T., Phumicha, C., Wannarat, W., & Kongsil, P. (2021). Effects of Red Light and 6-Benzyladenine on Branching and Flowering in Cassava. **Thai Journal of Science and Technology.** 10(3), 276-286.
- Srikanth, A., Schmid, M. & sciences, M. (2011). Regulation of flowering time: all roads lead to Rome. **Journal Cellular and Molecular Life Sciences.** 68(12), 2013-2037.
- Tongumpai, P. (1986). **Plant Hormones and Synthetic Substances Guidelines for utilization in Thailand.** Bangkok: Dynamic publishing.
- Vichukit, V., Rojanaritphichet, J., Sarobol, E., Jeamjamnanja, J., Changlek, P., Sriroth, K., & Piyajomkwan, K. (1999). **New varieties of cassava Huay-Bong 80.** Retrieved from: http://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/53/group06/vicharn/index_04.html

วันรับบทความ (Received date) : 2 ก.พ. 65
 วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 29 เม.ย. 65
 วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 21 มิ.ย. 65

ประสิทธิภาพของเชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma asperellum* ในการควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อราบนใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

Efficacy of Antagonistic Fungi, *Trichoderma asperellum* in The Control of Fungal Diseases on Leaves of Oil Palm Seedlings

ปวีณช บรรจง¹ ปรารถนา อัดตะมณี¹ นันทวัฒน์ วรินทร์เวช¹ และ วาริน อินทนา^{1*}
Paweenut Bunjong¹, Prattana Attamanee¹, Nantawat Warincharawet¹ and Warin Intana^{1*}

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ทดสอบประสิทธิภาพเชื้อรา *Trichoderma asperellum* สายพันธุ์ NST-009 และ CB-Pin-01 ในการควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อราบนใบปาล์มน้ำมัน แยกเชื้อราโรคพืชจากใบต้นกล้าปาล์มน้ำมันด้วยวิธี Tissue transplanting technique ได้เชื้อราโรคพืชทั้งหมด 12 ไอโซเลท ได้แก่ *Alternaria* sp. 1 ไอโซเลท, *Botryodiplodia* spp. 2 ไอโซเลท, *Colletotrichum* spp. 2 ไอโซเลท, *Curvularia* spp. 3 ไอโซเลท, *Drechslera* spp. 2 ไอโซเลท และ *Pestalotia* spp. 2 ไอโซเลท ทดสอบการก่อโรคนบนใบปาล์มน้ำมันด้วยวิธี detached leaf พบว่าทุกไอโซเลททำให้เกิดแผลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในช่วง 2.3-4.1 มิลลิเมตร โดยเชื้อรา *Curvularia* sp.-03 เกิดแผลใหญ่สุดที่ 4.1 มิลลิเมตร และ *Botryodiplodia* sp.-01 เกิดแผลขนาด 3.5 มิลลิเมตร เมื่อทดสอบประสิทธิภาพเชื้อราปฏิปักษ์ในห้องปฏิบัติการพบว่าเชื้อราปฏิปักษ์ทั้ง 2 สายพันธุ์ สามารถยับยั้งและคลุมทับเส้นใยเชื้อรา *Botryodiplodia* sp.-01 และ *Curvularia* sp.-03 ได้ โดยเฉพาะ *T. asperellum* NST-009 ที่ยับยั้งและคลุมทับเชื้อราโรคพืชทั้ง 2 ชนิดสูงสุด โดยยับยั้งเชื้อรา *Botryodiplodia* sp. และ *Curvularia* sp. ได้ที่ระดับ 89.1 และ 84.9% ตามลำดับ และคลุมทับเชื้อราโรคพืชทั้ง 2 ชนิด ได้ที่ระดับ 67.4 และ 58.3% ตามลำดับ การทดสอบประสิทธิภาพเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมโรค พบว่าทั้ง 2 สายพันธุ์ สามารถลดความรุนแรงของโรคได้ โดย *T. asperellum* NST-009 ลดความรุนแรงของ *Botryodiplodia* sp.-01 และ *Curvularia* sp.-03 ได้ดีกว่า *T. asperellum* CB-Pin-01 อย่างมีนัยสำคัญ โดยพบโรคที่ 12.9 และ 17.1% ตามลำดับ ในขณะที่ *T. asperellum* CB-Pin-01 พบโรค 16.8 และ 25.5% ตามลำดับ ส่วนการตรวจปริมาณเชื้อรา *Trichoderma* spp. บนใบปาล์มน้ำมันพบว่าการใช้ *T. asperellum* NST-009 ตรวจพบมากที่สุดที่ 1.3×10^4 และ 2.3×10^4 CFU/ใบปาล์มน้ำมัน 1 กรัม ในการทดลองกับ *Botryodiplodia* sp.-01 และ *Curvularia* sp.-03 ตามลำดับ

คำสำคัญ: โรคของปาล์มน้ำมัน เชื้อราปฏิปักษ์ การควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี

Abstract

This study tested the efficacy of *Trichoderma asperellum* strains NST-009 and CB-Pin-01 in controlling of palm leaf fungal disease. Plant pathogenic fungi were isolated from leaves of oil palm seedlings by tissue transplanting technique. A total of 12 isolates of plant pathogenic fungi were obtained including *Alternaria* sp. 1 isolate, *Botryodiplodia* spp. 2 isolates, *Colletotrichum* spp. 2 isolates, *Curvularia* spp. 3 isolates, *Drechslera* spp. 2 isolates and *Pestalotia* spp. 2 isolates. Pathogenicity test on oil palm leaves by detached leaf method showed that all isolates caused lesions of 2.3-4.1 mm in diameter, *Curvularia* sp.-03 and *Botryodiplodia* sp.-01 respectively caused the largest lesion of 4.1 mm and the lesion of 3.5 mm. When testing the efficacy of antagonist fungi in the laboratory, it was found that both antagonistic fungi were able to inhibit and cover the mycelium *Botryodiplodia* sp.-01 and *Curvularia* sp.-03. *T. asperellum* NST-009 had the highest inhibition of

¹สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

¹School of Agricultural Technology and Food Industry, Walailak University, Tha Sala, Nakhon Si Thammarat 80160

*Corresponding author: keewarin54@gmail.com

Botryodiplodia sp.-01 and *Curvularia* sp.-03 at 89.1 and 84.9%, respectively, and covering such fungi at 67.4 and 58.3%, respectively. Tests on the efficacy of antagonistic fungi in disease control showed that both strains were able to reduce the severity of the disease. That is, *T. asperellum* NST-009 showed significantly better efficacy to reduce the severity of *Botryodiplodia* sp.-01 and *Curvularia* sp.-03 than *T. asperellum* CB-Pin-01. By using *T. asperellum* NST-009, the diseases were found at 12.9 and 17.1%, respectively. While using *T. asperellum* CB-Pin-01, the diseases were found at 16.8 and 25.5%, respectively. According to *Trichoderma* spp. quantification on oil palm leaves, it was found that *T. asperellum* NST-009 was detected at the highest level of 1.3×10^4 and 2.3×10^4 CFU/1 g of the oil palm leaves when it was used for controlling *Botryodiplodia* sp.-01 and *Curvularia* sp.-03, respectively.

Keywords: oil palm diseases, antagonistic fungi, biological control

คำนำ

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* L.) เจริญเติบโตได้ดีในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น จึงมีพื้นที่ปลูกจำนวนมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และกลายเป็นพืชเศรษฐกิจของภูมิภาคในปัจจุบัน ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้ำมันสูงถึง 640 - 800 กิโลกรัมต่อไร่ และสูงกว่าพืชน้ำมันอื่นทุกชนิด (Eksomtramage & Jantaraniyom, 2015) ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตปาล์มน้ำมันที่สำคัญของโลกเพราะมีเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันมากกว่า 1.28 แสนครัวเรือน ปัจจุบันเกษตรกรเหล่านี้เผชิญปัญหาหลายด้าน ทั้งต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น ราคาผลผลิตไม่แน่นอน รวมทั้งโรคพืชที่สร้างความเสียหายกับต้นปาล์มน้ำมันจำนวนมาก ได้แก่ โรคใบจุดที่เกิดจากเชื้อรา *Curvularia* sp., *Cercospora* sp., *Drechslera* sp., *Helminthosporium* sp., *Alternaria* sp. และ *Pestalotiopsis* sp. โรคใบไหม้เกิดจากเชื้อรา *Curvularia* sp. และ *Pestalotiopsis* sp. (Pornsuriya et al., 2013) โรคแอนแทรคโนส ที่เกิดจากเชื้อรา *Botryodiplodia* sp., *Colletotrichum* sp., *Melanconium* sp. และ *Glomerella* sp. และโรคโคนดำต้นเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Ganoderma* sp. ซึ่งโรคเหล่านี้สามารถเข้าทำลายต้นปาล์มน้ำมัน ได้ทุกระยะการเจริญเติบโต โดยหากเข้าทำลายในระยะต้นกล้าจะทำให้ใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน เกิดแผลจุดหรือไหม้อย่างรุนแรง จนส่งผลให้ต้นกล้าอ่อนแอ ชะงักการเจริญเติบโต ไม่เหมาะสำหรับนำไปปลูก หากระบาดในระยะต้นโตที่อยู่ในแปลงปลูกจะทำให้ใบของต้นปาล์มน้ำมันเกิดแผลจุดหรือแผลไหม้จำนวนมาก พื้นที่สังเคราะห์แสงของใบลดลง ส่งผลให้ผลผลิตโดยรวมของปาล์มน้ำมันลดลงในช่วง 15-37 เปอร์เซ็นต์

การควบคุมโรคบนใบปาล์มน้ำมันสามารถใช้ทั้งสารเคมีและชีวภาพ แต่เนื่องจากโรคบนใบปาล์มน้ำมันมีหลายโรคและเกิดจากเชื้อราโรคพืชหลายชนิด จึงต้องใช้สารเคมีหลายชนิด ส่งผลให้ต้นทุนสูงขึ้นและอาจทำให้เชื้อรา โรคพืชเกิดความต้านทานสารเคมีได้ ดังนั้นการควบคุมโรค โดยชีววิธีจึงเป็นทางเลือกที่ดี โดยเฉพาะการใช้เชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma* spp. เพราะเป็นเชื้อราที่ควบคุมโรคพืช ได้หลายชนิด มีความปลอดภัย และสามารถเจริญเพิ่มปริมาณทั้งบนต้นพืชและในดินปลูกพืช นำไปสู่ การจัดการโรคพืชที่ยั่งยืนได้ ขณะนี้ศูนย์ผลิตและบริการชีวภัณฑ์เกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ มีชีวภัณฑ์เชื้อรา *T. asperellum* NST-009 ที่ผ่านการคัดเลือกว่ามีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคพืชหลายชนิด เช่น โรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียนและพืชตระกูลส้ม โรครากขาวของยางพารา โรคแอนแทรคโนสของพริก โรคเมล็ดดำของข้าว และโรคเน่าระดับดินของพืชผัก เป็นต้น (Promwee et al., 2014) นอกจากนี้ห้องปฏิบัติการการควบคุมโรคโดยชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน มีชีวภัณฑ์เชื้อรา *T. asperellum* CB-Plin-01 ที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคพืชหลายชนิด (Charoenrak & Chamswang, 2015) ดังนั้นนักวิจัยจึงสนใจอย่างยิ่งในการนำเชื้อรา *T. asperellum* ทั้ง 2 สายพันธุ์ มาทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมโรคสำคัญทางเศรษฐกิจบนใบต้นกล้าปาล์มน้ำมัน โดยทำการศึกษา ทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือนปลูกพืชทดลองเปรียบเทียบกับ

การใช้สารเคมีแคปเตน (Captan) และเบนอมิล (Benomyl) ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา *Curvularia* sp. และ *Botryodiplodia* sp. (Malkanathi et al., 2016; Kumar, 2018) ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์อย่างมาก ต่อการปลูกปาล์มน้ำมันที่ยั่งยืนต่อไป

วิธีการศึกษา

แยกและจำแนกชนิดเชื้อราโรคพืช

แยกเชื้อราโรคพืชด้วยวิธี Tissue transplanting technique โดยนำใบต้นกล้าปาล์มน้ำมันพันธุ์ซีพีไอไฮบริดของบริษัทซีพีไออะโกรเทค จำกัด จังหวัดชุมพร ที่แสดงอาการของโรคใบจุดและใบไหม้มาตัดบริเวณคาบเกี่ยว ส่วนเป็นโรคและส่วนปกติเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 0.5×0.5 เซนติเมตร ก่อนฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผิวพืชโดยการแช่ในสารละลาย sodium hypochlorite ที่มีสารออกฤทธิ์ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วย น้ำนิ่งฆ่าเชื้อจำนวน 3 ครั้ง ๆ ละ 5 นาที เพื่อกำจัดสารละลาย sodium hypochlorite ออกจากชิ้นพืช ซับชิ้นส่วนพืชให้แห้ง แล้วนำไปวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) โดยวางจำนวน 4 ชิ้นต่อจานเลี้ยงเชื้อ (ทั้งหมด 20 ชิ้น 5 จานเลี้ยงเชื้อ) เก็บจานเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 วัน (Promwee, et al., 2017) ก่อนแยกเชื้อราที่เจริญออกจาก ใบปาล์มน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีแยกสปอร์เดี่ยว (Single spore technique) จากนั้นจำแนกชนิดเชื้อราโรคพืช โดยตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบกับลักษณะของเชื้อราที่มีการรายงาน มาแล้ว เก็บเชื้อราในหลอดอาหาร PDA เอียง (PDA slant) ไว้สำหรับการทดสอบต่อไป

ความสามารถในการก่อโรค

ทดสอบความสามารถในการก่อโรคของเชื้อราโรคพืชบนใบของต้นปาล์มน้ำมันพันธุ์ซีพีไอไฮบริด อายุ 2 เดือน โดยวิธี Detached leaf technique ด้วยการใช้เข็มเย็บเชื้อปลายแหลมเจาะทำแผลบนใบต้นกล้าปาล์มน้ำมันจำนวน 3 จุด ที่ชิดกัน จากนั้นนำชิ้นวันอาหาร PDA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เซนติเมตร ที่มีเส้นใยเชื้อราโรคพืชแต่ละไอโซเลทมาวางบนแผลดังกล่าว พร้อมพ่นน้ำนิ่งฆ่าเชื้อให้ความชื้นแล้วคลุมทางใบปาล์มน้ำมันทดสอบด้วยถุงพลาสติกใส เก็บต้นปาล์มน้ำมันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำชิ้นวันเชื้อราทดสอบออกจากแผลบนใบปาล์มน้ำมัน และทดสอบต่อจนครบเวลา 7 วัน บันทึกขนาดแผลที่เกิดจากเชื้อราแต่ละไอโซเลท เปรียบเทียบขนาดแผล ของแต่ละกรรมวิธี ทำการทดลองกรรมวิธีละ 10 ซ้ำ

ประสิทธิภาพเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคในระดับห้องปฏิบัติการ

นำเชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma asperellum* NST-009 (ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์ผลิตและบริการชีววิทยเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์) และ *T. asperellum* CB-Pin-01 (ได้รับความอนุเคราะห์จากห้องปฏิบัติการควบคุมโรคพืชโดยชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน) มาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้ง และคลุมทับเส้นใยเชื้อราโรคพืชด้วยวิธี Dual culture test โดยใช้ cork-borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เซนติเมตร เจาะบริเวณปลายเส้นใยเชื้อราโรคพืช *Botryodiplodia* sp.-01 และ *Curvularia* sp.-03 ที่มีอายุ 5 วัน มาวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA พร้อมทั้งวางชิ้นวันเชื้อราปฏิปักษ์ที่มีอายุ 3 วัน ในแนวตรงข้ามและห่างกัน 6 เซนติเมตร หลังจากเส้นใยเชื้อราทั้ง 2 เจริญมาชนกันบันทึกประสิทธิภาพการยับยั้ง เมื่อเส้นใยเชื้อราปฏิปักษ์ ครอบคลุมทับเส้นใยเชื้อราโรคพืชแล้วบันทึกประสิทธิภาพการคลุมทับ โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้ (Promwee et al., 2017)

สูตรคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเชื้อราโรคพืช

$$\text{เปอร์เซ็นต์ PIRG} = ((R_1 - R_2) \times 100) / R_1$$

เมื่อ R_1 คือ ค่าเฉลี่ยรัศมีเชื้อราโรคพืชในงานควบคุม

R_2 คือ ค่าเฉลี่ยรัศมีเชื้อราโรคพืชในงานทดสอบ

สูตรคำนวณอัตราคลุมทับเส้นใยเชื้อราโรคพืช

$$\text{เปอร์เซ็นต์การคลุมทับเส้นใยเชื้อราโรคพืช PIRG} = ((C_1 - C_2) \times 100) / T_D$$

เมื่อ C_1 คือ ค่าเฉลี่ยรัศมีเชื้อราปฏิภักซ์ที่คลุมทับเส้นใยเชื้อราโรคพืชในวันที่สิ้นสุดการทดลอง

C_2 คือ ค่าเฉลี่ยรัศมีเชื้อราปฏิภักซ์ที่คลุมทับเส้นใยเชื้อราโรคพืชในวันที่เส้นใยเชื้อราชนกัน

T_D คือ ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษา

ประสิทธิภาพการควบคุมโรคในสภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง

ทดสอบประสิทธิภาพเชื้อราปฏิภักซ์ในการควบคุมโรคทางใบของปาล์มน้ำมันที่เกิดจากเชื้อรา *Botryodiplodia* sp.-01 และ *Curvularia* sp.-03 โดยการพ่นสปอร์แขวนลอย (เลี้ยงเชื้อราบนอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน ก่อนตกสปอร์ของเชื้อราผสมในน้ำนิ่งฆ่าเชื้อ ปั่นเหวี่ยงให้สปอร์เชื้อรากระจายตัว จากนั้นนับความเข้มข้นของเชื้อราด้วย Haemocytometer) ของเชื้อราโรคพืชแต่ละชนิดที่มีความเข้มข้น 1.0×10^8 สปอร์ต่อมิลลิลิตร บนใบต้นปาล์มน้ำมันพันธุ์ซีพีโอไฮบริด อายุ 6 เดือน (พ่นปริมาตร 100 มิลลิลิตรต่อ 1 ทางใบ) จากนั้นพ่นสปอร์แขวนลอยเชื้อรา *T. asperellum* ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^8 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตรเดียวกับเชื้อราโรคพืช ก่อนใช้ถุงพลาสติกใสคลุมทางใบปาล์มน้ำมันทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บต้นกล้าปาล์มน้ำมันในโรงเรือนเป็นระยะเวลา 3 เดือน ก่อนบันทึกความรุนแรงของโรค (บันทึกค่าเฉลี่ยจำนวนแผลที่พบบนใบปาล์มน้ำมันทดสอบในแต่ละกรรมวิธี) โดยเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ที่พ่นน้ำกลั่น และกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีเบนโนมิล (Benomyl) และ แคปเตน (Captan) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ (ต้น) ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 : เชื้อรา *T. asperellum* NST-009 ความเข้มข้น 1.0×10^8 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

กรรมวิธีที่ 2 : เชื้อรา *T. asperellum* CB-Pin-01 ความเข้มข้น 1.0×10^8 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

กรรมวิธีที่ 3 : สารเคมี Benomyl อัตรา 1.5 กรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 4 : สารเคมี Captan อัตรา 1.5 กรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 5 : ชุดควบคุม (น้ำกลั่น)

สูตรคำนวณเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรค

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรค} = ((W_T / W_C) \times 100)$$

เมื่อ W_T คือ ค่าเฉลี่ยจำนวนแผลที่พบในกรรมวิธีทดสอบ

W_C คือ ค่าเฉลี่ยจำนวนแผลที่พบในกรรมวิธีควบคุม

หลังการทดสอบครบ 3 เดือน ตรวจนับปริมาณเชื้อรา *Trichoderms* sp. ด้วยวิธี Dilution plate technique โดยนำใบปาล์มน้ำมันจำนวน 5 กรัม (ตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 0.5×0.5 เซนติเมตร) ผสมในน้ำนิ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 45 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที (เครื่องปั่นอเนกประสงค์ (Multi-use shaker) รุ่น HY-6 ยี่ห้อ GenLab, CHINA) เป็นเวลา 30 นาที ก่อนดูดสารละลายปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร มาเกลี่ยบนผิวหน้าอาหาร Martin's medium agar พร้อมบ่มจานเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน จึงตรวจนับปริมาณเชื้อรา *Trichoderms* sp. ในแต่ละกรรมวิธีเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (พ่นน้ำกลั่น)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

แยกและจำแนกชนิดเชื้อราโรคพืช

สามารถแยกเชื้อราโรคพืชได้จำนวน 12 ไอโซเลท โดยทุกไอโซเลทสร้างเส้นใยคลุมทั่วผิวน้ำอาหาร PDA ที่อุณหภูมิห้อง ได้ภายในเวลา 7 วัน จากการจำแนกชนิดเชื้อราเบื้องต้นโดยศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา พบว่าเป็นเชื้อรา 6 ชนิด ได้แก่ *Alternaria* sp. 1 ไอโซเลท, *Botryodiplodia* spp. 2 ไอโซเลท, *Colletotrichum* spp. 2 ไอโซเลท, *Curvularia* spp. 3 ไอโซเลท, *Drechslera* spp. 2 ไอโซเลท และ *Pestalotia* spp. 2 ไอโซเลท (Figure 1 และ Figure 2) ซึ่งสอดคล้องกับหลายรายงานที่กล่าวว่า พบการระบาดของโรคพืชในปาล์มน้ำมันทั้งโรคที่เกิดบนลำต้น นั่นคือ โรคโคนลำต้นเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Ganoderma* sp. และโรคทางใบที่เกิดจากเชื้อราหลายชนิดรวมทั้ง *Alternaria* sp. *Colletotrichum* sp. *Curvularia* sp. *Drechslera* sp. *Botryodiplodia* sp. และ *Pestalotia* sp. (Kittimorakul et al., 2013; Pornsuriya et al., 2013; Sunpapao et al., 2014) ซึ่งผลการศึกษาและรายงานต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าเชื้อราโรคพืชหลายชนิด สามารถระบาดและสร้างความเสียหายแก่ปาล์มน้ำมันได้ทุกส่วนและทุกระยะการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่ง ในการศึกษาวิจัยเพื่อหาแนวทางที่ดีและเหมาะสมในการจัดการโรคปาล์มน้ำมัน เพื่อลดความเสียหายและสร้างความยั่งยืนในการปลูกปาล์มน้ำมันต่อไป

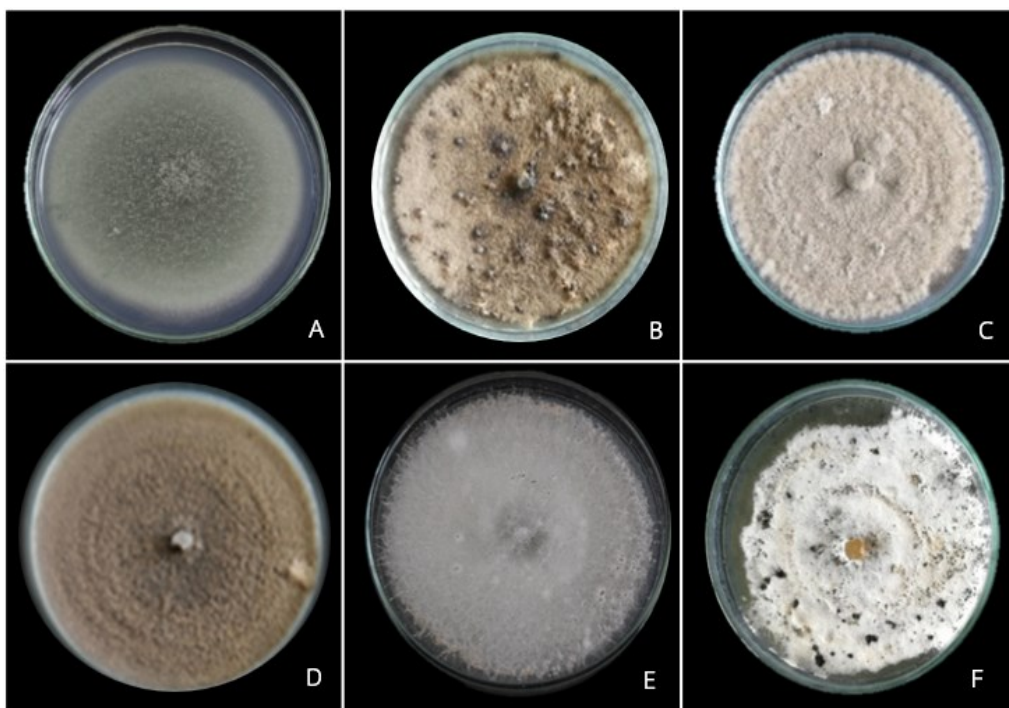


Figure 1 Colony characteristics of 6 plant pathogenic fungi isolated from oil palm leaves growing on potato dextrose agar at room temperature for 7 days: *Alternaria* sp. (A), *Botryodiplodia* sp. (B), *Colletotrichum* sp. (C), *Curvularia* sp. (D), *Drechslera* sp. (E), *Pestalotia* sp. (F).

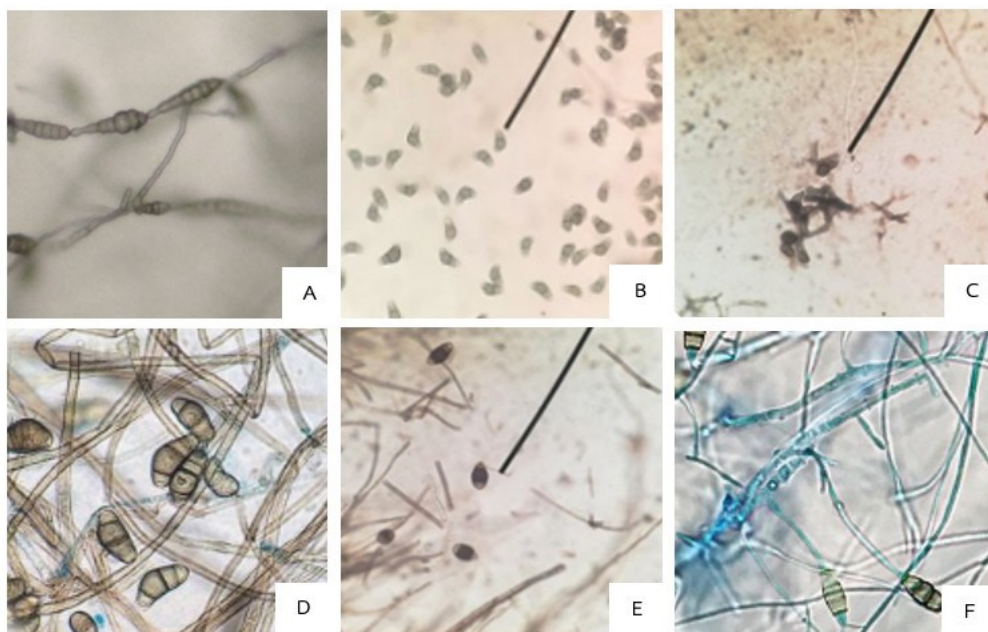


Figure 2 Asexual structure of 6 plant pathogenic fungi isolated from oil palm leaves when examined under a 400X microscope: *Alternaria* sp. (A), *Botryodiplodia* sp. (B), *Colletotrichum* sp. (C), *Curvularia* sp. (D), *Drechslera* sp. (E), *Pestalotia* sp. (F).

ความสามารถในการก่อโรค

จากการทดสอบพบว่าเชื้อราโรคพืชทั้ง 12 ไอโซเลท สามารถก่อโรคบนใบปาล์มน้ำมันพันธุ์ซีพีไอไฮบริดอายุ 2 เดือน ได้ โดยพบเส้นผ่านศูนย์กลางแผลบนใบปาล์มน้ำมันมากกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางแผลในช่วง 2.3 – 4.1 มิลลิเมตร โดยเฉพาะกรรมวิธีที่ใช้เชื้อรา *Curvularia* sp.-03 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางแผลมากที่สุดที่ 4.1 มิลลิเมตร ดังรายละเอียดใน Table 2 จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเชื้อราโรคพืชในกลุ่ม *Curvularia* sp. มีความรุนแรงในการก่อโรคบนใบปาล์มน้ำมันสูงกว่าเชื้อราโรคพืชกลุ่มอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sunpapao et al. (2014) ที่กล่าวว่าเชื้อรา *C. oryzae* ก่อโรคใบจุดอย่างรุนแรงบนใบต้นกล้าปาล์มน้ำมันในสภาพโรงเรือนเพาะชำ จึงจัดเป็นเชื้อราโรคพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจของปาล์มน้ำมันในระยะต้นกล้า นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Pornsuriya et al. (2013) ที่กล่าวว่าโรคใบจุดปาล์มน้ำมันที่เกิดจากเชื้อรา *Curvularia* sp. มีการระบาดในอัตราที่สูง และสามารถแพร่กระจายสู่ต้นปาล์มน้ำมันอื่นได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝนที่สภาพอากาศมีความชื้นสูง

Table 1 Pathogenic severity on oil palm leaves of 12 isolates of plant pathogenic fungi.

Isolates	Lesion diameter (mm) ¹
<i>Alternaria</i> sp.-01	2.9 d
<i>Botryodiplodia</i> sp.-01	3.5 abc
<i>Botryodiplodia</i> sp.-02	3.4 bc
<i>Colletotrichum</i> sp.-01	2.9 d
<i>Colletotrichum</i> sp.-02	3.2 c
<i>Curvularia</i> sp.-01	3.9 ab
<i>Curvularia</i> sp.-02	3.8 ab

Isolates	Lesion diameter (mm) ¹
<i>Curvularia</i> sp.-03	4.1 a
<i>Drechslera</i> spp.-01	3.2 c
<i>Drechslera</i> sp.-02	2.9 d
<i>Pestalotia</i> sp.-01	2.3 d
<i>Pestalotia</i> sp.-02	3.2 c
T-test	*

¹ Mean followed by the same letter are not significantly different by Duncan's new multiple rang test ($P < 0.05$).

ประสิทธิภาพเชื้อราปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคในระดับห้องปฏิบัติการ

เชื้อรา *T. asperellum* NST-009 และ *T. asperellum* CB-Pin-01 สามารถยับยั้งการเจริญและ คลุมทับ เส้นใยเชื้อราโรคพืชทั้ง 2 ชนิดได้ โดยมีประสิทธิภาพการยับยั้งในช่วง 78.9 – 89.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้เส้นใยเชื้อรา โรคพืชไม่สามารถเจริญเพิ่มความกว้างของรัศมีเส้นใยต่อได้หลังจากชนกับเส้นใยเชื้อราปฏิปักษ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อ รา *T. asperellum* NST-009 ที่มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราโรคพืช *Botryodiplodia* sp.-01 และ *Curvularia* sp.-03 ได้สูงสุดที่ระดับ 89.1 และ 84.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อรา *T. asperellum* CB-Pin-01 สามารถ ยับยั้งได้ทั้ง 82.2 และ 78.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 2) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเชื้อรา *T. asperellum* ทั้ง 2 สายพันธุ์ เป็นเชื้อราปฏิปักษ์ต่อเชื้อราโรคพืช *Botryodiplodia* sp.-01 และ *Curvularia* sp.-03 ซึ่งสอดคล้อง กับรายงานของ Sunpapao et al. (2018) ที่ได้ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อปฏิปักษ์ *Streptomyces hygroscopicus* subsp. *angustmyceticus* NR8-2, *T. harzianum* TM2/1 และ *Trichoderma* V76-12 ในการยับยั้งการเจริญเส้น ใยเชื้อรา *C. oryzae* ด้วยวิธี Dual culture ในห้องปฏิบัติการ พบว่าเชื้อรา *T. harzianum* TM2/1 มีเปอร์เซ็นต์การ ยับยั้งเส้นใยของเชื้อราโรคพืชได้ดีที่สุดที่ 85.7 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือเชื้อ *S. hygroscopicus* subsp. *angustmyceticus* NR8 และ *Trichoderma* V76-12 โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเส้นใยเชื้อรา คือ 75.7 และ 72.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการรายงานของ Sunpapao et al., (2018) พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* sp. V76-12 สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Curvularia* sp. R2-1 สาเหตุโรคใบจุดในต้นกล้าของผักสลัดได้ถึง 97.8 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งกว่านั้นมีการรายงานของ Tapwal & Pandey (2016) ที่พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* spp. สามารถ ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Botryodiplodia* sp. ได้ดีเมื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ด้านการคลุมทับเส้นใยพบว่าเชื้อราปฏิปักษ์ *T. asperellum* NST-009 และ *T. asperellum* CB-Pin-01 สามารถคลุมทับเส้นใยเชื้อราโรคพืช *Botryodiplodia* sp.-01 และ *Curvularia* sp.-03 ได้ โดยสร้างเส้นใยคลุมทั่วเส้น ใยเชื้อราโรคพืชทั้ง 2 ชนิด ได้ภายในเวลา 7 วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการคลุมทับในช่วง 57.4 - 67.4 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อรา *T. asperellum* NST-009 ที่คลุมทับเส้นใยเชื้อรา *Botryodiplodia* sp.-01 และ *Curvularia* sp.-03 ที่ระดับ 67.4 และ 58.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อรา *T. asperellum* CB-Pin-01 คลุมทับที่ระดับ 62.8 และ 57.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 2) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเชื้อราปฏิปักษ์ทั้ง 2 ชนิด เป็นเชื้อรา ปฏิปักษ์ที่สามารถคลุมทับเส้นใยเชื้อราโรคพืช ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในกลไกการเป็นปรสิต ต่อเส้นใยเชื้อราโรคพืช ซึ่งมี รายงานกล่าวว่าเชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma* spp. สามารถเป็นปรสิตต่อเชื้อราโรคพืชได้ โดยในกลไกนี้มีการ ปลดปล่อยสารปฏิชีวนะหรือเอนไซม์ร่วมทำลายเส้นใยเชื้อราโรคพืช เช่น เอนไซม์ chitinase, glucanase, protease และ cellulase รวมทั้งสารปฏิชีวนะ pentyl pyrone, trichodermin, gliotoxin, viridin และ oxazole ส่งผลให้เชื้อ ราโรคพืชตายเร็วขึ้น (Chamswang, 2020) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับหลายรายงาน ที่กล่าวว่าเชื้อรา *Trichoderma* spp. เมื่อสัมผัสกับเส้นใยเชื้อราโรคพืช จะแสดงกลไกการเป็นเชื้อราปรสิต ต่อเชื้อราโรคพืชด้วยการสร้างเส้นใยพันรัด และเจาะทำลายเส้นใยเชื้อราโรคพืช ซึ่งในกระบวนการนี้ได้ตรวจพบ การปลดปล่อยสารปฏิชีวนะและเอนไซม์จำนวน

หลายชนิด ส่งผลให้เชื้อราโรคพืชตายอย่างรวดเร็ว (Harman et al., 2004; Sunpapao et al., 2018; Tapwal & Pandey, 2016; Intana et al., 2021)

Table 2 Efficacy of *Trichoderma asperellum* in inhibiting and covering fungal mycelium of *Botryodiplodia* sp. and *Curvularia* sp.

Treatments	Mycelial growth inhibition (%) ¹		Over mycelial growth (%) ¹	
	<i>Botryodiplodia</i> sp.	<i>Curvularia</i> sp.	<i>Botryodiplodia</i> sp.	<i>Curvularia</i> sp.
<i>T. asperellum</i> NST-009	89.1 a	84.9 a	67.4 a	58.3 a
<i>T. asperellum</i> CB-Pin-01	82.2 b	78.9 b	62.8 b	57.4 a
Control	0.0 c	0.0 c	0.0 c	0.0 b
T-test	*	*	*	*

¹ Mean followed by the same letter are not significantly different by Duncan's new multiple rang test (P<0.05).

ประสิทธิภาพการควบคุมโรคในสภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง

จากการทดสอบพบว่าทุกกรรมวิธีทั้งการใช้เชื้อรา *T. asperellum* NST-009, *T. asperellum* CB-Pin-01, สารเคมี Benomyl และสารเคมี Captan สามารถลดความรุนแรงของโรคที่ใบปาล์มน้ำมันได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม (พ่นน้ำกลั่น) โดยพบจำนวนแผลบนใบต้นกล้าปาล์มน้ำมันน้อยกว่า กรรมวิธีควบคุมทั้งการทดสอบกับเชื้อราโรคพืช *Botryodiplodia* sp.-01 และ *Curvularia* sp.-03 โดยเฉพาะกรรมวิธีที่ใช้เชื้อรา *T. asperellum* NST-009 ที่พบจำนวนแผลบนใบปาล์มน้ำมันเมื่อทดสอบกับเชื้อรา *Botryodiplodia* sp.-01 และ *Curvularia* sp.-03 เพียง 12.9 และ 17.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใช้สารเคมี Benomyl ที่พบการเกิดโรค 11.8 และ 19.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 3) ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมพบจำนวนแผลสูงสุด (เทียบเป็น 100.0 เปอร์เซ็นต์) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เชื้อรา *T. asperellum* ทั้ง 2 สายพันธุ์ สามารถลดความรุนแรงของโรคบนใบปาล์มน้ำมัน ที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Botryodiplodia* sp.-01 และ *Curvularia* sp.-03 ได้ สอดคล้องกับรายงานของ Sunpapao et al. (2014) ที่ทดสอบเชื้อราปฏิปักษ์และชีวภัณฑ์ชนิดอิมัลชันของเชื้อรา *T. harzianum* TM2/1 และ *T. spirale* T76-1 พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อรา *C. oryzae* สาเหตุโรคใบจุดบนต้นกล้าปาล์มน้ำมันได้ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ กับการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อรา Prochloraz และยังสอดคล้องกับการรายงานของ Chamswang (2020) ที่กล่าวว่าเชื้อรา *T. asperellum* มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคทางใบของปาล์มน้ำมันที่เกิดจากเชื้อรา *Botryodiplodia* sp., *Curvularia* sp. และ *Pestalotiopsis* sp. ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพ่นโดยการเติมสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ลงในสปอร์แขวนลอยของเชื้อราปฏิปักษ์ นอกจากนี้ยังพบว่าสารเคมี Benomyl และ Captan มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคบนใบปาล์มน้ำมันที่เกิดจากเชื้อรา *Botryodiplodia* sp. และ *Curvularia* sp. ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่กล่าวว่าสารเคมี Benomyl และ Captan มีประสิทธิภาพสูง ในการควบคุมโรค Die-back ของกุหลาบและโรค turf yellow ในสนามหญ้าที่เกิดจากเชื้อรา *Botryodiplodia* sp. และ *Curvularia* sp. ตามลำดับ (Malkanhi et al., 2016; Kumar, 2018)

Table 3 Efficacy of *Trichoderma asperellum* in controlling of oil palm leaf disease caused by *Botryodiplodia* sp. and *Curvularia* sp.

Treatments	Disease severity (%) ¹	
	<i>Botryodiplodia</i> sp.	<i>Curvularia</i> sp.
<i>T. asperellum</i> NST-009	12.9 a	17.1 a
<i>T. asperellum</i> CB-Pin-01	16.8 b	25.5 b
Benomyl	11.4 a	19.8 a
Captan	25.2 c	23.6 b
Control	100.0 d	100.0 c
T-test	*	*

¹ Mean followed by the same letter are not significantly different by Duncan's new multiple rang test ($P < 0.05$)

The test was carried out in a greenhouse for 3 months.

ในการตรวจปริมาณเชื้อรา *Trichoderma* spp. บนใบปาล์มน้ำมันหลังทดสอบการควบคุมโรค พบว่ากรรมวิธีที่ใช้ *T. asperellum* NST- 009 และ *T. asperellum* CB-Pin-01 ตรวจพบปริมาณเชื้อรา บนใบปาล์มน้ำมันในช่วง $1.2 \times 10^4 - 2.3 \times 10^4$ CFU/ใบปาล์มน้ำมัน 1 กรัม โดยเฉพาะกรรมวิธีที่ใช้เชื้อรา *T. asperellum* NST- 009 ควบคุมโรคบนใบปาล์มน้ำมันที่เกิดจากเชื้อรา *Curvularia* sp.-03 ที่ตรวจพบปริมาณเชื้อรา *Trichoderma* spp. สูงสุดที่ 2.3×10^4 CFU/ใบปาล์มน้ำมัน 1 กรัม ในขณะที่กรรมวิธีควบคุม (พ่นน้ำกลั่น) และกรรมวิธีที่ใช้สารเคมี (ทั้ง Benomyl และ Captan) ตรวจไม่พบเชื้อรา *Trichoderma* spp. (Table 4) แสดงให้เห็นว่าเชื้อรา *T. asperellum* สามารถเจริญและมีชีวิตรอดบนใบปาล์มน้ำมันตลอดระยะเวลาทำการทดสอบ 3 เดือน ในสภาพโรงเรือนปลูกพืชทดลอง สอดคล้องกับหลายรายงานที่พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* spp. สามารถเจริญและเพิ่มปริมาณได้บนส่วนต่าง ๆ ของต้นพืชทดสอบในกลุ่มเงาะ ยางพารา กาแฟ แอปเปิ้ล ข้าวโพด ถั่วลิสง โกโก้ สะเดา แตงกวา ถั่วฝักยาว และแตงไทย รวมทั้งในดินปลูกพืชดังกล่าว โดยเชื้อรา *Trichoderma* spp. อาศัยธาตุอาหารที่ปลดปล่อยจากเซลล์ส่วนของใบ กิ่งก้าน ลำต้น และรากของพืช (exudates) รวมทั้งอินทรีย์วัตถุ อื่น ๆ ที่ติดบริเวณส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช ซึ่งจากคุณสมบัตินี้ทำให้การใช้เชื้อรา *Trichoderma* spp. มีศักยภาพในการควบคุมโรคพืชอย่างยั่งยืนมากยิ่งขึ้น (Chamswarnng et al., 2012; Promwee et al., 2016; Chamswarnng, 2020 Intana et al., 2021)

Table 4 The quantities of *Trichoderma* spp. on oil palm leaves after testing the effectiveness of disease control for 3 months.

Treatments	Quantities of <i>Trichoderma</i> sp. ($\times 10^4$ CFU/1 g of oil palm leaf)	
	<i>Botryodiplodia</i> sp.	<i>Curvularia</i> sp.
<i>T. asperellum</i> NST-009	1.3 a	2.3 a
<i>T. asperellum</i> CB-Pin-01	1.2 b	1.3 a
Benomyl	0.0 c	0.0 b
Captan	0.0 c	0.0 b
Control	0.0 c	0.0 b
T-test	*	*

¹ Mean followed by the same letter are not significantly different by Duncan's new multiple rang test ($P < 0.05$).

สรุปผลการศึกษา

ต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีเชื้อราโรคพืชหลายชนิดเข้าทำลายและสร้างความเสียหาย โดยเฉพาะเชื้อราทางใบ ได้แก่ *Alternaria* sp., *Botryodiplodia* spp., *Colletotrichum* spp., *Curvularia* spp., *Drechslera* spp., และ *Pestalotia* spp. โดยเชื้อรากลุ่ม *Curvularia* spp. มีความรุนแรงในการก่อโรคมากที่สุด รองลงมาได้แก่เชื้อรากลุ่ม *Botryodiplodia* spp.

เชื้อรา *T. asperellum* สามารถควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราบนใบปาล์มน้ำมันได้ โดยพบการเกิดโรคบนใบปาล์มน้ำมันน้อยกว่าการไม่ใช้เชื้อรา *T. asperellum* นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อรา *T. asperellum* สามารถเจริญและเพิ่มปริมาณบนส่วนต่าง ๆ ของต้นปาล์มน้ำมัน ซึ่งอาจส่งผลให้เกิด การป้องกันหรือควบคุมโรคพืชต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- Chamswang, C. (2020). *Trichoderma: antagonistic fungus for plant disease control*. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai).
- Chamswang, C., Yenjit P., & Intana W. (2012). Fungal disease control and quality during storage of rambutan (*Nephelium lappaceum* L. cv. Rong Rien) fruits treated with *Trichoderma harzianum* and chelated calcium at preharvest. *Journal of Philippine Agricultural Scientist*. 96(4), 377-383.
- Charoenrak, P. & Chamswang, C. (2015). Application of *Trichoderma asperellum* fresh culture bioproduct as potential biological control agent of fungal diseases to increase yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences*. 21(2), 67-85.
- Eksomtramage, T. & Jantaraniyom, T. (2015). *Oil Palm Handbook*. Songkhla: Hatyai Digital Print. (in Thai).
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet I., & Lorito, M. 2004. *Trichoderma* speices opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*. 2, 43-55.
- Intana, W., Wonglom, P., Suwannarach, H., Lumyong, S., & Sunpapao, A. (2021). Biotic Stress by *Trichoderma asperelloides* PSU-P1 Induced Pathogenesis Related Proteins Genes Expression Against Gummy Stem Blight in Muskmelon (*Cucumis melo*). *Journal of Fungi*. 7, 01-13.
- Kittimorakul, J., Pornsuriya, C., Sunpapao, A., & Petcharat, V. (2013). Survey and incidence of leaf blight and leaf spot diseases of oil palm seedlings in southern Thailand. *Journal of Plant Pathology*. 12, 149-153.
- Kumar, H. (2018) Evaluation of Different Fungicides for the Control of Die-Back Disease of Rose Caused by *Botryodiplodia theobromae* Pat. *In vitro*. *Journal of Pure and Applied bioscience*. 6(2), 801-805.
- Malkanathi A. G. I., Perera R. A. S., & Dissanayake M. L. M. C. (2016). Turf Yellowing Disease in *Paspalum vaginatum* (Turf Grass): Identification of Causative pathogen and Chemical Control. *Journal of Agricultural Scientist*. 11(2), 130-136.
- Pornsuriya, C., Sunpapao, A., Srihanant, N., Worapattamasri, K., Kittimorakul, J., Phitakkit, S., & Petcharat, V. (2013). A survey and diseases and disorders in oil palm of southern Thailand. *Journal of Plant Pathology*. 12, 169-175.
- Promwee, A., Issarakraisila, M., Intana, W., Chamswang, C., & Yenjit, P. (2014). Phosphate Solubilization and Growth Promotion of Rubber Tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) by *Trichoderma* Strains. *Journal of Agricultural Scientist*. 6(9), 8-20.
- Promwee, A., Yenjit, P., Issarakraisila, M., Intana, W., & Chamswang, C. (2017). Efficacy of indigenous *Trichoderma harzianum* in controlling *Phytophthora* leaf fall (*Phytophthora palmivora*) in Thai rubber trees. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 124(1), 41-50.
- Sunpapao, A., Kittimorakul, J., & Pornsuriya, C. (2014). Disease Note: Identification of *Curvularia oryzae* as cause of leaf spot disease on oil palm seedlings in nurseries of Thailand. *Phytoparasitica*. 42, 529-533.
- Sunpapao, A., Chairina, T., & Ito, S.I. (2018). The biocontrol by *Streptomyces* and *Trichoderma* of leaf spot disease caused by *Curvularia oryzae* in oil palm seedlings. *Journal of Biological Control*. 123, 36-42.

Tapwal, A. & Pandey, H. (2016). In vitro evaluation of *Trichoderma* species for virulence efficacy on *Botryodiplodia palmarum*. **Journal of Current Life Sciences**. 2(3), 86-91.

วันรับบทความ (Received date) : 30 พ.ค. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 17 มิ.ย. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 21 มิ.ย. 65

ผลการจัดโปรแกรมเสริมกรดอินทรีย์และวิตามินรวมในน้ำดื่มของไก่เนื้อที่เลี้ยงภายใต้สภาพ โรงเรือนเปิด

Effect of Mixed Organic Acids and Multivitamins Supplementation Program in Drinking Water of Broilers Raised under Opened House Conditions

ปวีณอิศรชิต์ เคนจันท์^{1*} และ อนันทยา แสนสวัสดิ์²
Paweenisaras Khenjan^{1*} and Ananthaya Sansawat²

บทคัดย่อ

การศึกษการจัดโปรแกรมการเสริมกรดอินทรีย์รวมและวิตามินในน้ำดื่มของไก่เนื้อที่เลี้ยงภายใต้สภาพโรงเรือนเปิดต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก และจุลินทรีย์ในไส้ตัน ได้ใช้ไก่เนื้อเพศผู้อายุ 7 วัน จำนวน 160 ตัว วางแผนทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ตัว โดยกลุ่มที่ 1 ไม่ได้รับสารเสริม (CO; กลุ่มควบคุม), กลุ่มที่ 2 เสริมกรดอินทรีย์รวม (OA) ในน้ำดื่ม ปริมาณ 1 มล./น้ำ 1 ลิตร, กลุ่มที่ 3 เสริมวิตามินรวม (VM) ปริมาณ 1 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ตั้งแต่อายุ 7-35 วัน และกลุ่มที่ 4 เสริม VM ที่อายุ 7-21 วัน และ OA ที่อายุ 22-35 วัน (VO) ไก่ทุกกลุ่มจะได้รับอาหารสำเร็จรูปทางการค้าจนกระทั่งอายุ 42 วัน ผลการศึกษาพบว่า กลุ่ม VO มีน้ำหนักสุดท้ายมากกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่ม VM ($P<0.01$) ไก่เนื้อที่ได้รับสารเสริมของทุกกลุ่มมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น (WG) และค่าดัชนีการผลิต (PI) สูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.01$) เปอร์เซ็นต์ซากและคุณภาพซากของทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบเปอร์เซ็นต์ไขมันของกลุ่ม OA และ VO สูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ ($P<0.05$) การเสริมกรดอินทรีย์และวิตามินในน้ำดื่มส่งผลให้ไก่เนื้อมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกสูงากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) กลุ่ม VO และ OA ได้รับค่าตอบแทนจากการขายไก่มีชีวิตมากกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.01$) ดังนั้นการจัดโปรแกรมเสริม VM ที่อายุ 7-21 วัน ร่วมกับ OA ที่อายุ 22-35 วัน ในน้ำดื่ม ส่งผลให้ไก่เนื้อที่เลี้ยงในโรงเรือนเปิดมีดัชนีการผลิตและผลตอบแทนการลงทุนที่ดีที่สุด รวมทั้งส่งผลให้ไก่เนื้อมีปริมาณเชื้อ *E. coli* ในลำไส้ลดลงด้วย

คำสำคัญ: กรดอินทรีย์รวม วิตามิน สมรรถภาพการผลิต จุลินทรีย์ในไส้ตัน โรงเรือนเปิด

Abstract

The research aims to study the Effect of mixed organic acids and multivitamins supplementation program in drinking water of broilers raised under opened house conditions on performance, carcass characteristics and caecal bacteria counts of broilers. This study was conducted on 7-days-old male chicks and a total of 160 broiler chicks were randomly divided into 4 groups of 4 replicates with 10 birds/replicate. Four treatments were as follows: Group 1 had no added feed additive (CO; control), Group 2 took organic acids (OA) added into drinking water at 1 mL/L, Group 3 was supplemented with vitamins (VM) at 1 g/L, during 7 to 35 days of age. VM and OA were added to Group 4 from 7 to 21 days of age and from 22 to 35 days of age, respectively. All birds received commercial feed throughout the experiment until 42 days old. The results revealed that the VO group had a higher final weight than the control group, and the VM groups ($P<0.01$). All of the broilers that received drinking water supplements showed higher body weight gain (WG) and

¹สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี 20110

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี 20110

¹Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chonburi, 20110, Thailand

²Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chonburi, 20110, Thailand

*Corresponding author: paweenkhen@gmail.com

production index (PI) than those in the control group ($P < 0.01$). The carcass percentages and carcass quality of all groups were not significantly different ($P > 0.05$), but the spleen percentages of the OA and VO groups were higher than the other groups ($P < 0.05$). Adding organic acids and vitamins in the drinking water resulted in the broiler chickens having significantly higher lactic acid bacteria than the control group ($P < 0.01$). The VO and OA groups had significantly higher returns on investment than the control group ($P < 0.01$). Therefore, under opened house conditions, the supplementation of VM at 7 to 21 days of age and OA at 22 to 35 days of age, respectively, in drinking water resulted in the best production index and return of investment. Also *E. coli* concentration in caeca reduced in the broilers.

Keywords: total organic acids, vitamin, productive performance, caecal microbial, opened house conditions

คำนำ

อุตสาหกรรมการผลิตไก่เนื้อมีความต้องการได้รับผลผลิตที่สูง จึงได้มีการนำสารเสริม (feed additives) จำพวกยาปฏิชีวนะ (antibiotic) มาเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตในสัตว์ปีก เพื่อใช้ในการรักษาสสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร ป้องกันการเกิดโรค อย่างไรก็ตามการใช้สารปฏิชีวนะอาจก่อให้เกิดปัญหาสารตกค้างและเกิดการดื้อยาที่ใช้ในการรักษาในมนุษย์และสัตว์ ทำให้องค์กร European Commission (EC) มีการจำกัดการใช้สารปฏิชีวนะที่เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตในการเลี้ยงสัตว์ (Khan & Iqbal, 2016) จึงมีการนำสารเสริมอื่นมาทดแทนการใช้สารปฏิชีวนะ โดยได้มีการใช้กรดอินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ กรดฟอร์มิก (formic acid), กรดแลคติก (lactic acid), กรดโพรปิโอนิก (propionic acid), กรดอะซิติก (acetic acid), กรดซิตริก (citric acid) เป็นต้น เพื่อนำมาใช้เสริมในอาหารหรือน้ำดื่มให้ไก่เนื้อ กรดอินทรีย์มีผลในการช่วยรักษาค่า pH ของระบบทางเดินอาหารให้อยู่ในระดับที่ป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรค ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ โดยการสนับสนุนเอนไซม์ที่ย่อยอาหารภายในร่างกาย และกรดอินทรีย์ยังมีส่วนช่วยเพิ่มการตอบสนองของภูมิคุ้มกันในไก่เนื้อ (Hajati, 2018; Islam & Nishibori, 2017)

การเสริมวิตามินในการเลี้ยงไก่เนื้อสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเมตาบอลิซึม การเจริญเติบโต สร้างภูมิคุ้มกัน ลดอัตราการตาย และลดภาวะขาดวิตามินในสัตว์ปีก เนื่องจากสัตว์ปีกมีความอ่อนไหวต่อการขาดวิตามิน เพราะลำไส้ของสัตว์ปีกสามารถสังเคราะห์วิตามินได้เพียงเล็กน้อย อีกทั้งในระบบการเลี้ยงไก่เนื้อยังพบกับปัจจัยที่เอื้อให้เกิดความเครียดมากมาย (Rahman et al., 2012) ซึ่งจะเห็นได้ว่า การใช้สารเสริมที่มีความปลอดภัยในการเลี้ยงไก่เนื้อจึงมีความจำเป็น อย่างไรก็ตามการใช้สารเสริมที่เกินความจำเป็นในกระบวนการเลี้ยงอาจส่งผลให้ผู้ประกอบการมีต้นทุนที่สูงขึ้น การศึกษาผลการจัดโปรแกรมการเสริมกรดอินทรีย์และ วิตามินในน้ำดื่ม จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและในการทราบข้อมูลด้านการใช้สารเสริมต่อสมรรถนะการผลิตและต้นทุนการผลิตยังเป็นข้อมูลทางเลือกในการลดการใช้สารปฏิชีวนะให้กับเกษตรกร ผู้ประกอบการ และผู้สนใจ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการใช้สารเสริมกรดอินทรีย์และวิตามินในน้ำดื่มที่มีความปลอดภัยต่อไก่เนื้อและผู้บริโภคด้วย

วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลองและการวางแผนการทดลอง

การทดลองนี้กำหนดการใช้จำนวนสัตว์ทดลองด้วยโปรแกรม G power version 3.1.9.7 (Faul et al., 2007) เพื่อให้มีความเหมาะสมและเพียงพอตามหลักจรรยาบรรณการใช้สัตว์ ใบอนุญาตใช้สัตว์ U1-03187-2559 ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยใช้ ไก่เนื้อเพศผู้สายพันธุ์ Ross อายุ 7 วัน จำนวนทั้งหมด 160 ตัว ทำการสุ่มไก่ออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ตัว โดยกลุ่มที่ 1 ไก่เนื้อ

ไม่ได้รับสารเสริม (CO; กลุ่มควบคุม), กลุ่มที่ 2 (OA) เสริมกรดอินทรีย์รวมปริมาณ 1 มล./น้ำ 1 ลิตร ให้ไก่ตั้งแต่อายุ 7-35 วัน, กลุ่มที่ 3 (VM) เสริมวิตามินรวมปริมาณ 1 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ให้ไก่ตั้งแต่อายุ 7-35 วัน และกลุ่มที่ 4 (VO) เสริม VM ให้ไก่ที่อายุ 7-21 วัน และ OA ที่อายุ 22-35 วัน

สารเสริมกรดอินทรีย์รวม (Lovit acid[®], Kaesler animal nutrition, Germany) ที่ใช้ในการทดลอง ปริมาณ 1 กิโลกรัมจะประกอบไปด้วย กรดฟอร์มิก (formic acid) 33.5%, กรดแลคติก (lactic acid) 20%, กรดโพรปิโอนิก (propionic acid) 10%, กรดอะซิติก (acetic acid) 8%, กรดซิตริก (citric acid) 3% และสารเสริมวิตามินสังเคราะห์ทางการค้า ปริมาณ 1 กิโลกรัม จะประกอบด้วย วิตามินเอ 20,000,000 IU, วิตามินดี (D3) 4,000,000 IU, วิตามินอี 22,000 IU, วิตามินเค (K3) 4.0 g, วิตามินบี (B1, 2, 3, 5, 6, 12) 26.05 g, วิตามินซี 15 g และสารเสริมอื่น ๆ

ไก่เนื้อในการทดลองจะได้รับวัคซีนในการป้องกันโรคหลอดลมอักเสบร่วมกับนิวคาสเซิล และวัคซีนกัมโบโรที่ไก่อายุ 14 และ 21 วัน ตามลำดับ ไก่เนื้อจะถูกเลี้ยงในโรงเรือนเปิด ขนาดคอกไก่ 2.50 ตร.ม./ตัว ใช้แกลบเป็นวัสดุรองพื้น และอาหารที่ไก่เนื้อได้รับ จะใช้อาหารสำเร็จรูปทางการค้าแบ่งเป็น 2 ช่วงอายุ ได้แก่ ช่วงอายุแรกเกิดถึง 3 สัปดาห์ (มีโปรตีนหยาบ 21%) และช่วงอายุ 4 - 6 สัปดาห์ (มีโปรตีนหยาบ 18%) ไก่ทุกกลุ่มทดลองจะได้รับอาหารและน้ำดื่มอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) โดยในแต่ละวันจะให้น้ำและอาหาร 2 ช่วง คือ เวลา 7.00 และ 17.00น.

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการบันทึกข้อมูลจากการทดลองตั้งแต่ไก่อายุ 7 วัน โดยจะบันทึกน้ำหนักไก่ น้ำหนักอาหารที่กิน และปริมาณน้ำดื่ม เพื่อคำนวณประสิทธิภาพการผลิตทุกสัปดาห์ของทุกกลุ่ม เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ไก่อายุ 42 วัน จะทำการสุ่มไก่กลุ่มละ 24 ตัว แบ่งเป็น 2 ชุดๆ ละ 12 ตัว;

ไก่ชุดที่ 1 จะถูกใช้เพื่อศึกษาด้านคุณลักษณะซาก โดยจะทำการชำแหละซากไก่ตามหลักสากล เพื่อคำนวณเป็นผลผลิตจากซาก ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ซาก (dressing percentage) เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง (retail cut percentage) และนำชิ้นส่วนเนื้อหน้าอกของแต่ละกลุ่มมาศึกษาวิเคราะห์ผลด้านคุณภาพเนื้อ ได้แก่ ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity; WHC), ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force value) และวิเคราะห์ผลด้านเนื้อสัมผัส (texture profile analysis; TPA) จะประเมินผลด้วยเครื่อง Texture analyzer, Stable Micro System, TA-XTPlus, UK (Jaturasitha et al., 2008; Filho et al., 2017; Gallegos et al., 2019; Khenjan et al., 2022; Weimer et al., 2022)

ไก่ชุดที่ 2 จะถูกเก็บตัวอย่างของเหลวจากบริเวณไส้ตันเพื่อตรวจนับจุลินทรีย์ โดยการเก็บตัวอย่างดัดแปลงจากวิธีการของ Khenjan et al. (2022); Erenner et. al. (2011) ในการวิเคราะห์จะนำของเหลวในไส้ตันในปริมาณ 1 กรัม ทดสอบด้วยวิธี Spread plate technique ทำการตรวจนับจุลินทรีย์ Lactic acid bacteria, *Escherichia coli* (*E. coli*), Enterococcus และ total bacteria ซึ่งการตรวจแบคทีเรียกรดแลคติกจะใช้อาหาร MRS agar, *Escherichia coli* ใช้อาหาร MacConkey agar, Enterococcus ใช้อาหาร Slanetz and Bartley medium และ total bacteria ใช้อาหาร Plate count agar (PCA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นตรวจนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (Log CFU/กรัม)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) แบบทางเดียว (one-way ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ R statistical software version 1.3.1056 (R Studio, 2020)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลสมรรถภาพการผลิตและค่าตอบแทนที่ได้รับ

ผลการจัดโปรแกรมการเสริมกรดอินทรีย์รวมและวิตามินรวมในน้ำดื่มต่อสมรรถภาพการผลิตและผลตอบแทนที่ได้รับ (Table 1) พบว่า การใช้สารเสริมในการทดลองตั้งแต่ระยะแรกที่ไก่อายุ 7 - 21 วัน ส่งผลให้ไก่เนื้อในกลุ่มที่ 2 - 4 มีค่าเฉลี่ยผลรวมน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่ระหว่างช่วงอายุ 22 - 42 วันไก่ในกลุ่มควบคุมมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกับกลุ่ม VM ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของกลุ่มที่ 2 - 4 ที่ได้รับโปรแกรมสารเสริมนั้นมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับสารเสริม (กลุ่มควบคุม) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Ali et al. (2020) ที่พบว่า การเสริมกรดอินทรีย์รวมที่ประกอบด้วย กรดฟอร์มิก กรดแลคติก โปรปิโอนิก และกรดซิตริกผสมในน้ำดื่มส่งผลให้ไก่เนื้อมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับสารเสริม Phoprasit et al. (2014) พบว่า การใช้สารเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับวิตามินผสมในน้ำดื่มให้กับไก่เนื้อตั้งแต่อายุ 1 - 42 วันนั้น ส่งผลให้ไก่เนื้อมีน้ำหนักตัวสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีของวิตามินและกรดอินทรีย์โดยวิตามินรวมประกอบไปด้วยวิตามินที่หลากหลายชนิด ได้แก่ วิตามิน A, D, E, K, C, B ที่เป็นสารอาหารที่จำเป็นสามารถดูดซึมที่บริเวณลำไส้เล็กได้โดยตรง ซึ่งสารอาหารเหล่านี้มีส่วนช่วยกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ของไก่เนื้อ (Sadarman et al., 2021) และการเสริมวิตามินรวมให้กับไก่เนื้อสามารถเพิ่มน้ำหนักตัว ผลผลิตของเนื้อ และป้องกันโรคขาดสารอาหาร และสามารถลดอัตราการตายของไก่ได้ (Kamalzadeh et al., 2009; Rahman et al., 2012; Islam & Nishibori, 2017) Ma et al. (2021) รายงานว่า ไก่เนื้อที่ได้รับการเสริมกรดอินทรีย์รวมปริมาณ 3,000 มก./กก. และ 6,000 มก./กก. อาหาร ให้ผลอัตราการเจริญเติบโต และน้ำหนักสุดท้ายที่อายุ 42 วันสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม ($P < 0.01$) ค่าเฉลี่ยของปริมาณอาหารที่กินและ FCR ตลอดการทดลองของกลุ่ม VO ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่ม VM ($P < 0.01$) เนื่องจากจากคุณสมบัติที่ดีของกรดอินทรีย์ยังส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหารและการเจริญเติบโตของไก่ (Açıkgöz et al., 2011; Khan & Iqbal, 2016; Hamid et al., 2018; Bouassi et al., 2021) โดยเป็นไปได้ว่า กลไกออกฤทธิ์ของกรดอินทรีย์นั้นมีความเกี่ยวข้องกับลด pH ในอาหารและลด pH ของระบบทางเดินอาหารภายหลังจากที่มีอาหารเข้ามา และยังส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากอาหารเพิ่มขึ้น (Kim et al., 2015) เมื่อวิเคราะห์ผลค่าดัชนีประสิทธิภาพการผลิต (Performance index; PI index) ตลอดการทดลองพบว่า กลุ่มที่เสริมสารเสริมในน้ำดื่มทุกกลุ่มมีค่า PI สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) สอดคล้องกับ Sadarman et al. (2021) ที่รายงานว่าการใช้สารเสริมวิตามินรวมในน้ำดื่มทำให้ PI index ของไก่เนื้อเพิ่มขึ้น ผลอัตราการรอดชีวิตของไก่กลุ่มที่ได้รับสารเสริมมีแนวโน้มอัตราการรอดชีวิตสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) สอดคล้องกับ Phoprasit et al. (2014) รายงานว่าการเสริมวิตามินและวิตามินร่วมกับกรดอินทรีย์ให้ผลอัตราการตายของไก่เนื้อต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก วิตามินให้ผลการตอบสนองภูมิคุ้มกัน เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ต่อต้านการอักเสบ บรรเทาอาการหงอยซึม และปัญหาสุขภาพของไก่เนื้อที่เลี้ยงภายใต้สภาวะความเครียดจากความร้อน ส่งผลให้อัตราการรอดชีวิตสูง (Kim et al., 2021) อีกทั้งกรดอินทรีย์เป็นสารที่ส่งเสริมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน ปกป้องระบบทางเดินอาหารปรับสมดุลจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารและช่วยส่งเสริมสุขภาพไก่ (Mustafa et al. 2021; Pham et al., 2020) กลุ่มที่มีการเสริมวิตามินรวมและกรดอินทรีย์รวมในน้ำดื่มไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ปริมาณน้ำดื่มเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Phoprasit et al. (2014) ที่พบว่า กลุ่มไก่ที่ได้รับการเสริมวิตามินรวมปริมาณ 1 กรัม/น้ำ 1 ลิตร และกลุ่มไก่ที่ได้รับการเสริมวิตามิน 1 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ร่วมกับการเสริมกรดอินทรีย์รวมปริมาณ 1 มล./น้ำ 1 ลิตรมีผลปริมาณการดื่มน้ำไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตามให้ผลตรงข้ามกับการทดลองของ Arce-Menocal et al. (2020) ที่รายงานว่าการเสริมกรดอินทรีย์รวมปริมาณ 0.3 และ 1 ลิตร/น้ำ 1,000 ลิตร ส่งผลให้มีปริมาณการบริโภคน้ำดื่มเพิ่มขึ้น 2.23 และ 2.42%

ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับไก่ที่ไม่ได้รับการเสริมกรดอินทรีย์ ($P < 0.05$) แต่ในขณะที่ Ali et al. (2020) พบว่า การเสริมกรดอินทรีย์รวมในน้ำดื่มส่งผลให้การบริโภคน้ำดื่มของไก่ลดลง แต่อย่างไรก็ตามไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตด้านอื่น

Table 1 Productive performance of broilers on supplemented with various mixed additive in drinking water.

Items	T1 (CO)	T2 (OA)	T3 (VM)	T4 (VO)	SEM	P-value
Initial weight (g/bird)	202.31	200.86	202.18	202.20	0.479	0.717
Final weight (g/ bird)	2816.53 ^a	2889.38 ^{bc}	2869.28 ^b	2904.02 ^c	9.801	0.000
Weight gain; WG (g/bird)						
7 - 21 days of age	728.14 ^a	759.58 ^b	761.12 ^b	768.83 ^b	4.688	0.001
22 - 42 days of age	1886.08 ^a	1928.93 ^b	1905.97 ^{ab}	1932.98 ^b	6.355	0.011
7-42 days of age	2614.22 ^a	2688.52 ^b	2667.10 ^b	2701.82 ^b	9.885	0.000
Feed in take; FI (g/bird)						
7 - 21 days of age	899.83	877.36	901.88	890.12	5.305	0.370
22 - 42 days of age	3163.28 ^b	3100.53 ^{ab}	3177.61 ^b	3059.65 ^a	18.473	0.062
7-42 days of age	4063.12 ^b	3977.90 ^{ab}	4079.50 ^b	3949.77 ^a	20.184	0.037
Feed conversion ratio; FCR						
7 - 21 days of age	1.23 ^b	1.15 ^a	1.18 ^a	1.16 ^a	0.010	0.005
22 - 42 days of age	1.68 ^c	1.61 ^{ab}	1.67 ^{bc}	1.58 ^a	0.013	0.017
7-42 days of age	1.55 ^b	1.47 ^a	1.52 ^b	1.46 ^a	0.010	0.003
Water consumption (L/bird)						
7 - 21 days of age	1.86	1.82	1.89	1.88	0.012	0.195
22 - 42 days of age	6.41	6.42	6.43	6.36	0.016	0.577
7-42 days of age	8.27	8.24	8.32	8.25	0.020	0.516
Survival rate; SR (%)						
7 - 21 days of age	96.25	98.75	100.00	100.00	0.721	0.217
22 - 42 days of age	86.66	95.00	95.00	95.00	1.547	0.132
7-42 days of age	90.50	96.50	97.00	97.00	1.062	0.061
Production index; PI ^{1/}	390.55 ^a	448.96 ^b	433.32 ^b	459.19 ^b	8.36	0.004

a, b, c indicated the difference within a row was significant ($P < 0.01$)

$$1/ \text{ Production index (PI)} = \left\{ \frac{[\text{Final BW; (kg)} \times \text{SR; (\%)}] \times 100}{[\text{Feeding period (42 day of age)} \times \text{FCR}]} \right\}$$

ผลด้านต้นทุนค่าอาหารรวมต้นทุนค่าสารเสริมแสดงใน Table 2 พบว่า ทุกกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองของไก่เนื้อในกลุ่มที่ใช้สารเสริมในน้ำดื่มมีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.01$) ดังนั้นเมื่อขายไก่มีชีวิตหน้าฟาร์มที่ราคาไก่โลกรัมละ 36 บาท จึงส่งผลให้ได้รับผลตอบแทนสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับงานทดลองของ Islam & Nishibori (2017) ที่พบว่า กลุ่มไก่เนื้อพันธุ์ Cobb-500 ที่ได้รับการเสริมวิตามินรวม และกลุ่มที่ได้รับการเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับวิตามินรวม ตั้งแต่อายุ 1 - 35 วัน ส่งผลให้ได้รับผลกำไรจากการขายไก่มีชีวิตมากกว่ากลุ่มควบคุม และเมื่อวิเคราะห์ผลกำไรและเปอร์เซ็นต์ผล

กำไรจากการขายไก่มีชีวิตหักลบจากต้นทุนค่าอาหาร ค่าสารเสริม และค่าลูกไก่ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า กลุ่ม VO และ OA ได้รับผลกำไรและเปอร์เซ็นต์กำไรต่อการลงทุนมากกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) สอดคล้องกับรายงานของ Ndelekwute et al., (2015) ที่พบว่า การเสริมกรดอินทรีย์ในน้ำดื่มให้ไก่เนื้อพันธุ์ Abor acres จนกระทั่งอายุ 56 วัน ส่งผลให้ได้รับผลกำไรจากการขายไก่เนื้อมีชีวิตมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมกรดอินทรีย์ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ Ózsvári et al. (2017) ยังพบว่า การเสริมวิตามินและแร่ธาตุในการเลี้ยงส่งผลให้ไก่เนื้อมีอัตราการตายต่ำ มีน้ำหนักมีชีวิตก่อนฆ่าสูง จึงทำให้ได้รับผลตอบแทนกำไรสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้สารเสริม

Table 2 Cost benefits of broiler on supplemented with various mixed additive in drinking water.

Items	T1 (CO)	T2 (OA)	T3 (VM)	T4 (VO)	SEM	P-value
Selling prices of final weight (36 THB/kg)	101.39 ^a	104.01 ^{bc}	103.29 ^b	104.54 ^c	0.352	0.000
Feed cost per gain; FCG ^{1/} (THB/kg/bird)	63.95 ^b	62.61 ^{ab}	64.21 ^b	62.18 ^a	0.316	0.037
Cost of feed additives; CFD (THB/bird)	0.00 ^a	1.33 ^d	0.84 ^b	1.17 ^c	0.133	0.000
Total FCG and CFD (THB/bird)	63.95	63.94	65.05	63.36	0.275	0.171
Returns from investment; RFI ^{2/} (THB/bird)	19.43 ^a	22.07 ^{bc}	20.23 ^{ab}	23.18 ^c	0.494	0.011
Returns on investment; ROI ^{3/} (%)	30.39 ^a	34.53 ^{ab}	31.13 ^a	36.65 ^b	0.893	0.022

^{1/}FCG = (FCR × WG × Feed cost)

^{2/}Returns from investment (RFI) = [Selling prices of live chicken – (Total FCG and CFD + Price of live chick; 18 THB/chick)]

^{3/}Returns of investment; ROI (%) = [(RFI/ Total FCG and CFD) × 100]

a, b, c, d indicated the difference within a row was significant ($P < 0.05$).

ผลคุณลักษณะซากและคุณภาพเนื้อ

คุณลักษณะซากของไก่เนื้อจากการทดลองแสดงผลใน Table 3 พบว่า กลุ่มที่ใช้สารเสริมวิตามินและกรดอินทรีย์ในน้ำดื่มมีผลปริมาณเปอร์เซ็นต์ซาก ชิ้นส่วนซาก และอวัยวะภายใน ได้แก่ ตับ หัวใจ กึ้น กระเพาะแท้ และลำไส้แตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สอดคล้องกับ Adil et al., (2010) ที่รายงานว่า ไก่เนื้อที่ได้รับการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารให้ผลเปอร์เซ็นต์ซาก กึ้น ตับ หัวใจ ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) Phoprasit et al. (2014) พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับการเสริมวิตามินรวมและกรดอินทรีย์รวมในน้ำดื่มให้ผลเปอร์เซ็นต์ซากและชิ้นส่วนซากไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) แต่ในการทดลองครั้งนี้พบว่า กลุ่ม OA และ VO มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักม้ามมากกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) เช่นเดียวกับ Ndelekwute et al., (2019) ได้รายงานว่า ไก่ที่ไม่ได้รับสารเสริมกรดอินทรีย์ มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักม้าน้อยกว่ากลุ่มที่เสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ทั้งนี้ม้ามจัดว่าเป็นอวัยวะในระบบภูมิคุ้มกัน (lymphoid organ) ซึ่งอวัยวะนี้ถือว่าเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงสุขภาพของไก่ได้ และน้ำหนักของม้ามที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมการตอบสนองของภูมิคุ้มกันที่จะพัฒนาไปเป็นทีลิมโฟไซต์ (T-lymphocytes) ต่อไป (Martínez et al., 2021) นอกจากนี้ Lohaka et al., (2005) ให้ข้อมูลว่า การเสริมกรดอินทรีย์ให้ไก่เนื้อสามารถส่งเสริมการทำงานของวิถีเฮกโซส โมโนฟอสเฟต (hexose monophosphate pathway) มีส่วนเพิ่มการหมุนเวียนของภูมิคุ้มกันภายในเลือด (circulating antibody) สามารถกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์สารภูมิคุ้มกันอีกหลายชนิด เช่น Interleukin-2, CD4, CD8, natural killer (NK) cells, TCR-II lymphocytes และ B cells ให้มีการตอบสนองต่อแอนติเจนจากภายนอก (exogenous antigen) ที่เข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็ว (Khan & Iqbal, 2016)

Table 3 Carcass traits and retail cuts of broiler on supplemented with various mixed additive in drinking water.

Items	T1 (CO)	T2 (OA)	T3 (VM)	T4 (VO)	SEM	P-value
Live weight (g/head)	2531.68	2569.16	2579.16	2557.50	21.334	0.899
Dressing (g 100g ⁻¹ BW)	76.06	77.18	76.69	76.90	0.330	0.714
Retail meat cuts (g 100g⁻¹ BW)						
Wing	9.46	9.72	9.54	9.80	0.090	0.571
Drumstick	13.56	13.34	13.80	13.25	0.123	0.424
Thigh	17.17	16.39	17.31	17.10	0.258	0.638
<i>Pectoralis major</i>	29.64	30.30	29.82	29.72	0.341	0.925
<i>Pectoralis minor</i>	5.56	5.57	5.53	5.58	0.079	0.998
Neck and head	5.46	5.48	5.28	5.25	0.156	0.946
Feet and shank	3.55	3.44	3.49	3.59	0.055	0.798
Liver	1.83	1.88	1.77	1.81	0.032	0.709
Spleen	0.12 ^a	0.25 ^b	1.99 ^{ab}	0.21 ^b	0.017	0.039
Heart	0.49	0.43	0.44	0.47	0.011	0.173
Gizzard and proventriculus	2.32	2.09	2.26	2.10	0.054	0.366
Intestine	3.04	2.58	2.76	2.92	0.072	0.121
Skeleton bone	22.23	24.37	23.45	23.44	0.502	0.560
pH _{45 min.}	6.47	6.45	6.48	6.42	0.016	0.683
pH _{24 Hrs.}	6.03	6.11	6.12	6.09	0.025	0.651
Water Holding Capacity; WHC (%)						
Drip loss (DL)	4.91	4.42	4.60	4.95	0.208	0.795
Grilling loss (GL)	25.78	22.79	25.41	22.96	0.655	0.233
Thawing loss (TL)	3.30	3.69	3.81	3.32	0.281	0.903
Boiling loss (BL)	17.40	16.81	16.16	17.03	0.298	0.540
Total loss ^{1/}	20.71	20.50	19.97	20.36	0.407	0.942

^{a, b} indicated the difference within a row was significant (P<0.05)

^{1/}Thawing loss and Boiling loss.

การศึกษาด้านคุณภาพเนื้อของไก่จากการทดลอง พบว่า pH หลังฆ่า ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียในการเก็บรักษา การละลายน้ำแข็ง และจากการประกอบอาหารของทุกกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แสดงผลในทิศทางเดียวกับ Nguyen & Kim (2020) ที่พบว่า การเสริมกรดอินทรีย์ที่ระดับ 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 กรัม/กก.อาหาร ให้ผลค่า pH ลักษณะสีของเนื้อ ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (P>0.05) ซึ่งให้ผลตรงข้ามกับ Phoprasit et al. (2014) ที่พบว่า การเสริมวิตามินรวม และวิตามินรวมรวมกับการเสริมกรดอินทรีย์ให้กับไก่เนื้อตั้งแต่อายุ 1 - 42 วัน ส่งผลให้สูญเสียในเก็บรักษาต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม ทั้งนี้ อาจเนื่องจากระยะเวลาการจัดโปรแกรมการใช้สารเสริมวิตามินรวม และกรดอินทรีย์ในไก่เนื้อในการทดลองครั้งนี้ใช้ระยะเวลาสั้น (อายุ 7 - 35 วัน) แต่ทำการฆ่าเพื่อศึกษาคุณภาพซากที่อายุ 42 วันจึงทำให้ปริมาณของกรดอินทรีย์ และวิตามินที่ร่างกายเคยได้รับมีการสะสมในเนื้อเยื่อปริมาณลดน้อยลง จึงส่งผลให้คุณภาพเนื้อหลังฆ่าไม่แตกต่างกับกลุ่ม

ควบคุม ส่วนผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TPA) ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ค่าความแข็ง ค่าความสามารถยืดหยุ่นของเนื้อ ของทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (แสดงใน Table 3 & 4)

Table 4 Meat quality of broilers on supplemented with various mixed additive in drinking water.

Items	T1 (CO)	T2 (OA)	T3 (VM)	T4 (VO)	SEM	P-value
Textural profile analysis test						
WB Shear force (g)	2693.49	2526.43	2688.53	2536.48	103.02	0.909
Hardness (g)	7711.98	5376.94	7198.85	6104.60	462.51	0.283
Springiness (ratio)	0.42	0.38	0.40	0.39	0.008	0.525
Cohesiveness (ratio)	0.31	0.33	0.32	0.30	0.009	0.736
Gumminess (g)	2409.73	1778.37	2329.77	1791.60	152.437	0.307
Chewiness (g mm)	978.07	655.58	961.86	678.92	71.352	0.214

ผลปริมาณจุลินทรีย์ในไส้ตัน

ไก่เนื้อที่ได้รับสารเสริมในน้ำดื่มมีปริมาณแบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria) ในไส้ตันสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.01$) สอดคล้องกับการรายงานของ Nosrati et al. (2017) ที่พบว่า ไก่ที่ได้รับการเสริมวิตามินซี (0.1 กรัม/ลิตร) และไก่ที่ได้รับการเสริมกรดอินทรีย์ butyric acid (5 ซีซี/ลิตร) ส่งผลให้มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกกลุ่ม Lactobacilli มีปริมาณสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับสารเสริม ($P<0.05$) โดยแบคทีเรียแลคติกจัดว่าเป็นจุลินทรีย์โปรไบโอติก (probiotic) ในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาภูมิคุ้มกันและส่งเสริมสุขภาพของไก่ (Fajardo et al., 2012) ผลปริมาณ Total bacteria และ *Enterococcus* ในการทดลองครั้งนี้ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) แต่อย่างไรก็ตามผลปริมาณจุลินทรีย์ *E. coli* ในกลุ่มที่ใช้สารเสริมกรดอินทรีย์ในน้ำดื่มมีจำนวนน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.01$) ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับ Hassan et al. (2010) ที่พบว่า การเสริมกรดอินทรีย์ให้ไก่เนื้อ ปริมาณ 0.06 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ปริมาณ *E. coli* ในลำไส้ลดลงกว่ากลุ่มที่ใช้ยาปฏิชีวนะ Enramycin 0.02 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มควบคุม ($P<0.01$) และการศึกษาของ Nosrati et al. (2017) ยังรายงานว่า การเสริมวิตามินซี และเสริมกรดอินทรีย์ butyric acid ในน้ำดื่มไก่ทำให้ปริมาณแบคทีเรีย *E. Coli* บริเวณลำไส้เล็กส่วนปลายมีจำนวนน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณกรดอินทรีย์ให้กับไก่นั้น มีประโยชน์ต่อประสิทธิภาพการผลิตและสามารถลดจำนวนแบคทีเรียก่อโรค (pathogenic bacteria) (Khan & Iqbal, 2016)

Table 5 Caecal bacteria counts of broiler on supplemented with various mixed additive in drinking Water.

Items	T1 (CO)	T2 (OA)	T3 (VM)	T4 (VO)	SEM	P-value
Caecal microbiota type						
Lactic acid bacteria (Log CFU/g)	8.42 ^a	8.83 ^b	8.82 ^b	8.96 ^b	0.064	0.001
<i>Escherichia coli</i> (Log CFU/g)	6.66 ^b	6.19 ^a	6.31 ^a	6.07 ^a	0.073	0.009
<i>Enterococcus</i> (Log CFU/g)	4.77	4.50	4.52	4.56	0.119	0.878
Total Bacteria (Log CFU/g)	9.47	9.27	9.23	9.29	0.046	0.305

^{a, b} indicated the difference within a row was significant ($P<0.01$).

สรุปผลการศึกษา

การจัดโปรแกรมการเสริมวิตามินรวมตั้งแต่อายุ 7-21 วัน ร่วมกับการเสริมกรดอินทรีย์รวมที่อายุ 22-35 วัน ในน้ำดื่ม ส่งผลให้ไก่เนื้อมีดัชนีการผลิตสูงสุด และยังให้ผลด้านต้นทุนการผลิตต่ำ ทำให้ได้รับผลกำไรจากการขาย ไก่มีชีวิตสูงสุด รวมทั้งยังส่งผลให้มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกสูงขึ้น และลดปริมาณแบคทีเรีย *E. coli* ในไส้ตันด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทยูเนี่ยนแคสแทป จำกัด ที่สนับสนุนสารเสริมกรดอินทรีย์ที่ในการวิจัย ขอขอบคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษารายวิชาการผลิตสัตว์ปีก สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และ ทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก รวมทั้งผู้สนับสนุนทุกท่านและครอบครัวที่ให้ความช่วยเหลือและช่วยเหลือเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

- Açıkgöz, Z., Bayraktar, H., & Altan, Ö. (2011). Effects of formic acid administration in the drinking water on performance, intestinal microflora and carcass contamination in male broilers under high ambient temperature. *Asian-Aust. Journal of Animal Science*. 24(1), 96-102. doi:10.5713/ajas.2011.10195.
- Adil, S., Banday, T., Bhat, G. A., Mir, M. S., & Rehman, M. (2010). Effect of dietary supplementation of organic acids on performance, intestinal histomorphology, and serum biochemistry of broiler chicken. *Veterinary medicine international* 1-7. doi:10.4061/2010/479485.
- Ali, A. M., Elagrb, H. M., Hamoud, M. M., Gamal, A. M., Mousa, M. R., Nasr, S. A. E., El-Shater, M. A. H., Laban, S. F., Zahran, O. K., & Ali, M. M. (2020). Effect of acidified drinking water by organic acids on broiler performance and gut health. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 8(12) , 1301- 1309. doi:10.17582/journal.aavs/2020/ 8.12.1301.1309.
- Arce- Menocal, J., Roa- Flores, M., López- Coello, C., Ávila- González, E., Herrera- Camacho, J., & Cortes- Cuevas, A. (2020). Organic acids employment in water and its effect on productive performance in broiler chicks. *Abanico Veterinario*. 10, 1-17. doi:10.21929/abavet2020.36.
- Bouassi, T., Libanio, D., Mesa, M. D., Oke, O. E., Gil A. H., Tona, K., & Ameyapoh, Y. (2021). Supplementation with liquid whey and ACIDAL® ML in drinking water affect gut pH and microflora and productive performance in laying hens. *British Poultry Science*. 62(1), 138-146. doi:10.1080/00071668.2020.1824291.
- Erener, G., Oca, N., Altop, A., Cankaya, S., Aksoy, M. H., & Ozturk, E. (2011). Growth performance, meat quality and caecal coliform bacteria count of broiler chicks fed diet with green tea extract. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 24(8), 1128-1135. doi:10.5713/ajas.2011.10434.
- Fajardo, P., Pastrana, L., Méndez, J., Rodríguez, I., Fuciños, C., & Guerra, P.N. (2012). Effects of feeding of two potentially probiotic preparations from lactic acid bacteria on the performance and faecal microflora of broiler chickens. *The Scientific World Journal*. 2012, 1-9. doi:10.1100/2012/562635.
- Faul, F., Erdfelder E., Lang, A. G., & Buchner A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*. 39(2), 175-191.
- Filho, J. A. B., Almeida, M., Shimokomaki, M., Pinheiro, W. J., Silva, A. C., Filho, T. M., Bueno, R. F., & Oba, A. (2017). Growth performance, carcass characteristics and meat quality of Griller- Farsani type broilers of four genetic lines. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 19(1), 109-114. doi:10.1590/1806-9061-2016-0261.
- Gallegos, R. C., Vázquez, R. S., Martínez, A. H. C., Soto, G. G. J., Garza, R. K. J., Hume, E. M., & Zamora, M. M. G. (2019). Performance, carcass variables, and meat quality of broilers supplemented with dietary Mexican oregano oil. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 21(1), 001-010. doi:10.1590/1806-9061-2018-0801.
- Hajati, H. (2018). Application of organic acids in poultry nutrition. *International Journal of Avian & Wildlife Biology*. 3(4), 324-329. doi:10.15406/ijawb.2018.03.00114.

- Hamid, H., Shi, H. Q., Ma, G. Y., Fan, Y., Li, W. X., Zhao, L. H., Zhang, J. Y., Ji, C., & Ma, Q. G. (2018). Influence of acidified drinking water on growth performance and gastrointestinal function of broilers. **Poultry Science**. 97(10), 3601-3609. doi: 10.3382/ps/pey212.
- Hassan, H. M. A., Mohamed, M. A., Youssef, Amani W., & Hassan, Eman R. (2010). Effect of using organic acids to substitute antibiotic growth promoters on performance and intestinal microflora of broilers. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**. 23(10), 1348-1353. doi:10.5713/ajas.2010.10085.
- Islam, A. M. & Nishibori M. (2017). Use of multivitamin, acidifier and Azolla in the diet of broiler chickens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**. 30(5), 683-689. doi:10.5713/ajas.16.0395.
- Jaturasitha, S., Kayan, A., & Wicke, M. (2008). Carcass and meat characteristics of male chickens between Thai indigenous compared with improved layer breeds and their crossbred. **Archives Animal Breeding**. 51(3), 283-294.
- Kamalzadeh, A., Ila, N., & Heydarnejad, O. (2009). Effects of emulsified vitamins on broiler performance. **World Journal of Zoology**. 4(1), 42-46.
- Khan, S. H. & Iqbal, J. (2016). Recent advances in the role of organic acids in poultry nutrition. **Journal of Applied Animal Research**. 44(1), 359-369. doi:10.1080/09712119.2015.1079527.
- Khenjan, P., Sansawat, A., Chainam, J., Senkwankaew, C., & Sabangban, C. (2022). Effects of supplementing herb mixed drinking water on productive performance, carcass quality, and caecal microbial population. **Khon Kaen Agriculture Journal**. 50(3): 625-635. doi:10.14456/kaj.2022.54. (In Thai).
- Kim, D. Y., Kim, J. H., Choi, W. J., Han, G. P., & Kil, D. Y. (2021). Comparative effects of dietary functional nutrients on growth performance, meat quality, immune responses, and stress biomarkers in broiler chickens raised under heat stress conditions. **Animal Bioscience**. 34(11), 1839-1848. doi: 10.5713/ab.21.0230.
- Kim, J. W., Kim, H. J., & Kil, Y. D. (2015). Dietary organic acids for broiler chickens: a review. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**. 28, 109-123.
- Lohakare, J. D., Ryu, M. H., Hahn, T. W., Lee, J. K., & Chae, B. J. (2005). Effects of supplemental ascorbic acid on the performance and immunity of commercial broilers. **Journal of Applied Poultry Research**. 14(1), 10-19. doi:10.1093/japr/14.1.10.
- Ma, J., Wang, J. Mahfuz, S., Long, S., Wu, D., Gao, J., & Piao, X. (2021). Supplementation of mixed organic acids improves growth performance, meat quality, gut morphology and volatile fatty acids of broiler chicken. **Animals**. 11(11), 1-16. doi: 10.3390/ani11113020.
- Martínez, Y., Almendares, C. I., Hernández, C. J., Avellaneda, M. C., Urquía, A. M., & Valdivié, M. (2021). Effect of acetic acid and sodium bicarbonate supplemented to drinking water on water quality, growth performance, organ weights, cecal traits and hematological parameters of young broilers. **Animals**. 11(1865), 1-15. doi:10.3390/ani11071865.
- Mustafa, A., Bai, S., Zeng, Q., Ding, X., Wang, J., Xuan, Y., Su, Z., & Zhang, K. (2021). Effect of organic acids on growth performance, intestinal morphology, and immunity of broiler chickens with and without coccidial challenge. **AMB Express**. 11(1), 140. doi:10.1186/s13568-021-01299-1.
- Ndelekwute, E. K., Essien, B. E., & Mbaba, N. E. (2019). Comparative effect of fish meal, acetic acid and enzymes on meat yield and economics of broiler chickens. **Approaches in Poultry, Dairy & Veterinary Science**. 5(4), 466-470. doi: 10.31031/APDV.2019.05.000619.
- Ndelekwute, E.K., Okereke, C.O., Uzegbu, H.O & Amaefule, K.U. (2015). Economics of feeding drinking water containing organic acids to broiler chickens. **Nigeria Agricultural Journal**. 46(1), 133-138.
- Nguyen, D. H. & Kim, I. H. (2020). Protected organic acids improved growth performance, nutrient digestibility, and decreased gas emission in broilers. **Animals**. 10(3), 1-11. doi:10.3390/ani10030416.
- Nosrati, M., Javandel, F., Camacho, L. M., Khusro, A., Cipriano, M., Seidavi, A., & Salem, Z. M. A. (2017). The effects of antibiotic, probiotic, organic acid, vitamin C, and *Echinacea purpurea* extract on performance, carcass characteristics, blood chemistry, microbiota, and immunity of broiler chickens. **Journal of Applied Poultry Research**. 26(2), 295-306. doi:10.3382/japr/pfw073.

- Ózsvári, L., Tisóczki R., Bartha, A., & ÍHórváth, M. K. (2017). The cost-benefit analysis of application of vitamin and mineral supplements in broiler chicken production. **Hungarian Agricultural Engineering**. 31, 45-51. doi: 10.17676/HAE. 2017.31.45.
- Pham, V. H., Kan, L., Huang, J., Geng Y., Zhen, W., Guo, Y., Abbas, W., & Wang, Z. (2020). Dietary encapsulated essential oils and organic acids mixture improves gut health in broiler chickens challenged with necrotic enteritis. **Journal of Animal Science and Biotechnology**. 11(18), 1-18. doi:10.1186/s40104-019-0421-y.
- Phoprasit, P., Bunchasak, C., Rakangthong, C., & Poeikhampha, T. (2014). Effects of adding vitamins and organic acids into the drinking water on growth performance, carcass yield and meat quality of broilers raised under tropical condition. **Journal of Applied Sciences**. 14(24), 3493-3499. doi: 10.3923/jas.2014.3493.3499.
- R studio. (2020). R Studio version 1.3.1056. Retrieved from: <https://www.rstudio.com/>.
- Rahman, A. M., Parvin, S. M., Sarker, R. R. & Islam, T. M. (2012). Effects of growth promoter and multivitamin-mineral premix supplementation on body weight gain in broiler chickens. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**. 10(2), 245-248.
- Sadarman, A., R., Hamid, A., Saleh, E., Zain, N. H. W., Sholikin, M. M., Prihambodo, R. T., Harahap, P. R., Solfaine R., Sofyan, A., & Irawan A. (2021). The effects of mixed vitamins, minerals, fatty acids and amino acids supplementation into drinking water on broiler chickens' performance and carcass traits. **Journal of World's Poultry Research**. 11(1), 47-52. <https://doi.org/10.36380/jwpr.2021.7>.
- Weimer, S. L., Zuelly, S., Davis, M., Karcher, D. M., & Erasmus, M. A. (2022). Differences in carcass composition and meat quality of conventional and slow-growing broiler chickens raised at 2 stocking densities. **Poultry Science**. 101(6), 1-9. doi:10.1016/j.psj.2022.101833.

วันรับบทความ (Received date) : 20 มิ.ย. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 4 ต.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 7 เม.ย. 66

การสำรวจปริมาณสารตกค้างไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ในกุ้งขาวแวนนาไม
(*Litopenaeus vannamei*) จากตลาดสดพื้นที่กรุงเทพมหานคร

Surveillance of Nitrofuran Metabolite Residue in
Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) at Local Market in Bangkok

ณัชนน หวังวิบูลย์กิจ¹ อพัชชา จินดาประเสริฐ¹ ไสรยา เกิดพิบูลย์¹ และ อติสร เสวตวิวัฒน์^{1*}
Nutchamon Wangwibulkit¹, Aphacha Jindaprasert², Soraya Kerdpi boon² and Adison Swetwathana^{1*}

บทคัดย่อ

การศึกษาและตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ในกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) จากตลาดสดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จำนวน 5 แห่ง โดยสำรวจและเก็บตัวอย่างกุ้งขาวขนาดน้ำหนัก 9.20 ± 0.79 ถึง 31.00 ± 0.67 กรัม นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณไนโตรฟูแรนในรูปของเมตาบอไลต์ชนิด 3-amino-2-oxazolidinone (AOZ), 3-amino-5-morpholinomethyl-2-oxazolidinone (AMOZ), 1-aminohydantoin (AHD) และ semicarbazide (SEM) ด้วยวิธี LC-MS/MS ผลการวิเคราะห์พบสารไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์เฉพาะชนิด SEM ปริมาณระหว่าง 0.104-0.160 ไมโครกรัมต่อกรัม มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของขนาดกุ้งขาวกับปริมาณ SEM เชิงเส้นตรงทางลบ ($r = -0.6867$) โดยมีแนวโน้มพบสารตกค้าง SEM ในกุ้งขาวขนาดใหญ่ น้อยกว่ากุ้งขาวขนาดเล็ก ดังนั้นขนาดกุ้งขาวสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดในการเลือกซื้อกุ้งขาวเพื่อการบริโภคที่มีความปลอดภัยจากสารตกค้าง ไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์โดยเลือกกุ้งขาวที่มีขนาดใหญ่จะมีความปลอดภัยจากสารตกค้างไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ มากกว่ากุ้งขาวขนาดเล็ก

คำสำคัญ: ไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ กุ้งขาวแวนนาไม กรุงเทพมหานคร

Abstract

The study aimed to analyze nitrofuran metabolite residues in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) from the 5 local markets in Bangkok. The samples weighing from 9.20 ± 0.79 to 31.00 ± 0.67 g were analyzed for nitrofuran metabolites: 3-amino-2-oxazolidinone (AOZ), 3-amino-5-morpholinomethyl-2-oxazolidinone (AMOZ), 1-aminohydantoin (AHD) and semicarbazide (SEM) by using LC-MS/MS technique. The results showed that only SEM in the range 0.104-0.160 ug/kg was found. The correlation coefficient between weight and SEM showed the negative linearity ($r = -0.6867$). It was found that there were less SEM residues in large shrimps than small shrimps. Therefore, the size of white shrimp can be used as an index for purchasing shrimp that are safe for consumers.

Keywords: nitrofuran metabolite, Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, Bangkok

¹คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹School of Food Industry, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok 10520

*Corresponding author, Email: adisorn.sw@kmit.ac.th

คำนำ

กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) หรือโดยทั่วไปเรียกกันว่า “กุ้งขาว” เป็นสัตว์น้ำที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นสินค้าส่งออกและสร้างรายได้มูลค่าสูงให้กับประเทศ ในปี 2563 มีปริมาณการส่งออก 114,398.93 ตัน มูลค่า 34,096.17 ล้านบาท คิดเป็น 76.53% และ 76.68% ของปริมาณ และมูลค่าการส่งออกกุ้งทะเลทั้งหมด ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา 35.41% ญี่ปุ่น 22.25% จีน 13.54% เกาหลีใต้ 5.42% และประเทศอื่นๆ 23.38% โดยผลผลิตกุ้งขาวจากการเลี้ยงแบบพัฒนาในปี 2563 มีผลผลิต 245,644.08 ตัน (Department of Fisheries [DoF], 2021; Sritrakul & Lungkapon, 2021) พื้นที่เลี้ยงกุ้งขาวบางส่วนอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกรุงเทพมหานคร เช่น จังหวัดฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ นครปฐม และสมุทรสาคร เป็นการเลี้ยงกุ้งขาวแบบพัฒนาโดยปล่อยกุ้งแบบหนาแน่น และมีการจัดการระบบการเลี้ยงที่ดี (DoF, 2021) แต่มีปัจจัยหลายประการที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาการเลี้ยง เช่น สิ่งขั้บถ่าย อาหารที่เหลือตกค้าง คุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสมต่อกุ้งที่เลี้ยงในบ่อ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลง ของฤดูกาลทำให้งุ้งอ่อนแอ และเกิดโรคต่างๆ โดยเฉพาะการติดเชื้อแบคทีเรียซึ่งเกษตรกรแก้ปัญหาโดยการ ใช้ยาปฏิชีวนะ เช่น amoxicillin, ampicillin, ceftriaxone, ciprofloxacin, colistin และ oxytetracycline เมื่อมีการใช้ปริมาณมากทำให้เกิดการดื้อยา (Wiriyaakaradecha et al., 2020) จึงมีการนำยาปฏิชีวนะ ในกลุ่มไนโตรฟูแรนมาใช้แก้ปัญหาทำให้มีการตรวจพบสารตกค้างในกุ้งหลังการจับ ซึ่งสารกลุ่มไนโตรฟูแรนเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) และสารก่อกลายพันธุ์ (mutagen) ประเทศไทยได้เพิกถอนยาปฏิชีวนะกลุ่มนี้ออกจากทะเบียนตำรับยาที่ใช้สำหรับสัตว์ ห้ามนำเข้า และห้ามผลิตอาหารสัตว์ที่มีส่วนผสมไนโตรฟูแรนในอาหารสัตว์ทุกชนิดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 151 นอกจากนี้สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และอีกหลายประเทศได้ออกกฎหมายห้ามใช้ยาปฏิชีวนะกลุ่มไนโตรฟูแรนในอาหารสัตว์ที่เลี้ยง เพื่อการบริโภคของมนุษย์ (Fernando et al., 2017)

ไนโตรฟูแรน (nitrofurans) เป็นยาปฏิชีวนะสังเคราะห์ที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียใช้ในการรักษา และป้องกันโรคติดเชื้อในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและปศุสัตว์ ยาในกลุ่มนี้ ได้แก่ furazolidone (FZD) furaltadone (FTD) nitrofurantoin (NFT) และ nitrofurazone (NFZ) ขบวนการเมตาบอลิซึมในสัตว์ จะเปลี่ยนเป็น สารเมตาบอไลต์จับตามเนื้อเยื่อโปรตีนได้นานหลายสัปดาห์ ทำให้สามารถตรวจสอบยาในกลุ่มนี้ในรูปสารเมตาบอไลต์ ได้แก่ 3-amino-2-oxazolidinone (AOZ) 3-amino-5-morpholinomethyl-2-oxazolidinone (AMOZ) 1-aminohydantoin (AHD) และ semicarbazide (SEM) ตามลำดับ (Figure 1) การวิเคราะห์ไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ ในเนื้อสัตว์ด้วยวิธี LC-MS/MS (Liquid Chromatography-Mass Spectrometer/Mass Spectrometer) เป็นวิธีการที่นิยมใช้เนื่องจากมีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูง (Chu & Lopez, 2005; Chumanee et al., 2009; An et al., 2012; Elizabeta et al., 2012; Payanan & Kaewklapanacharoen, 2015; Veach et al., 2015; Fernando et al., 2017) โดยทำการสกัดตัวอย่าง ให้บริสุทธิ์และใช้สถานะของ LC แตกต่างกันหลักการสกัดคือสลายพันธะของไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ที่จับกับโปรตีน (protein-bound metabolites) ให้อยู่ในรูปอิสระด้วยกรด (hydrolysis) เปลี่ยนไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ (total nitrofurans metabolites: free and protein-bound metabolites) เป็นสารอนุพันธ์ของ nitrophenyl (NP) โดยทำปฏิกิริยาอนุพันธ์ (derivatisation) กับ 2-nitrobenzaldehyde (2-NBA) ปรับ pH ให้เป็นกลาง (neutralisation) สกัดแยกสาร (liquid-liquid extraction) ด้วย ethyl acetate ทำให้แห้งแล้วละลายในตัวทำละลายนำไปวิเคราะห์ปริมาณและชนิดสารด้วยเครื่อง LC-MS/MS

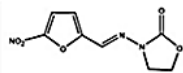
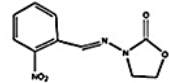
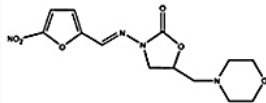
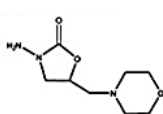
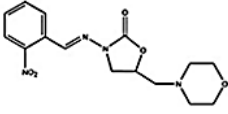
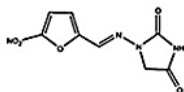
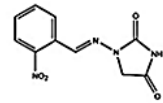
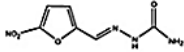
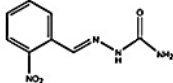
Nitrofurazone	Hydrolysed marker residue	Derivative for LC-MS/MS
Furazolidone 	3-amino-oxazolidinone (AOZ) 	NPAOZ 
Furaltadone 	3-amino-5-morpholino-methyl-2-oxazolidinone (AMOZ) 	NPAMOZ 
Nitrofurantoin 	1-aminohydantoin (AHD) 	NPAHD 
Nitrofurazone 	semicarbazide (SEM) 	NPSEM 

Figure 1 Structures of nitrofurans, their marker metabolites and nitrophenyl derivatives.

ที่มา: ดัดแปลงจาก Points et al. (2015)

ปัจจุบันผลผลิตกุ้งขาวส่งออกมีการจัดการให้ได้มาตรฐานการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดี (Good Aquaculture Practice, GAP) และมาตรฐานฟาร์มกุ้ง (Code of Conduct, CoC) เพื่อให้ได้ผลผลิตกุ้งขาว ที่มีคุณภาพและมีความปลอดภัยตามมาตรฐานที่กำหนดโดยกระบวนการผลิตที่ปลอดภัยต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค โดยเฉพาะการใช้ยาและสารเคมีในระหว่างการผลิต และ การตรวจสอบสารตกค้างในสินค้าสัตว์น้ำหลังการจับ (DoF, 2021) เพื่อให้ได้มาตรฐานการส่งออกตามความต้องการของประเทศผู้รับซื้อ ผลผลิตกุ้งขาว แวนนาไมที่จำหน่ายภายในประเทศมีการขายตรงจากฟาร์มโดยอาจไม่มีการตรวจสอบคุณภาพ ดังนั้นการตรวจหา ยาปฏิชีวนะตกค้างในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำมีความจำเป็นเพื่อยืนยันความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ เนื่องจากบางครั้ง ในทางปฏิบัติการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนามีการใช้ยาปฏิชีวนะเพื่อแก้ปัญหาโรคที่เกิดจากแบคทีเรียแต่ไม่สามารถรักษา กุ้งขาวให้เป็นปกติได้ เกษตรกรจึงจำเป็นต้องจับกุ้งก่อนกำหนดทำให้อาจมีสารตกค้าง จากยาปฏิชีวนะและกุ้งมีขนาดเล็ก ไม่ได้มาตรฐานส่งออกทำให้ไม่สามารถจำหน่ายเป็นสินค้าส่งออกได้ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจ กุ้งขาวจากตลาดสดในพื้นที่กรุงเทพฯ และนำมาตรวจวิเคราะห์ปริมาณ ยาปฏิชีวนะในโตรฟูแรนที่ตกค้างในกุ้งขาว ขนาดต่างๆ โดยวิเคราะห์ในโตรฟูแรนในรูปของเมตาบอไลต์ด้วยเครื่อง LC-MS/MS และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของน้ำหนักรังนก กับปริมาณสารตกค้าง ในโตรฟูแรนเพื่อเป็นแนวทางในการใช้ขนาดกุ้งขาว เป็นดัชนีในการเลือกซื้อกุ้งขาวที่จำหน่ายในตลาดสดให้มีความปลอดภัยจากสารตกค้างในโตรฟูแรนเมตาบอไลต์

วิธีการศึกษา

1. การสำรวจและเก็บตัวอย่างกุ้งขาวแวนนาไม

สำรวจและเก็บตัวอย่างกุ้งขาวจากตลาดสดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร A, B, C, D และ E ซึ่งบางพื้นที่ ของ กรุงเทพฯ อยู่ใกล้จังหวัดที่มีการเลี้ยงกุ้งขาว เช่น พื้นที่ A อยู่ใกล้จังหวัดฉะเชิงเทราและสมุทรปราการพื้นที่ D อยู่ใกล้ จังหวัดนครปฐมและสมุทรสาครและพื้นที่ E อยู่ใกล้จังหวัดสมุทรปราการ (Figure 2) โดยการสำรวจ และสอบถาม แหล่งที่มาของผลผลิตกุ้งขาวที่นำมาจำหน่ายในช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม 2565 แต่ละพื้นที่เก็บตัวอย่าง น้ำหนัก

9.20±0.79 ถึง 31.00±0.67 กรัม จำนวน 4 ตัวอย่าง 3 ซ้ำ นำตัวอย่างกุ้งขาวมาซึ่งน้ำหนักคำนวณขนาด บันทึกข้อมูล และแหล่งที่มาของกุ้งขาว

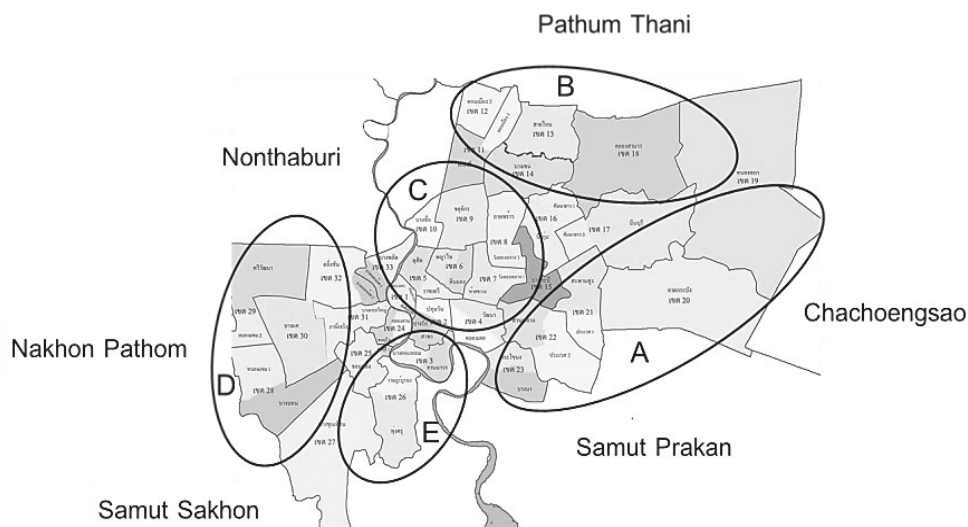


Figure 2 The sampling areas: A, B, C, D and E of local market in Bangkok.

2. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ตกค้างในกุ้งขาวแวนนาไม

เตรียมตัวอย่างกุ้งขาวโดยล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา ปอกเปลือกนำส่วนของเนื้อกุ้งไม่น้อยกว่า 300 กรัม นำมาปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร และเก็บรักษาตัวอย่างในตู้แช่แข็งอุณหภูมิไม่สูงกว่า -18 องศาเซลเซียส ก่อนการวิเคราะห์นำตัวอย่างมาละลายที่อุณหภูมิห้อง และทำการวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง

เตรียมสารละลาย 50 mM 2-nitrobenzaldehyde (2-NBA), 0.1 M di-potassium hydrogen orthophosphate, 0.5 mM ammonium acetate ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$), mobile phase A (ammonium acetate:methanol อัตราส่วน 4:1), methanol:deionized water อัตราส่วน 1:1 และ mobile phase B (methanol)

เตรียมสารละลายมาตรฐาน stock standard solution AOX, AMOX, AHD และ SEM ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร, working mixed standard solution AOX และ AMOX ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร AHD และ SEM ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ AOX, AMOX, AHD, SEM ความเข้มข้น 10 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร

เตรียมตัวอย่างทดสอบ total residue ซึ่งตัวอย่างที่บดแล้ว 1.000±0.020 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกฝาเกลียวชนิด polypropylene ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำ deionized water 4 มิลลิลิตร เติมน้ำ 1 M hydrochloric acid 500 ไมโครลิตร เติมน้ำ 50 mM 2-NBA 150 ไมโครลิตร และสารมาตรฐาน working mixed internal standard 10 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร 100 ไมโครลิตร นำไปปั่นผสมเข้ากันด้วยเครื่องปั่นตัวอย่าง แล้วนำไปต้มใน water bath ควบคุมอุณหภูมิที่ 37±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16±2 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมน้ำ 0.1 M di-potassium hydrogenphosphate 5 มิลลิลิตร และสารละลาย 1 M sodium hydroxide 400 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารเคมีประมาณ 30 วินาที วัดค่า pH ด้วยกระดาษวัด pH ให้ได้ pH ประมาณ 7 * เติมน้ำ ethyl acetate ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และกลับสารละลายตัวอย่าง ในหลอดไปมาด้วยมืออย่างช้าๆประมาณ 1 นาที นำไปเหวี่ยง ตกตะกอนด้วยเครื่องเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาทีถ่ายชั้นสารละลาย ethyl acetate ลงในหลอดทดลอง ขนาด 20x150 มิลลิเมตรหลังจากนั้นทำขั้นตอนซ้ำโดยเริ่มเติมน้ำ ethyl acetate ตาม * อีก

ครั้ง นำสารละลาย ไประเหยให้แห้งภายใต้แก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 50 ± 5 องศาเซลเซียส เติมสารละลายผสมระหว่าง methanol:deionized water ในอัตราส่วน 1:1 จำนวน 400 ไมโครลิตร ในตัวอย่าง ที่ผ่านการ ระเหยแห้งแล้วนำไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารเคมี เติมสารละลายตัวอย่างใน microcentrifuge tube ขนาด 0.5 มิลลิลิตร นำไปเหวี่ยงตกตะกอนด้วยเครื่องเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำสารละลายตัวอย่างมากรองด้วย nylon filter ขนาด 0.2 ไมโครเมตร ลงใน vial ตรวจวัดด้วยเครื่อง LC-MS/MS สภาวะเครื่อง HPLC (column:atlantis C18, 5 ไมโครเมตร, 2.1×150 มิลลิเมตร, flow rate:0.20 มิลลิลิตรต่อนาที run time:16 นาที inject volume:20 ไมโครลิตร solvent temperature 30 องศาเซลเซียส mobile phase A:ammonium acetate 50 mM, mobile phase B:methanol)

การควบคุมคุณภาพการทดสอบ: เตรียมตัวอย่าง reagent blank โดยนำหลอดพลาสติกฝาเกลียวชนิด polypropylene ขนาด 50 มิลลิลิตร โดยไม่ใส่ตัวอย่างทดสอบ นำไปวิเคราะห์ตามขั้นตอนการทดสอบในรูปแบบ total residue

เตรียม fortified sample เพื่อหา %recovery ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างที่บดแล้ว 1.000 ± 0.020 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกฝาเกลียวขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 3 หลอดตัวอย่างหลอดที่ 2 และ 3 ปิดเปิด working mixed standard solution AOZ, AMOZ 6 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และ AHD, SEM 20 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร 50 ไมโครลิตร ลงในหลอดพลาสติกซึ่งตัวอย่างจะมีความเข้มข้น AOZ, AMOZ 0.3 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้น AHD, SEM 1.00 ng/ml เติม deionized water 4 มิลลิลิตร เติม 1 M hydrochloric acid 500 ไมโครลิตร เติม 2-NBA 150 ไมโครลิตร สารมาตรฐาน working mixed internal standard 10 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร 100 ไมโครลิตร และนำไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง homogenizer

นำไปวิเคราะห์ตามขั้นตอนการทดสอบในรูปแบบ total residue

เตรียมตัวอย่างทดสอบซ้ำ (duplicate) โดยใช้ผลจาก fortified sample มาคำนวณค่า %RPD (Relative percent difference)

เตรียมสารละลายมาตรฐาน เพื่อทำ calibration curve ในรูปแบบ total residue เตรียมสารละลายมาตรฐานทั้ง 4 ชนิดที่มีความเข้มข้น 0.0, 0.1, 0.25, 0.50, 1.0 และ 2.0 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร โดยเปิด working mixed standard solution AOZ, AMOZ, AHD, SEM 10 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 0, 10, 25, 50, 100 และ 200 ไมโครลิตร ตามลำดับ เติม deionized water 4 มิลลิลิตร เติม 1 M hydrochloric acid จำนวน 500 ไมโครลิตร เติม O-NBA จำนวน 150 ไมโครลิตรและเติม working mixed internal standard 10 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 100 ไมโครลิตร นำไปผสมโดยใช้เครื่องเขย่านำไปวิเคราะห์ตามขั้นตอนการทดสอบในรูปแบบ total residue

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง LC/MS/MS รุ่น The Waters 2695 Separations Module การทดสอบความสามารถของระบบ (system suitability) โดยทำการฉีด working standard solutions 0.0, 0.10, 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร จากความเข้มข้นน้อยไปหามากอย่างละ 1 ครั้ง เพื่อสร้าง calibration standard curveและฉีด reagent blank ทุกครั้ง หลังจากสร้าง calibration curve โดยค่า reagent blank ต้องน้อยกว่า LOD ทำการฉีดสารละลายตัวอย่างและตัวอย่าง QC และฉีด working standard solutions 0.0, 0.10, 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร อีกครั้ง จากความเข้มข้นน้อยไปหามากอย่างละ 1 ครั้ง ซึ่งการควบคุมคุณภาพการทดสอบให้เป็นไปตามเกณฑ์ค่า $r \geq 0.995$ ค่า %recovery อยู่ในช่วง 50-120% ค่า %RPD $\leq 10\%$

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลน้ำหนักกุ้งขาวจากตลาดสดพื้นที่กรุงเทพฯ กับปริมาณสารตกค้างไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ มาวิเคราะห์ทางสถิติหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficients) เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการใช้ขนาดกุ้งขาวเป็นดัชนีชี้วัดในการเลือกซื้อกุ้งขาวที่ปลอดภัยจากการตกค้าง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ผลสำรวจและเก็บตัวอย่างกุ้งขาวแวนนาไมจากตลาดสดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

ผลการสำรวจและเก็บตัวอย่างกุ้งขาวจากตลาดสดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร A, B, C, D และ E ซึ่ง DoF (2021) รายงานว่าในปี พ.ศ. 2563 จังหวัดฉะเชิงเทรามีผลผลิตกุ้งขาว 23,830 ตัน (ใกล้พื้นที่ A) จังหวัดสมุทรสาครมีผลผลิตกุ้งขาว 11,724 ตัน (ใกล้พื้นที่ D) และจังหวัดสมุทรปราการมีผลผลิตกุ้งขาว 8,690 ตัน (ใกล้พื้นที่ E) จะเห็นได้ว่าพื้นที่รอบบริเวณกรุงเทพฯ มีผลผลิตกุ้งขาวปริมาณมากที่ส่งไปจำหน่ายยังแพกุ้ง ตลาดกลางกุ้ง และบางส่วนส่งไปจำหน่ายยังตลาดสดในพื้นที่กรุงเทพฯ ที่อยู่ใกล้ฟาร์มโดยตรงผลจากการสำรวจและเก็บตัวอย่างกุ้งขาวนำมาวิเคราะห์ขนาดที่แตกต่างกันโดยมีน้ำหนักตั้งแต่ 9.00 ± 0.67 ถึง 31.00 ± 0.67 กรัม (Table 1) พบว่ากุ้งขาว ที่นำมาจำหน่ายในตลาดสดพื้นที่ B, C และ E รับซื้อมาจากตลาดกลางกุ้งส่วนในพื้นที่ A รับซื้อกุ้งขาวมาจากฟาร์มเลี้ยง และพื้นที่ D รับซื้อกุ้งขาวมาจากฟาร์มเลี้ยง และตลาดกลางกุ้ง จากการสำรวจร้านค้าพบว่าผู้ค้ารายย่อยขนาดเล็ก รับซื้อกุ้งขาวจากฟาร์มมาจำหน่ายในปริมาณน้อยและมีขนาดให้เลือกซื้อไม่มาก ส่วนผู้ค้ารายย่อยที่มีร้านค้าขนาดใหญ่ รับซื้อกุ้งขาวจากตลาดกลางกุ้งมาจำหน่ายในปริมาณมากและมีขนาดกุ้งขาวให้เลือกซื้อมากกว่า แต่การรับซื้อกุ้งขาว จากตลาดกลางนั้นไม่สามารถทราบแหล่งที่มาที่แน่นอนได้ เนื่องจากการรวบรวมผลผลิตจากฟาร์มกุ้งขาวหลายพื้นที่

2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ตกค้างในกุ้งขาวแวนนาไม

การวิเคราะห์ชนิด และปริมาณไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ตกค้างในกุ้งขาวด้วยวิธี LC-MS/MS โดยวิเคราะห์สารเมตาบอไลต์ชนิด 3-amino-2-oxazolidinone (AOZ), 3-amino-5-morpholinomethyl-2-oxazolidinone (AMOZ), 1-aminohydantoin (AHD) และ semicarbazide (SEM) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ LC-MS/MS ช่วงการวิเคราะห์ที่ 0.0-2.0 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม การควบคุมคุณภาพการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) เป็นเส้นตรงมีค่า $r = 0.9992-0.9999$ (Figure 3) ความแม่นยำมีค่า %recovery = 93.89-116.88% ค่า %RPD = 0.5-4.0 จากผลการวิเคราะห์ไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ ตกค้างในตัวอย่างกุ้งขาวที่สุ่มมาจากตลาดสดพื้นที่กรุงเทพฯ ไม่พบไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ AOZ, AMOZ และ AHD แต่พบในรูป SEM ปริมาณ 0.104-0.160 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Table 1, Figure 4) ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์ ที่กำหนดตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาที่กำหนดให้มีปริมาณสาร SEM น้อยกว่า 1.0 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Food and Drug Administration, 2006)

Table 1 The results of nitrofurantol metabolites (ug/kg) in each sampling areas.

Sampling areas	Shrimp weight (g)	Sources	SEM (ug/kg)
A		Shrimp farm	ND
	28.10±0.74	Shrimp farm	ND
	21.00±0.82	Shrimp farm	ND
	15.70±0.67	Shrimp farm	0.104±0.003
	9.20±0.79		
B		Central market	ND
	30.80±0.63	Central market	ND
	27.80±0.79	Central market	ND
	19.90±0.88	Central market	0.159±0.009
	9.60±0.52		
C		Central market	ND
	31.00±0.67	Central market	ND

	27.40±0.52	Central market	ND
	19.60±1.26	Central market	0.157±0.006
	9.80±0.63		
D		Shrimp farm	0.113±0.100
	30.50±0.71	Shrimp farm	0.142±0.006
	20.00±0.82	Central market	0.117±0.004
	12.70±0.82	Central market	0.160±0.004
	9.40±0.52		
E		Central market	ND
	30.60±0.84	Central market	ND
	22.20±0.79	Central market	ND
	17.10±0.88	Central market	0.104±0.004
	9.00±0.67		

Remark: ND = Not detected, N = 3 samples.

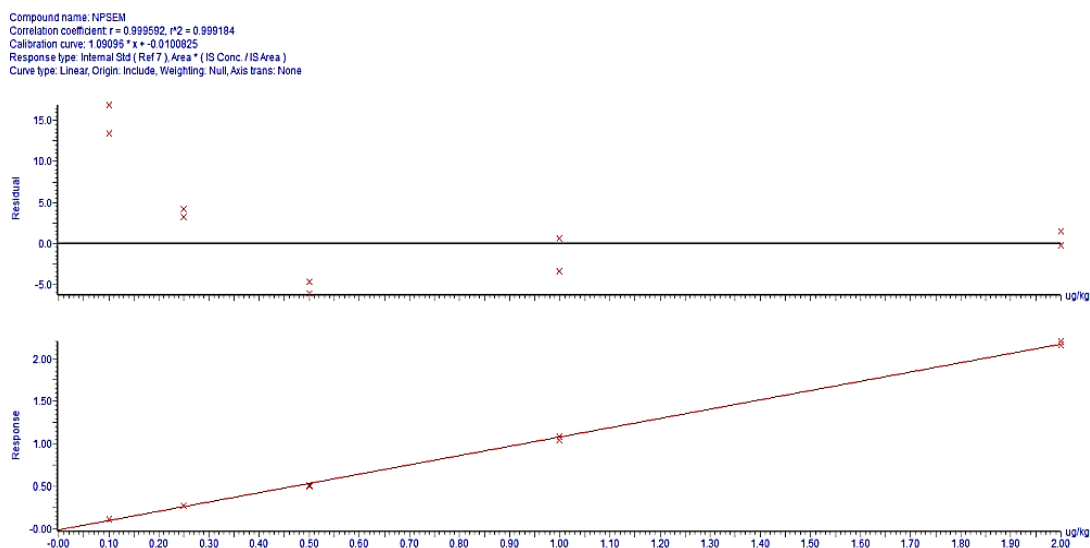


Figure 3 Linear regression curve of the SEM standard.

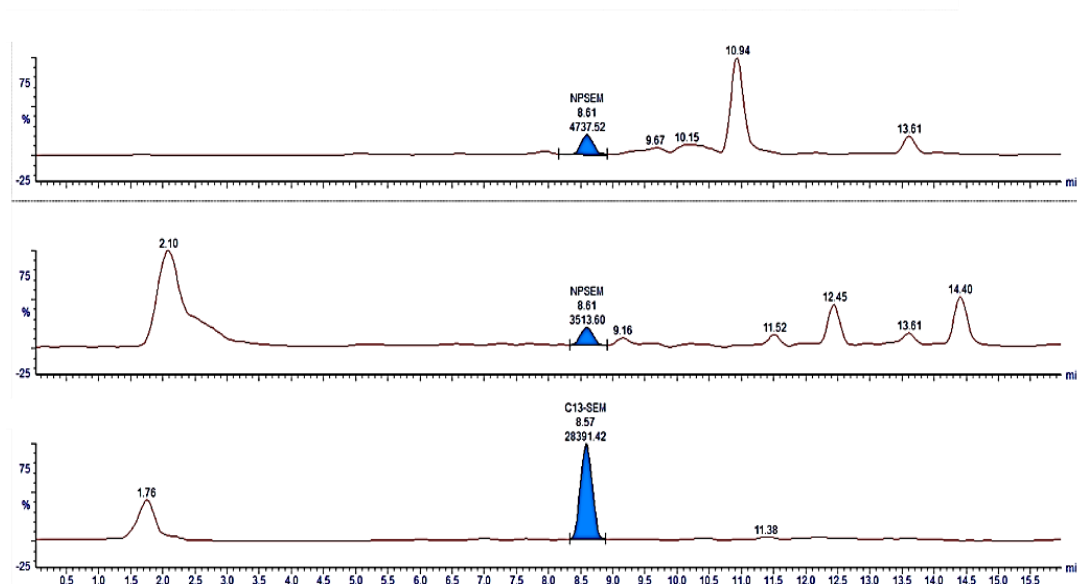


Figure 4 Chromatograms of SEM in shrimp.

3. การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของขนาดน้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไมกับปริมาณสารตกค้างไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์

ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของน้ำหนักกุ้งขาวกับปริมาณไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ SEM พบว่ามีค่า $r = -0.6878$ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงทางลบอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยกุ้งขาวขนาดใหญ่ ที่มีน้ำหนักมากพบไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ตกค้างน้อยกว่ากุ้งขนาดเล็กที่มีน้ำหนักน้อย (Figure 5) และผลการตรวจวิเคราะห์ไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ตกค้างในกุ้งพบว่ามีปริมาณ SEM อยู่ในช่วง 0.104-0.160 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Table 1)

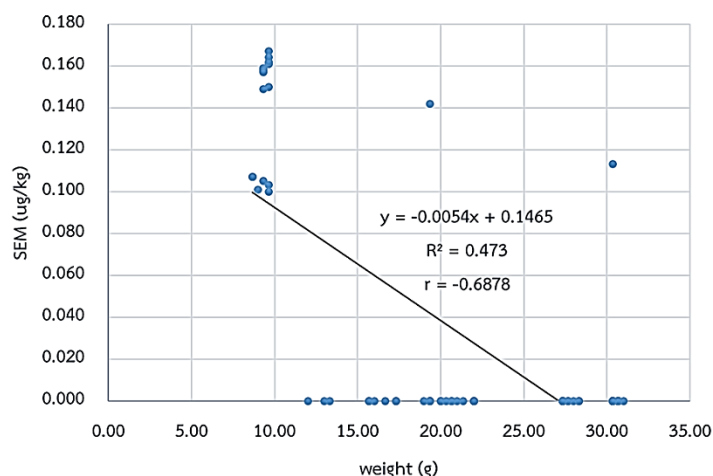


Figure 5 The correlation coefficient between weight (g) and SEM (ug/kg) in shrimp.

นำข้อมูลน้ำหนักกุ้งขาวทั้งหมดจาก Table 1 มาจัดแบ่งกุ้งขาวขนาดต่างๆ โดยแบ่งเป็นน้ำหนัก กุ้งขาวขนาดเล็ก 9-15 กรัม ขนาดกลาง 16-23 กรัม และขนาดใหญ่ 24-32 กรัม คำนวณเปอร์เซ็นต์กุ้งขาวที่พบ ไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์พบว่ากุ้งขาวขนาดเล็กตรวจพบไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ กุ้งขนาดกลาง และขนาดใหญ่ พบเพียง 14.29 เปอร์เซ็นต์ทั้งสองขนาด (Table 2) แต่ปริมาณที่พบ ยังต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดตามประกาศ

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ที่กำหนดให้มีปริมาณสาร SEM น้อยกว่า 1.0 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Food and Drug Administration, 2006) สาเหตุที่มีการตรวจพบไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ ชนิด SEM ในกุ้งขนาดเล็กมากกว่าอาจเนื่องมาจากการเลี้ยงกุ้งชามักพบปัญหาการเกิดโรค ระหว่างการเลี้ยงโดยเฉพาะช่วงที่กุ้งยังมีขนาดเล็ก ดังนั้น การควบคุมการเลี้ยงให้ได้ผลผลิตที่ดี เกษตรกรจึงมีการใช้ยาปฏิชีวนะเพื่อป้องกันปัญหาการเกิดโรคในระหว่างการเลี้ยงกุ้งขนาดเล็ก เมื่อพบว่ากุ้งเป็นโรค อาจเร่งจับขายทำให้ปริมาณยาตกค้างในกุ้ง เมื่อตรวจวิเคราะห์จึงพบสารตกค้าง ทั้งนี้ การปฏิบัติทางการ เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดีเพื่อให้ได้ผลผลิตสัตว์น้ำที่มีคุณภาพและปลอดภัยตามมาตรฐานที่กำหนดโดยกระบวนการผลิตต้องปลอดภัยกับทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค เมื่อมีการใช้ยาเพื่อรักษาโรคจะต้องมีระยะหยุดยาที่เหมาะสม เพื่อป้องกัน การตกค้างในกุ้งก่อนจับขาย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าขนาดกุ้งขาวสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดในการเลือกซื้อกุ้งขาวได้ โดยการศึกษาพบว่า กุ้งขาวที่มีขนาดใหญ่มีแนวโน้มพบไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์น้อยกว่ากุ้งขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ดำเนินการเพียงช่วงเวลาหนึ่งและดำเนินการในบางพื้นที่ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อความชัดเจนของผล นอกจากนี้ตัวอย่างกุ้งขาวจากตลาดกลางที่รวบรวมจากแหล่งต่าง ๆ เป็นส่วนหนึ่ง ที่มีความสำคัญเนื่องจากอาจมาจากแหล่งเลี้ยงที่ไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้น ผู้ซื้อควรเลือกซื้อจากแหล่งเลี้ยงที่ได้มาตรฐาน และตรวจสอบถึงแหล่งเลี้ยงได้

Table 2 Percentage of SEM found Shrimp.

Shrimp sizes (g)	Number of shrimp	Number of SEM found	(%)
9-15 (Small)	18	18	100
16-23 (Medium)	21	3	14.29
24-32 (Large)	21	3	14.29

สรุปผลการศึกษา

กุ้งขาวแวนนาไมที่จำหน่ายในตลาดสดพื้นที่กรุงเทพมหานคร ส่วนใหญ่เป็นผู้ค้ารายย่อยที่รับซื้อกุ้งขาว มาจากตลาดกลางและรับซื้อโดยตรงจากฟาร์มเลี้ยงที่อยู่ใกล้กับพื้นที่ตลาด โดยกุ้งขาวที่นำมาจำหน่ายมีน้ำหนัก 9.20 ± 0.79 ถึง 31.00 ± 0.67 กรัม การตรวจวิเคราะห์ปริมาณไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ตกค้างในกุ้งขาวด้วยวิธี LC-MS/MS พบปริมาณไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์ชนิด SEM โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของขนาดน้ำหนัก กุ้งขาวกับปริมาณ SEM เชิงเส้นตรงทางลบแสดงว่ากุ้งขาวขนาดใหญ่มีแนวโน้มพบปริมาณ SEM ตกค้างน้อยกว่ากุ้งขาวขนาดเล็ก แต่ปริมาณที่พบในตัวอย่างกุ้งขาวมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ดังนั้น ขนาดกุ้งขาวสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดในการเลือกซื้อกุ้งขาว โดยซื้อกุ้งขาวขนาดใหญ่จะมีแนวโน้มพบสารตกค้างไนโตรฟูแรนเมตาบอไลต์น้อยกว่ากุ้งขนาดเล็ก

เอกสารอ้างอิง

- An, H., Cain, T., Farly, D., Henry, M., Paek, C. H., & Tran, B. (2012). Determination of total nitrofurans metabolites in shrimp muscle using liquid chromatography/tandem mass spectrometry in the atmospheric pressure chemical ionization mode. *Journal of AOAC International*. 95(4), 1222-1233.
- Chu, P. & Lopez, M. I. (2005). Liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the determination of protein-bound residues in shrimp dosed with nitrofurans. *Agricultural and Food Chemistry*. 53, 8934-8939.
- Chumanee, S., Sutthivaiyakit, S., & Sutthivaiyakit, P. (2009). New reagent for trace determination of protein-bound metabolites of nitrofurans in shrimp using liquid chromatography with diode array detector. *Agricultural and Food Chemistry*. 57, 1752-1759.

- Department of Fisheries. (2008). Shrimp farming technique manual for CoC standard (Technical document for shrimp farm auditor). Samut Songkarm: Coastal Aquaculture Research and Development Center, Department of Fisheries. (in Thai).
- Department of Fisheries. (2021). **Statistics of marine shrimp culture 2020**. Fisheries Statistics Group, Fisheries Development Policy and Planning Division, Department of Fisheries. No. 10/20. (in Thai).
- Elizabeta, D., Gordana A., Zehra, H., Bilijana, S., Risto, U., Aleksandra, T. & Goran, S. (2012). In-house validation and quality control of commercial enzyme-linked immunosorbent assays for screening of nitrofurans metabolites in food of animal origin. **Macedonian Veterinary Review**. 35(1), 13-21.
- Elizabeta, D., Gordana A., Zehra, H., Bilijana, S., Risto, U., Aleksandra, T. & Goran, S. (2015). Quantitation of chloramphenicol and nitrofurans metabolites in aquaculture products using microwave-assisted derivatization, automated SPE, and LC-MS/MS. *Journal of AOAC International*. 98(3), 588-594.
- Fernando, R., Munasinghe, D. M. S., Gunasena, A. R. C., & Abeynayake, P. (2017). Determination of nitrofurans metabolites in shrimp muscle by liquid chromatography-photo diode array detection. **Food Control**. 72, 300-305.
- Food and Drug Administration. (2006). **Criteria, conditions and methods for the analysis of certain chemical contamination in food**. Retrieved from http://food.fda.moph.go.th/law/data/announ_fda/035ntffda_Criteria_For_Chem_Analysis (in Thai).
- Payanan, T. & Kaewklapanacharoen, L. (2015). Method development and validation for determination of nitrofurans metabolites in food by LC-MS/MS. **Bulletin of Department of the Medical Sciences**. 57(2), 91-108. (in Thai).
- Points, J., Burns, D. T., & Walker, M. J. (2015). Forensic issues in the analysis of trace nitrofurans veterinary residues in food of animal origin. **Food Control**. 50, 92-103.
- Sritrakul, C. & Lungkapon, P. (2021). **The situation of marine shrimp and products in 2020**. Retrieved from: <https://fisheries.go.th/strategy/fisheconomic/Monthly%20report/Shrimp>. (in Thai).
- Wiriyaakaradecha, S., Chuchird, N., Baoprasertkul, P., Somridhivej, B., & Pichitkul, P. (2020). Study on contamination of antimicrobial resistance in culture of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in Thailand. **Khon Kaen Agricultural Journal**. 48(5), 1124-1133. doi:10.14456/kaj.2020.100. (in Thai).

วันรับบทความ (Received date) : 28 มิ.ย. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 8 ก.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 8 ก.ค. 65

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สร้างสรรค์ เพื่อการเสริมสร้างความเข้มแข็งเศรษฐกิจชุมชน ผ่านผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝกผสมกก ในจังหวัดอุดรธานี

Development of Creative Products for Strengthening the Community Economy through Products from Vetiver Grass Mixed Reed Fiber in Udon Thani Province

กัลยาณี กุลชัย^{1*}, พีรชัย กุลชัย¹, ก่อเคนต์ รุ่งสันติยะ² และ พสธร เดชศิริอุดม³
Kallayanee Kullachai^{1*}, Peerachai Kullachai², Kokhanest Rungsanthia³ and Pasatorn Dechsiriodom³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาภูมิปัญญาเดิมของบ้านคอนสายในการผลิตสินค้าจากกกและสำรวจศักยภาพการผลิตหญ้าแฝก ในจังหวัดอุดรธานี 2) ศึกษาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์สร้างสรรค์ จากใบหญ้าแฝกร่วมกับกก การใช้สีย้อมจากธรรมชาติในท้องถิ่นที่เหมาะสม ในการนำมาผลิตสินค้าที่ตรงกับอุปทาน ของตลาด และ 3) ประเมินความคิดเห็นที่มีต่อผลิตภัณฑ์จากกกทอกับใบหญ้าแฝกที่ออกแบบและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ ที่จะเป็นบทเรียนในการสร้างชุมชนเข้มแข็งต่อไป ใช้วิธีการศึกษาแบบการวิจัยเชิงคุณภาพ มีขั้นตอน 4 ขั้นตอน 1) เก็บข้อมูลภูมิปัญญาเดิมจากการสัมภาษณ์เชิงลึกกับสนทนากลุ่มจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชน จำนวน 10 คน กลุ่มที่ 2 คือ ผู้บริโภค จำนวน 30 คน ด้วยแบบสัมภาษณ์ 2) นำข้อมูลที่ได้มาออกแบบและทำต้นแบบ 3) นำต้นแบบไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 2 ท่าน ประเมิน และนำไปให้ผู้บริโภค จำนวน 8 ราย ประเมินความพึงพอใจ 4) สรุปวิเคราะห์ และสังเคราะห์ ข้อมูลผลการศึกษา พบว่า หมู่บ้านคอนสาย มีการผลิตเสื่อกกตามภูมิปัญญาเดิม ผู้บริโภคซื้อสินค้าประเภทเสื่อมากที่สุด คือ ร้อยละ 66.67 วัตถุประสงค์การซื้อสินค้าเพื่อนำไปใช้ในครอบครัว สีของผลิตภัณฑ์ที่ชอบคือสีธรรมชาติ ผู้วิจัยได้พัฒนาผลิตภัณฑ์จากแฝกผสมกก ด้วยการย้อมสีธรรมชาติจากรากและใบแฝก และนำเส้นกกที่ย้อม รวมถึงเส้นแฝกสีธรรมชาติไปทอเสื่อ นำไปออกแบบและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กระเป๋า จำนวน 2 ใบ นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญและผู้บริโภคประเมิน โดยมีความคิดเห็นว่ามีคามสวยงาม และสามารถเพิ่มมูลค่าได้ ใช้งานได้จริง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหลากหลาย เป็นการนำหญ้าแฝกมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเพิ่มมูลค่า

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์สร้างสรรค์ ความเข้มแข็งของเศรษฐกิจชุมชน ผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝกผสมกก

Abstract

The purposes of this research were to 1) study the local wisdom of Khon Sai community in the production of reed products and exploring the capacity of production vetiver grass in Udon Thani province, 2) study for developing creative products made from vetiver grass leaves together with reeds, used of appropriate local natural dyes for manufacturing products in accordance with the market supply, and 3) assess the opinions on designed and developed products made of reed and vetiver grass leaves that can be used as a lesson learned for build a strong community in the future. The methodology of this study was a qualitative research method that consists of 4 steps: 1)

¹ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 114 ถ.สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

²คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1 ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

³บริษัทอ้วนกลมแฮปปี้ฟาร์ม 648 หมู่ที่ 1 บ้านตาด ตำบล บ้านตาด อำเภอเมืองอุดรธานี อุดรธานี 41000

¹Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University 114 Sukhumvit 23, Khlong Toei Nuea Subdistrict, Wattana District, Bangkok 10110

²Faculty of Agricultural Technology King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang 1 Soi Chalong Krung, Road, Lat Krabang District, Bangkok 10520

³Uan Klom Happy Farm Co., Ltd. 648 Moo 1, Ban Tat Subdistrict, Mueang Udon Thani District, Udon Thani 41000

*Corresponding author, Email: kalyanee@g.swu.ac.th

collecting original local wisdom data by in-depth interviews and focus group discussions of 10 representatives from a community enterprise group, and by interviews of 30 consumers, 2) using the collected data to design and create a prototype, 3) evaluating products prototype by 2 experts and assessing the satisfaction on the prototype by 8 consumers 4) summarizing data analysis and synthesis. The results of this study found that there is the weaving of reed mats according to the local original wisdom in Khon Sai community. The most purchasing handicraft product by consumers was the mats (66.67 per cent) with the aim of utilizing in their families. The preferable product color of consumers was natural dyes. The researcher developed a handicraft products made from vetiver grass together with reeds, dyeing the natural color from vetiver roots and leaves. In this regard, it was used natural dyed reed and vetiver for weaving mats, and it was applied for designing and processing into 2 handbags prior to assessing such product by experts and consumers. According to evaluation, it was found that the product was beautiful, value-added, and applicable, resulting in a variety of products in the market and also reflects that reed and vetiver grass can be applied for maximum benefit and value addition creation in a concrete manner.

Keywords: creative products, strengthening the economy of community, products from vetiver grass mixed with reed fibers

คำนำ

พระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร พระมหากษัตริย์ไทยรัชกาลที่ 9 ได้พระราชทานพระราชดำริในการแก้ไขปัญหาด้านดินทั้งในแง่ความเสื่อมโทรมของดิน ทรงตระหนักถึง การพังทลายของดินและการสูญเสียหน้าดินที่อุดมสมบูรณ์ โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่สูง จึงพระราชทาน พระราชดำริให้มีการนำหญ้าแฝกมาใช้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ เนื่องจากหญ้าแฝกเป็นพืชที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ง่าย มีรากที่ยาว แผ่กระจายลงไปในดินตรง ๆ เป็นแนว และง่ายต่อการรักษา

โดยปกติหญ้าแฝกจะมีใบมากและมีการเจริญเติบโตได้เร็ว มีการศึกษาการนำไปใช้อย่างเหมาะสม ไม่ให้เกิดผลกระทบกับวัตถุประสงค์หลักที่เน้นการใช้เพื่ออนุรักษ์ดินและน้ำโดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่ลาดชัน หากจะใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นต้องพิจารณาเตรียมพื้นที่เพื่อการปลูกโดยเฉพาะ (Chanthrasa et al., 2010) แต่อย่างไรก็ตามหญ้าแฝกมีประโยชน์มากมาย โดยเฉพาะใบและรากของหญ้าแฝก ซึ่งใบที่มีความจำเป็นจะต้องตัดออกอยู่เป็นประจำเพื่อเป็นการดูแลแนวต้นแฝก สามารถนำมาใช้แปรรูป เป็นงานหัตถกรรมต่างๆ ได้เพื่อส่งเสริมให้ผู้ปลูก มีอาชีพเสริมและมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการใช้ประโยชน์จากแฝก เช่น นำใบหญ้าแฝกแห้งมาทอปนกับเส้นใยฝ้ายจนเป็นฝ้ายแกมแฝก ทำผลิตภัณฑ์เครื่องจักสาน หรือการนำรากหญ้าแฝก มาใช้ในการหมักร่วมกับดอกไม้จันทน์กลายป็นน้ำหอม เพื่อการบำบัดการนำใบหญ้าแฝกมาทำงานหัตถกรรม เป็นกลุ่มหญ้าแฝกหอม ได้แก่ สายพันธุ์ศรีลังกา กำแพงเพชร 2 สุราษฎร์ธานี และสงขลา 3 เป็นต้น ลักษณะใบของหญ้าแฝกหอมนี้จะมีใบมันและยาว เมื่อโดนน้ำใบแฝกจะนึ่มจึงมีความเหมาะสมในการนำมาทำงานหัตถกรรม (The Chaipatana Foundation, 2008)

บ้านคอนสาย หมู่ที่ 4 อำเภอกู่แก้ว จังหวัดอุดรธานี เป็นหมู่บ้านที่อยู่ติดริมหนองหานเป็นพื้นที่ ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกก ตั้งเป็นชุมชนเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2378 ราษฎรส่วนใหญ่เป็นชาวจังหวัดอุบลราชธานี และชาวจังหวัดนครราชสีมาที่อพยพเข้ามาอาศัยอยู่ในบริเวณที่ราบลุ่มหนองหาน ในปี พ.ศ. 2504 นายตั้ง พิทักษ์ ได้เริ่มนำต้นกกจาก จ.จันทบุรีเข้ามาปลูกและลองนำมาจักสานเพื่อใช้และจำหน่ายในหมู่บ้าน ทำให้เกิดรายได้ ดีกว่าการทำนา มีการจัดตั้งกลุ่มอาชีพทอเสื่อกกบ้านคอนสาย มีการผลิตเสื่อกกแบบต่าง ๆ แต่ยังคงขาดทักษะ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ เช่น การย้อมสีกก การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่จะทำให้จำหน่ายได้ รวมถึงการจัดการทรัพยากรต้นกก จากการที่

คณะผู้วิจัยได้สำรวจเบื้องต้น เมื่อวันที่ 21 เมษายน พ.ศ.2562 และได้พูดคุยกับกลุ่มอาชีพ ทอเสื่อกกบ้านคอนสาย พบสภาพปัญหาที่ผลิตภัณฑ์เสื่อกกไม่สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อย่างอื่น ที่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มได้ และพบว่าถ้ามีการนำใบหญ้าแฝกมาใช้ทอร่วมกับฝ้ายจะทำให้เกิดความเหนียวของวัสดุ ที่จะสามารถนำมาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้ยังสามารถนำใบหญ้าแฝก รากหญ้าแฝก นำไปพัฒนาเป็นสินค้าอื่น ๆ อีกอย่างต่อเนื่องและจะนำไปสู่การสร้างรายได้เสริมให้กับชุมชนเพิ่มขึ้นโดยใช้ทรัพยากรภายในท้องถิ่น อีกทั้งปัจจุบันรัฐบาลใช้กลยุทธ์ในการส่งเสริมและสนับสนุนให้พัฒนาผลิตภัณฑ์หัตถกรรมในด้านรูปแบบประโยชน์ ใช้สอย โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในพื้นที่มาสร้างและเพิ่มมูลค่า ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะดำเนินการวิจัย เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์การทอกร่วมกับหญ้าแฝก ที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์สร้างสรรค์จนนำไปสู่ การเสริมรายได้ให้กับผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ 1) เพื่อศึกษาภูมิปัญญาของบ้านคอนสายในการผลิตสินค้าจากกกและ สำนวญศึกษาภาพในการผลิตหญ้าแฝก ในเขตพื้นที่จังหวัดอุดรธานี 2) เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์สินค้าสร้างสรรค์จากใบหญ้าแฝกร่วมกับกก การใช้สอยจากธรรมชาติในท้องถิ่นที่เหมาะสม สำหรับการนำมาผลิตสินค้า ที่ตรงกับอุปทานของตลาด และ 3) เพื่อประเมินความคิดเห็นที่มีต่อผลิตภัณฑ์จากแฝกผสมกกที่ออกแบบและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่จะเป็นบทเรียนในการสร้างชุมชนเข้มแข็งต่อไป โดยมีกรอบแนวความคิดดังภาพที่ 1 (Figure 1)

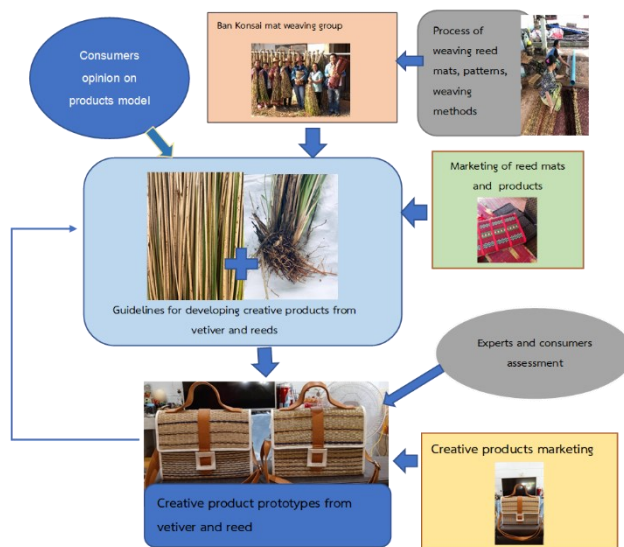


Figure 1 This research conceptual framework.

วิธีการศึกษา

กระบวนการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (qualitative research) ใช้วิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (in-depth Interview) กับกลุ่มเป้าหมาย โดยมีขั้นตอนดังนี้ ขั้นที่ 1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์จากกกเดิมของชุมชน ดำเนินการศึกษาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทั้งปฐมภูมิ และทุติยภูมิ โดยแหล่งข้อมูลปฐมภูมิจะดำเนินการศึกษาจาก 1) ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ กลุ่มที่ 1 สมาชิกในกลุ่ม อาชีพทอเสื่อกกบ้านคอนสาย ที่สนใจในการเข้าร่วม พัฒนาผลิตภัณฑ์จำนวน 10 ราย โดยใช้เครื่องมือในการศึกษา คือ การสัมภาษณ์เชิงลึก และการสนทนากลุ่ม เกี่ยวกับการย้อนสีก ภูมิปัญญาการทอกร ลวดลาย รูปแบบผลิตภัณฑ์เสื่อกก เพื่อนำมาวิเคราะห์และบันทึกองค์ความรู้ กลุ่มที่ 2 ผู้บริโภคจำนวน 30 คน ทำการศึกษาความคิดเห็นของผู้บริโภคและผู้ใช้ผลิตภัณฑ์จากกก ทำการสัมภาษณ์ด้วยแบบสัมภาษณ์บริเวณตลาดนัดจตุจักร เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนา รูปแบบผลิตภัณฑ์ต่อไป ขั้นตอนที่ 2 เพื่อทดลองปฏิบัติการออกแบบผลิตภัณฑ์จากกกและใบหญ้าแฝก นำข้อมูลที่ได้มาจากขั้นตอนที่ 1 มาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์

ต้นแบบ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่เหมาะสม สวยงาม ขั้นตอนที่ 3 จัดทำต้นแบบ และให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบ ทำการประเมินความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ และใช้แบบประเมินความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์ต้นแบบกับผู้บริโภคอีกจำนวน 8 ราย และขั้นตอนที่ 4 นำผลการศึกษามาวิเคราะห์สถิติด้วย ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย นำผลการศึกษามาสรุปเป็นหมวดหมู่ วิเคราะห์ข้อมูล และสังเคราะห์ข้อมูล เสนอผลการศึกษาในรูปแบบพรรณนา

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ภูมิปัญญาเดิมในการผลิตผลิตภัณฑ์จากกกในตำบลคอนสาย

ในการผลิตสินค้าและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากกกในตำบลคอนสาย สำหรับชุมชนเป้าหมาย ในการทำวิจัยคือพื้นที่หมู่ที่ 4 บ้านคอนสาย ได้มีการทำทอเสื่อกกมาตั้งแต่บรรพบุรุษ วัตถุประสงค์ ในการทอเสื่อเพื่อใช้ในบ้านเรือน ทอเสื่อเพื่อใช้ในวัด โดยมีวิธีการทอเสื่อใช้กกทอเสื่อทั้งพื้น มีขั้นตอนการทำ คือการใช้กกในพื้นที่นา ที่ค่อนข้างแก่ ลำต้นเขียวเข้มและมีความเหนียวของเส้นใยกก ตัดมาและนำกกมาตาก มีการแยกขนาดของความยาวของลำต้น นำต้นกกมารีดออกเป็นเส้นๆ โดยจะได้ประมาณต้นละ 3-4 เส้น ในการรีดเส้นนั้นเอาส่วนที่เป็นแกนกลางของลำต้นออก หรือเอาไส้ต้นกกออก เนื่องจากไส้ต้นกกจะไม่แข็งแรง เปราะ ขาดง่าย นำเส้นกกออกไปตากแดดประมาณ 1 อาทิตย์ สามารถนำไปใช้ได้แล้วเมื่อกกแห้งดีแล้ว ก็จะเก็บมัดไว้เป็นพ่อน จากนั้นนำกกที่แห้งมาย้อมสีเคมีในการย้อม ส่วนมากจะใช้สีหลักคือสีน้ำตาล สีขาว สีแดง สีนํ้าเงิน ถ้าทำแบบมัดหมี่จะต้องมีการมัดลายก่อนย้อม ซึ่งชาวบ้านไม่นิยมทำเพราะยุ่งยากในการทอลาย หลังจากย้อมสีเสร็จก็นำกกที่ย้อมแล้วไปตากในที่ร่มที่มีอากาศถ่ายเทเพื่อให้สะเก็ดน้ำและแห้งสนิทเพื่อร่อนนำไปทอเสื่อต่อไป และนำกกที่ได้ไปทอเสื่อด้วยโฮมทอเสื่อ โดยมีการวางแผนเลือกในล่อนหรือเลือกเอ็นซึ่งที่โฮมทอเสื่อ ให้เป็นเส้นตามโฮมและพิมพ์ จนทอสำเร็จตามขนาดที่ต้องการ

จากนั้นได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ออกมาหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นหมวก กระเป๋า แต่อย่างไรก็ตาม ชาวบ้านที่คอนสายก็ยังเน้นการทอเสื่อเพื่อการขายเพียงแต่ปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์มาเย็บให้เป็นเสื่อพับเพื่อความสะดวก ในการเก็บและตามความต้องการของการตลาด ลายที่ทอเป็นประจำและเป็นที่ยอมรับสำหรับบ้านคอนสายคือ ลายพื้นธรรมดา คือใช้เส้นสีเดียวทอขัดไปมา ลายขัด ลายหมากรุก ลายสลับ คือสลับสีระหว่างสี 2 สีที่ต้องการให้มีการตัดกัน หรือการทำลายมัดหมี่ที่จะต้องมัดก่อนย้อมสี และนำมาทอคล้ายการทอผ้า แต่ยังไม่พบการนำหญ้าแฝกมาใช้เป็นวัตถุดิบผสมสำหรับการผลิตสินค้า

การปลูกแฝก พื้นที่ปลูกหญ้าแฝกของบ้านคอนสาย และอำเภอกู่แก้ว จังหวัดอุดรธานี

จากการสำรวจพบว่าพื้นที่บ้านคอนสาย ไม่มีการปลูกหญ้าแฝก แต่หากพิจารณาจากแผนที่การปลูกหญ้าแฝกของกรมพัฒนาที่ดินพบว่า ในอำเภอกู่แก้วมีการปลูกหญ้าแฝก แต่มีพื้นที่ปลูกเป็นส่วนน้อยเพียง 120,000 ต้น ในปี พ.ศ. 2561 และเพิ่มจำนวนมากขึ้นในปี พ.ศ. 2563 เป็น 150,000 ต้น (Figure 2) ส่วนใหญ่พื้นที่ปลูก บริเวณที่เป็นริมสระ ริมบ่อ ริมคลองส่งน้ำ เพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน โดยความรับผิดชอบของ สำนักงานพัฒนาที่ดิน จังหวัดอุดรธานี (Information Center, Land Development Department, 2020) อย่างไรก็ตามถ้าต้องการจะพัฒนาสินค้าหรือผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝกผสมกับกก จะต้องนำแฝกจากพื้นที่อื่น ในอำเภอกู่แก้วซึ่งใกล้ที่สุด คือห่างจากบ้านคอนสายประมาณ 3.4 กิโลเมตร มาใช้ร่วมกับการใช้ต้นกก หรือต้องส่งเสริมการปลูกเพื่อนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อไป

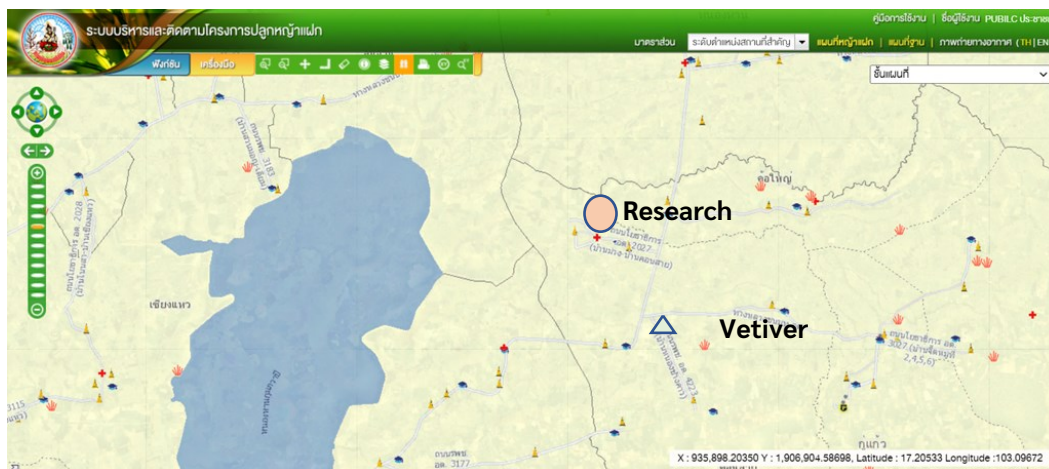


Figure 2 Map showing research areas and vetiver grass growing areas close to Ban Kongsai

Source: Adapt from Information Center, Land Development Department (2020).

การตลาดผลิตภัณฑ์จากแฝกผสมกกในปัจจุบัน

จากการสำรวจตลาดเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลที่จะไปพัฒนาสินค้าแฝกผสมกก พบว่ายังไม่มีสินค้าในตลาด ที่เป็นแฝกผสมกับกกโดยตรงจากผู้ผลิตในงานหัตถกรรม ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการสำรวจตลาดจากต้นกก ในตลาดจัตุจักร ซึ่งเป็นแหล่งการขายสินค้าที่ระลึก เพื่อนำความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์นั้นมาใช้ในการออกแบบ รวมถึงความเป็นไปได้ ที่จะผลิตสินค้าแฝกผสมกก โดยดำเนินการสำรวจกับผู้บริโภคจำนวน 30 ราย ด้วยแบบสัมภาษณ์ พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ซื้อผลิตภัณฑ์จากกกประเภทเสื่อมากที่สุด คือร้อยละ 66.67 โดยมีวัตถุประสงค์ ของการเลือกซื้อสินค้าที่ทำมาจากกกเพื่อนำไปใช้ในครอบครัวมากที่สุด คนที่มีอิทธิพลมากที่สุดในการเลือกซื้อสินค้าได้แก่ ตัวผู้บริโภคเอง การซื้อผลิตภัณฑ์จากกก เพราะชอบความสวยงาม ลักษณะเฉพาะถิ่นมากที่สุด

สำหรับความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ทอจากต้นกก โดยกำหนด 5 ระดับ ตามแนวทางของ Likert Rating Scale (Best, 1977 quoted in Wongsaken & Sriwichailamphan ,2015) ค่าเฉลี่ยที่พบระดับความคิดเห็นมากที่สุดคือ อุปกรณ์บนโต๊ะกินข้าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 เมื่อสอบถามเรื่องการปรับปรุงผลิตภัณฑ์จากต้นกก ได้มีความคิดเห็นเรื่องของประเภทสินค้าให้มีความหลากหลาย มากกว่านี้มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 เน้นการใช้สีธรรมชาติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 ให้มีเอกลักษณ์ เฉพาะถิ่นมากขึ้น เช่น ลวดลายเฉพาะ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.27 และน้อยที่สุดคือเรื่องความแข็งแรงทนทาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.77 เมื่อสอบถามเรื่องสีของผลิตภัณฑ์จากกกที่ชอบ ยังคงมีความชอบในสีเดิมของกก คือสีธรรมชาติมากที่สุดคือ 90.0 รองลงมาคือสีน้ำเงิน ร้อยละ 73.33 สีแดง ร้อยละ 66.67 และน้อยที่สุดคือสีทอง ร้อยละ 10.0 มีข้อเสนอแนะสำหรับผลิตภัณฑ์จากกกเพิ่มเติมคือ ต้องการให้เปลี่ยนรูปแบบในลักษณะของสินค้าอื่น ที่สามารถใช้งานได้จริงมากกว่าเสื่อ ใช้สีธรรมชาติเป็นหลักจะสามารถขายสินค้าได้ดียิ่งขึ้น อาจจะมีการผสมสีของหลาย ๆ สีที่เน้นจากสีจากธรรมชาติ (Table 1)

Table 1 Consumer opinions on this products from reed fiber.

Product reviews and suggestions	Average ($\bar{x}$)	Meaning
1. Patterns variety	4.13	Good
2. Colors should emphasize use natural colors	4.37	Excellent
3. Strength and durability	3.77	Good
4. To be more unique in the local area	4.27	Excellent
5. Cheaper price	3.8	Good
6. Product types to be more diverse	4.47	Excellent

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สร้างสรรค์จากหญ้าแฝก และกก

แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์สินค้าสร้างสรรค์จากใบหญ้าแฝกร่วมกับกก ซึ่งต้องมีการจัดการวัสดุในท้องถิ่น ใช้สีย้อมจากธรรมชาติในท้องถิ่นให้มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตสินค้าตรงต่อความต้องการของตลาด ทางคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้

1) การพัฒนาสีจากรากหญ้าแฝก ผู้วิจัยได้ทำการทดลองใช้สีจากดินและรากหญ้าแฝกมา ย้อมเส้นใย กก และเส้นใยแฝก ด้วยวิธีการชุดแฟกซ์น้ำขึ้นมา และมีขั้นตอนดังนี้ (1) นำแฟกซ์ขึ้นตามความต้องการ ใช้ใบแฝก และรากแฝกมาสับ และนำใส่หม้อต้ม ในการต้มเพื่อให้ได้สีย้อม (2) ในการทดสอบสีครั้งนี้ ทดสอบใช้เส้นใยฝ้ายมา ทดสอบสีย้อมก่อน

(1) สีที่ใช้ในการย้อมจากส่วนรากของแฝกและดิน ผู้วิจัยได้นำเส้นใยกกที่มีการจักให้เป็นเส้นเล็ก พร้อมตากแห้ง นำมาทำการย้อมสีจากรากของแฝกและดินที่ผสมกัน ทำให้ได้สีน้ำตาล สีแดง น้ำตาลอ่อน โดยใช้วัตถุดิบคือ วัตถุดิบรากหญ้าแฝกที่ฝังใต้ดินใช้ประมาณ 3 กิโลกรัม น้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม น้ำเปล่า 10-15 ลิตร เกลือ 1 กิโลกรัม สารส้ม 1 กิโลกรัม และน้ำสนิม 2 ลิตร จากนั้นนำรากหญ้าแฝกที่สับเรียบร้อยแล้ว หมักกับน้ำตาลทรายและน้ำสนิมในหม้อต้ม อย่างน้อย 2-4 วัน และนำทั้งหมดไปต้มให้เดือด เมื่อน้ำในหม้อต้มเดือด ให้เติมสารส้ม เกลือ ต้มต่อไปอย่างน้อย 4 ชั่วโมง และนำเส้นใยหญ้าแฝกหรือกกลงไปเคี่ยวต้ม และหมักเอาไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง นำขึ้นมามากให้แห้ง และนำมาใช้เป็นเส้นใยในการทอ

(2) สีที่ใช้ในการย้อมจากส่วนใบหญ้าแฝกสีย้อมสีเหลืองน้ำตาลเข้ม /เหลืองอมเขียว ใช้วัตถุดิบคือ ต้นหญ้าแฝกแก่และอ่อนสับผสมกันไปรวมประมาณ 3-5 กิโลกรัม น้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม น้ำเปล่า 10-15 ลิตร เกลือ 1 กิโลกรัม สารส้ม 1 กิโลกรัม น้ำสนิม 2 ลิตร ชี้เข้าเข้มข้น นำหญ้าแฝก ส่วนลำต้น ผึ่งแดดอย่างน้อย 1-2 ชั่วโมง นำไปหมักกับน้ำตาลทรายและน้ำสนิมในหม้อต้มอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ไม่ควรเกิน 4 ชั่วโมง และนำไปใส่หม้อต้มให้เดือด เมื่อน้ำในหม้อต้มเดือดให้เติมสารส้ม เกลือ ต้มต่อไปอย่างน้อย 4 ชั่วโมง และนำเส้นใยหญ้าแฝกหรือกกลงไปเคี่ยวต้ม และหมักเอาไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง นำขึ้นมามากให้แห้งและนำมาใช้เป็นเส้นใยใน การทอ

2) การพัฒนาและทดลองทอเสื้อสลับแฟกซ์และเส้นกก

หลังผ่านกระบวนการย้อมสีธรรมชาติ ได้นำแฟกซ์กับกกที่ย้อมแล้วเสร็จ ไปดำเนินการทอ ที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านคอนสาย ผู้วิจัยและชาวบ้านได้คิดร่วมกันสำหรับลายทอเสื้อจากลายปกติคือลาย พื้นและลายจับหนึ่ง ลายจับสอง รวมถึงนำเส้นใยกกเส้นเล็กที่จักแล้วมาทอสลับกับแฟกซ์ที่ได้รับการย้อมแล้ว จนเกิดลวดลาย เมื่อได้ความยาวประมาณ 2 เมตร นำไปตัดเย็บเป็นกระเป๋าทรงที่มีความทันสมัย ตามความเห็นร่วมกัน ของผู้วิจัยและชุมชน เพื่อจะขายได้ง่าย ทุกคนได้ใช้ประโยชน์ โดยการพัฒนารูปทรงมาจากกระเป๋ายกเท้า ที่ยังคงมีรูปทรงทันสมัยและใช้งานได้อย่างคุ้มค่าในชุมชน ผสมผสานกับภาพผลิตภัณฑ์กระเป๋ายกเท้าในรูปแบบอื่น ๆ เมื่อได้รูปแบบที่ตกลงร่วมกัน จึงทำการ

ผลิตตามแบบดังกล่าวด้วยการนำไปให้ช่างนอกชุมชนตัดเย็บจำนวน 2 ใบ ด้วยการขึ้นรูปและนำมาผสมกับหนังเทียม และนำไปให้ชุมชนพิจารณาว่ามีความสวยงาม สามารถนำมาใช้เป็นต้นแบบ ของผลิตภัณฑ์จากชุมชนต่อไป (Figure 3)

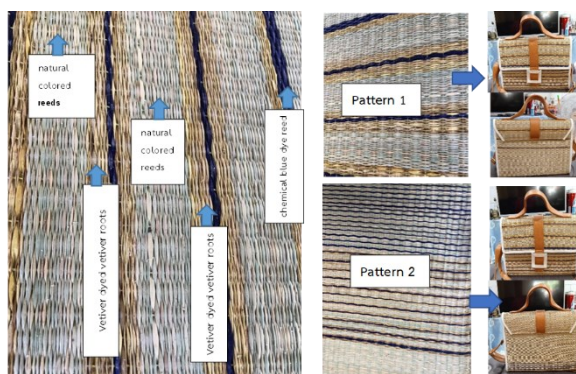


Figure 3 The pattern of the woven mats mixed with reeds and vetivers fiber.

3) การประเมินผลผลิตสร้างสรรค์ จากผู้ทรงคุณวุฒิ

เมื่อนำสื่อที่ทอจากเส้นใยจากแฝกผสมกกและเส้จในขนาดประมาณ 2 เมตร และตัดเย็บ เป็นกระเป๋า เรียบร้อย ได้นำมาประเมินผลผลิตสร้างสรรค์แฝกผสมกกจากผู้ทรงคุณวุฒิ ที่มีความสามารถ ในด้านการออกแบบ ผลิตภัณฑ์ จำนวน 2 ท่าน พิจารณาและให้ความเห็น โดยมีความคิดเห็นที่สำคัญ คือ

(1) สีจากรากแฝก สีส้มอ่อน และสีจากกกธรรมชาติ สามารถเข้ากันได้ดี สีของหญ้าแฝกมีความสวยงาม และมีความเป็นธรรมชาติมาก ควรใช้สีจากหญ้าแฝกมากกว่ารูปแบบเดิม

(2) ข้อเสนอแนะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อไปคือ อยากให้เพิ่มความโดดเด่นของหญ้าแฝก ให้มากกว่านี้โดยใช้สัดส่วน 70-30 กับเส้นใยกก รูปแบบบนกระเป๋าเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้หญ้ากก เพื่อลดทก ที่จะนำมา รวมให้น้อยกว่าหญ้าแฝก จะทำให้หญ้าแฝกโดดเด่นมากยิ่งขึ้น เช่น อาจจะทำฝากระเป๋า เป็นหญ้าแฝกเพียงวัสดุเดียว เป็นต้น

(3) การใช้หนังที่เป็นส่วนประกอบควรใช้หนังแท้ เช่น หนังลูกแกะ หนังขามัวร์ร่วมด้วย รวมถึง การใช้วัสดุโลหะร่วมตรงเข็มขัดกระเป๋า จะทำให้กระเป๋ามีความสวยงามมากยิ่งขึ้น

(4) รูปทรงของกระเป๋าอาจใช้เป็นรูปทรงอื่นที่สามารถนำเสนอความโดดเด่นของวัสดุได้มากกว่านี้ อาจจะทำเป็นทรง tote bag หรือ clutch bag ของมือถือ กระเป๋าใส่โน้ตบุ๊ก ของเอกสาร หรือนำเสนอ ให้เป็นคอลเลกชันกระเป๋า หรืออาจจะเป็นผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก ของขวัญ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น

(5) การพัฒนาสินค้าต่อไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับกลุ่มอื่นๆ เช่น ผู้ชาย ผู้ใหญ่วัยเกษียณ

(6) ควรมีวิธีการเพิ่มนวัตกรรมในการยืดอายุของเส้นใย ด้วยเคมีที่เป็นธรรมชาติ อาจจะทำหาแนวทางในการยืดอายุ เพราะเส้นใย กก แฝก อาจเกิดเชื้อราถ้าใช้และมีความชื้น

(7) การตัดเย็บและขึ้นรูปอาจจะบุภายในให้มีความนิ่มและผ้าที่ใช้ อาจเลือกใช้ผ้าที่ผลิตจากชุมชนที่อยู่ในจังหวัดอุดรธานีที่นำมาเย็บด้วยแฝกเพื่อเพิ่มเรื่องราว (story) และคุณค่าของงานผลิตภัณฑ์นี้

การประเมินผลิตภัณฑ์สร้างสรรค์จากกลุ่มผู้บริโภค

ผู้วิจัยได้นำผลผลิตคือกระเป๋า 2 ใบ ที่รูปแบบมีความเหมือนในวัสดุ แตกต่างในลักษณะ ลายที่สลับของลายให้มีความถี่กับลายท่าง ในการผสมเส้นใยแฝกกับเส้นใยกก นำไปประกอบการสัมภาษณ์ ความคิดเห็นของกลุ่มผู้บริโภค และกลุ่มผู้ค้าสินค้าหัตถกรรมในตลาดนัดจตุจักร จำนวน 8 ราย ได้ข้อสรุปสำหรับการประเมินผลิตภัณฑ์

กระเป๋าสื่อผสมกัก เช่น มีความสวยงาม ควรใช้เพียง หล้าแฝกเพียงวัสดุเดียวในกระเป๋าระวังในเรื่องของการขึ้นราซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของพวกกระเป๋าสื่อธรรมชาติ เป็นต้น (Table 2)

Table 2 Consumer opinions on creative products, mixed woven from vetiver fiber reeds fiber bags.

Product reviews	Content
1. Beauty of bags	It is beautiful and the color match very well between natural color. reed and reed fiber color dyeing from root vetiver.
2. Bags Shape	It is beautiful, modern, and can add values from this shape.
3. Prouducts utilization	Good for use, wide and large, can be used very well
4. Bag sewing	It had good sewing, neat, but there are some parts, especially the corners that need to be careful, are not complete.
5. Suggestions from Consumers	1. Should use only one type of raw material such as using only vetiver. 2. Should have anti-fungal agents that may be caused by moisture from air. 3. Should use genuine leather for add value and make look expensive product. 4. Should make many styles and variety of products. 5. Should use variety of colours in prouducts.

สรุปผลการศึกษา

ผู้วิจัยได้สังเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการศึกษาที่ได้จากกระบวนการศึกษาวิจัย ได้เป็นองค์ความรู้ เพื่อการถ่ายทอด และการพัฒนาต่อไปของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากหญ้าแฝก และกก ดังนี้

1. หมู่บ้านคอนสาย เป็นพื้นที่ที่มีการผลิตเสื่อกก ผลิตภัณฑ์จากกกอยู่แล้วตามภูมิปัญญาท้องถิ่นเดิม โดยที่มีการรวมกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอเสื่อกกบ้านคอนสาย เพื่อผลิตเสื่อกก ในการทอขาย แต่ไม่ได้รวมกลุ่ม กันขาย ซึ่งสมาชิกแต่ละคนก็มีภูมิปัญญาในการสร้างลวดลายจากกก ที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการทอสานลาย ลายที่ทอเป็นประจำและเป็นที่ยอมรับสำหรับบ้านคอนสายคือ ลายพื้นธรรมดา คือใช้เส้นสีเดียวทอขัดไปมา ลายขัด ลายหมากรุก ลายสลับ คือสลับสีระหว่างสี 2 สีที่ต้องการให้มีการตัดกัน หรือการทำลายมัดหมี่ที่จะต้องมัดก่อนย้อมสี และนำมาทอคล้ายการทอผ้า มีจำนวนน้อยคนที่ใช้วิธีการมัดหมี่ ให้ได้ สีและนำมาทอเพราะลำบากในการมัด ย้อม สีหลักคือสีน้ำตาล สีขาว สีแดง สีนํ้าเงิน แต่ยังไม่พบการนำหญ้าแฝกมาใช้เป็นวัตถุดิบผสมกับกกสำหรับการผลิตสินค้า ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝกที่จะนำมาผสมกัก เกิดจากแนวคิดในการนำใบแฝกและส่วนประกอบของต้นแฝก มาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด รวมถึงการส่งเสริมการนำพืชท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้และสามารถนำแฝกไปใช้ประโยชน์ มากกว่าการปลูกเพียงเพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน กระบวนการที่สำคัญที่สุด คือการสร้างความเข้าใจ กับชุมชน ที่จะยอมรับแนวทางใหม่ๆ ของผลิตภัณฑ์ เพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์ไปจนสู่การสร้างรายได้ให้มากยิ่งขึ้น เพราะส่วนใหญ่คนในชุมชนมักจะคิดถึงแต่ของเดิม การสร้างการยอมรับต้องใช้การประชุมกลุ่มย่อย เจาะลึกที่ตัวผู้นำ

2. การสำรวจศักยภาพในการผลิตหญ้าแฝกในจังหวัดอุดรธานี จากข้อมูลของสำนักพัฒนาที่ดินอุดรธานี และจากข้อมูลของ Information and Communication Technology Center ,Land Development Department (2020) พบว่าใน พ.ศ. 2563 จังหวัดอุดรธานีมีการส่งเสริมในการปลูกหญ้าแฝกตามริมน้ำ มีจำนวนต้น

ทั้งหมด 3,006,040 ต้น พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในเขตริมน้ำในเขตอำเภอหนองหาน ส่วนในอำเภอกู่แก้ว มีการปลูกหญ้าแฝกทั้งหมด 150,000 ต้น ในพื้นที่บ้านคอนสายไม่มีการปลูกหญ้าแฝก เพราะชุมชน อาจจะไม่ทราบถึงประโยชน์ของการปลูกหญ้าแฝก ส่วนที่ควรปลูกมากที่สุดเพื่อลดการชะล้างพังทลายของดินคือ บริเวณริมคลอง หนองหาร ที่อาจเกิดการพังทลายของดินได้ ต้องมีการส่งเสริมการปลูกต่อไปเพื่อมีวัตถุดิบ สำหรับการมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์แฝกผสมกก

3. แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์สินค้าสร้างสรรค์จากหญ้าแฝกร่วมกับกก เป็นการจัดการ วัสดุในท้องถิ่น การใช้สีย้อมจากธรรมชาติในท้องถิ่นที่เหมาะสม ในการนำมาผลิตสินค้า ที่ตรงกับอุปทานของตลาด การออกแบบผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์สินค้าและบริการที่มีแนวคิดใหม่ๆหรือมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ จากการสัมภาษณ์ผู้บริโภค มีความพึงพอใจในรูปแบบที่เปลี่ยนไปของเสื้อกก และยังมีวัสดุเพิ่มคือหญ้าแฝก สีที่ได้จากสีธรรมชาติ มากกว่าสีเคมี ย้อมจากสีเคมี ซึ่งตรงกับหลักการของ Mccathy & Pereault Jr. (1991) ผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝกและกก เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการปรับปรุงใหม่โดยการปรับเปลี่ยน ดัดแปลง (Replacement product of modify product) รวมถึงการใช้การออกแบบที่คำนึงถึง หน้าที่ใช้สอย ความปลอดภัย ความแข็งแรง ความสะดวกสบายในการใช้ ความสวยงาม ราคาพอสมควร การซ่อมแซมง่าย วัสดุ และการผลิต การขนส่ง (Suksod, 2001) ซึ่งในการออกแบบผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝกและกกได้คำนึงถึงคุณสมบัติเหล่านี้ยกเว้นเรื่องราคา ต้นทุนยังคงสูงสำหรับการเย็บและตัดรูปทรงกระเป๋ายังต้องให้คนภายนอกชุมชนดำเนินการให้ เพราะคนในชุมชน ยังไม่สามารถดำเนินการได้เอง ซึ่งถ้ามีการต่อยอดผลิตภัณฑ์เพื่อทำจำหน่ายจริง ทางชุมชนต้องได้รับการอบรม เรียนรู้ด้านนี้หรืออาจใช้วิธีการเย็บมือ โดยประสานงานหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องเข้ามาอบรม และให้งบประมาณ สำหรับการพัฒนาสินค้าต่อไป

4. ในการประเมินความคิดเห็นที่มีต่อผลิตภัณฑ์จากแฝกผสมกับกกที่ออกแบบและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์นั้น มีการประเมินความคิดเห็นออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 2 ท่าน โดยประเมิน ในเรื่องของสีที่สวยงามมีความเป็นธรรมชาติ และต้องการให้พัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไปในส่วนของการใช้หญ้าแฝก มากกว่ากกเพื่อความโดดเด่นของหญ้าแฝกในสัดส่วน 70:30 และควรใช้หนังแท้ หรือโลหะมาเป็นส่วนประกอบ รูปแบบอาจจะปรับเปลี่ยนรูปแบบกระเป๋าทรงอื่นๆ เพื่อให้มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ อาจจะพัฒนาต่อไปสำหรับกลุ่มลูกค้ากลุ่มผู้ชาย ผู้ใหญ่วัยเกษียณ เพิ่มนวัตกรรมในการยืดอายุเส้นใยเพื่อป้องกันเชื้อรา การตัดเย็บอาจจะเพิ่มผ้าที่เป็นอัตลักษณ์ของอุดรธานีในพื้นที่อันม้าย้อมด้วยสีของแฝกเพิ่มเติมเพื่อสร้างเรื่องราวและ คุณค่าของผลิตภัณฑ์ สำหรับกลุ่มผู้บริโภค ผู้ค้างานหัตถกรรม ส่วนใหญ่มีความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์ว่ารูปทรงสวยดี สีสันเข้ากันได้ดีระหว่างสีธรรมชาติของเส้นใยกกและสีย้อมจากแฝก ทนสมัย สามารถเพิ่มมูลค่าได้ สามารถใช้งานได้จริง ตัดเย็บได้ดี ปรารถน แต่มีบางส่วนที่ยังต้องระวัง พบความไม่เรียบร้อย เน้นให้ใช้วัตถุดิบ เพียงชนิดเดียว เช่น ใช้เส้นใยแฝกเพียงอย่างเดียว ควรมีสารป้องกันเชื้อราที่เกิดจากความชื้น และเสนอให้ใช้หนังแท้ มาเป็นองค์ประกอบเพื่อสร้างมูลค่าและให้ดูมีราคามากยิ่งขึ้น

5. เพื่อให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์สร้างสรรค์จากวัสดุในพื้นที่ ถ้าจะต้องมีการพัฒนา ในงานวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยจะต้องคำนึงถึงวัสดุที่มีอยู่ในพื้นที่ให้มากกว่านี้ เพราะแหล่งของหญ้าแฝกอยู่ห่างไกล จากพื้นที่วิจัยที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านการทออีกทั้งการที่ต้องไปใช้การตัดเย็บจากภายนอก ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง จนอาจจะทำให้คนในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนไม่สะดวกในการผลิตสินค้าต่อไป แต่ถ้าสามารถทำได้จะทำให้ผลิตภัณฑ์จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านคอนสาย สามารถมีสินค้าที่มีความแตกต่าง จากกลุ่มอื่น ๆ และสามารถนำสินค้าไปขายได้ในราคาที่สูงมากกว่าการขายเสื้อกกเพียงอย่างเดียว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัย ประจำปีพ.ศ. 2562 ในการทำวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ยังขอบพระคุณ สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มทอเสื่อกกบ้านคอนสาย ที่ร่วมในการดำเนินการทอเสื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ ร่วมแสดงความคิดเห็น งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Chanthrasa, R., Rueangwansak, K. & Panithiphong, P. (2010). **Research report on development of handicraft products from vetiver leaves**. Bangkok: Suan Sunandha Rajabhat University. (in Thai).
- Information and Communication Technology Center, Land Development Department. (2020). **Vetiver grass planting project management and monitoring system**. Retrieved from: <http://eis.ddd.go.th/ldeis/vgt.aspx>. (in Thai).
- The Chaipatana Foundation. (2008). **Vetiver**. Retrieved from: <https://shorturl.asia/zm47Mhttps>. (in Thai).
- Wongsaken, M., & Sriwichailamphan, T. (2015). **Consumer's Satisfaction Toward Catechins Facial Cream Produces in Mueang District, Chiang Mai Province** Retrieved From: <http://cmuir.cmu.ac.th/jspui/handle/6653943832/69114>. (in Thai).
- Mccathy, E. J., & Pereault Jr., W. D. (1991). **Basic Marketing**. New York : Mc Graw-Hill.
- Suksod, T. (2001). **Industrial design**. Bangkok : O Dian Sato Publishing house. (in Thai).

วันรับบทความ (Received date) : 22 มิ.ย. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 15 พ.ย. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 20 เม.ย. 66

การตรวจสอบความบริสุทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมมะลิไทยโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล SSR Genetic Purity Test of Thai Hom Mali Rice Using SSR Molecular Markers

หทัยรัตน์ อุไรรงค์^{1*} กฤตพร รำจวนเกียรติ¹ กันธวุฒิ บุญมี¹ ธนัสสร ถวิลเชื้อ¹ และสุภารัตน์ สินชัย¹
Hathairat Urairong^{1*} Kittaporn Rumjuankiat¹, Kanthawut Boonmee¹, Tanassorn Tawinchure¹ and Sudarat Sinchai¹

บทคัดย่อ

ข้าวหอมมะลิไทยเป็นข้าวที่ได้รับการยอมรับในด้านคุณภาพว่าเป็นข้าวระดับพรีเมียมของตลาดโลก การมีข้าวพันธุ์อื่น ๆ ปนในข้าวหอมมะลิเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้คุณภาพของข้าวหอมมะลิไทยลดลง เพื่อรักษาความนิยมของข้าวนี้โดยมีเป้าหมายที่ตลาดบน สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติได้กำหนดมาตรฐานข้าวหอมมะลิไทยว่าต้องมีข้าวหอมมะลิไทยไม่น้อยกว่า 92% ในการบังคับใช้มาตรฐานนี้ มีการใช้วิธีการตรวจสอบการปลอมปนของข้าวหลายวิธีแต่ไม่สามารถตรวจพบข้าวปนได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้วิธีการตรวจ DNA ของข้าวได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถตรวจสอบการปลอมปนของข้าวได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการคัดเลือกไพรเมอร์ SSR จำนวน 5 คู่ ได้แก่ RM213, RM336, RM337, RM474 และ BV21014 ซึ่งสามารถใช้ในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวหอมมะลิไทย นอกจากนี้ได้พัฒนาวิธีการสกัด DNA ของเมล็ดข้าวอย่างง่ายด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในหลอดไมโครเซ็นติฟิวจ์หลอดเดียว ผลการทดสอบพบว่าดีเอ็นเอมีคุณภาพดีเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธี PCR นอกจากนี้มีการศึกษาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม ในการสุ่มตรวจเมล็ดปนที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คำสำคัญ: ข้าวหอมมะลิไทย การปลอมปน ไพรเมอร์ SSR ตรวจสอบความบริสุทธิ์ทางพันธุกรรม เมล็ดปน

Abstract

Thai Hom Mali Rice (THMR) is recognized for its premium quality in the global market. One of the significant problems of a decrease in the quality of THMR is an admixture of other rice varieties. To maintain the popularity of such rice by targeting the upper market, The Nation Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards issued Thai Hom Mali Rice standards stating that must be Thai Hom Mali Rice not less than 92%. Several methods have been employed to enforce this standard and showed less possibility of detecting adulterants. However, DNA-based methods have been proven to purge the adulteration problem. This research reports that 5 SSR primers, RM213, RM336, RM337, RM474, and BV21014, were selected for genetic purity test in THMR. In addition, a simplified rice grain DNA extraction protocol by 0.1M NaOH solution in a single microcentrifuge tube. It was found that there was good DNA that was enough PCR analysis. Furthermore, the appropriate sample size for mixing seeds detection was evaluated at a confidence interval level of 95 percent.

Keywords: Thai Hom Mali Rice, adulteration, SSR primers, genetic purity test, mixed seed

¹วิทยาลัยนวัตกรรมการเกษตรและเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยรังสิต ต.หลักหก อ.เมืองปทุมธานี จ.ปทุมธานี 12000

¹College of Agricultural Innovation and Food Technology, Rangsit University, Lak Hok, Mueang Pathum Thani District, Pathum Thani 12000

*Corresponding author, Email: fongpatt@yahoo.com

คำนำ

ข้าวหอมมีชื่อเสียงไปทั่วโลกในด้านความหอม คุณภาพการหุงต้ม และด้านการรับประทาน ทำให้มีความต้องการของผู้บริโภคในตลาดต่างประเทศค่อนข้างสูง เป็นผลให้ราคาข้าวหอมสูงกว่าข้าวอื่นๆ ได้แก่ ข้าวหอมบาสมาติกที่ผลิตในประเทศอินเดียกับปากีสถาน และข้าวหอมมะลิที่ผลิตจากประเทศไทย (Verma et al., 2018) เนื่องจากความต้องการบริโภคข้าวหอมมะลิ ทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศมีมากขึ้นทุกปี ทำให้ราคาข้าวเปลือกและข้าวสารของข้าวหอมมะลิสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ อย่างต่อเนื่อง จึงมีการนำข้าวพันธุ์อื่นที่มีรูปร่างเมล็ดคล้ายกัน แต่ราคาถูกกว่า มาปนเพื่อลดต้นทุน ซึ่งมีผลทำให้คุณภาพของข้าวหอมมะลิแตกต่างกันไป ความหอมลดลง ไม่อ่อนนุ่มเหมือนข้าวหอมมะลิแท้ ข้าวสุกของข้าวหอมมะลิจึงมีความแข็งขึ้นตามอัตราส่วนของข้าวปนที่มากขึ้น หากปล่อยให้มีการปลอมปนเช่นนี้ ไม่มีการตรวจสอบจะทำให้คุณภาพข้าวหอมมะลิต่ำลง เป็นการทำลายตลาดและชื่อเสียงของข้าวหอมมะลิไทย ในที่สุดจะส่งผลกระทบต่อทั้งการส่งออกข้าวหอมของไทย ทั้งด้านราคาและปริมาณ ผู้เดือดร้อนคือเกษตรกรผู้ปลูกข้าว

การแก้ปัญหานี้ ระยะแรกมีการตรวจสอบการปลอมปนในข้าวหอมมะลิไทย โดยใช้วิธีทางเคมี คือการตรวจปริมาณอมิโลส Kongseeree (1999) เสนอวิธีการตรวจสอบการปนของข้าวอมิโลสสูง ในข้าวหอมมะลิไทย โดยได้พัฒนาวิธีการย้อมสีเมล็ดข้าวด้วยสารละลายไอโอดีน ตรวจสอบการปลอมปนของข้าวชัยนาท 1 ในข้าวหอมมะลิไทยโดยการปรับสภาพผิวเมล็ดให้มีความเป็นกรดพอเหมาะที่จะทำให้ข้าวอมิโลสสูงเกิดสีน้ำเงิน ในขณะที่ข้าวหอมมะลิไทยที่มีอมิโลสต่ำ จะมีสีจางลงเมื่อปล่อยไว้ 5 นาที Saengkiew & Srikaew (2012) ได้พัฒนาชุดตรวจสอบการปลอมปนข้าวหอมมะลิ โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนสีของสารละลายไอโอดีน ที่สัมพันธ์กับปริมาณอมิโลส ตัวอย่างการศึกษาใช้ข้าวขาวดอกมะลิปนด้วยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ชัยนาท 2 และพันธุ์พิษณุ 2 ในอัตราส่วนการปนตั้งแต่ 5-40% พบว่าเป็นวิธีที่มีศักยภาพในการบ่งชี้การปลอมปนของข้าวหอมมะลิจากข้าวพันธุ์อื่น ๆ

ต่อมาเมื่อเกษตรกรนิยมปลูกข้าวหอมปทุมธานี 1 ที่มีคุณภาพเมล็ดทางกายภาพและเคมีคล้ายข้าวหอมมะลิไทย จึงมีการนำข้าวหอมปทุมธานี 1 ที่ปลูกได้ตลอดปี มีปริมาณอมิโลสต่ำประมาณ 15-19% ใกล้เคียงกับข้าวหอมมะลิไทยมาปน ทำให้วิธีการตรวจอมิโลส ไม่สามารถแยกข้าวหอมปทุมธานี 1 ปนในข้าวหอมมะลิไทยได้ การวิเคราะห์การปนของข้าวที่ใช้เทคนิคดีเอ็นเอด้วยเครื่องหมายโมเลกุล SSR ให้ผลดีที่สุด มีความสะดวก รวดเร็ว ประหยัด ความแม่นยำสามารถระบุพันธุ์ปนได้ และมีไพรเมอร์ให้เลือกใช้ได้มาก (Ngorian et al., 2007; Cobelli et al., 2016) นอกจากนั้น Cobelli et al. (2007) รายงานว่าได้ใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอ BO3 (aroma gene) RM190 และ Glu - 23 (waxy gene) จำแนกข้าวออกเป็น 3 กลุ่มคือกลุ่มข้าวหอมกับไม่หอม กลุ่มข้าวสุกร่วนแข็งกับข้าวสุกอ่อนนุ่ม และกลุ่มข้าวเหนียวกับข้าวเจ้า Yoshihashi (2000) พบว่า SSR ไพรเมอร์ RM17 สามารถใช้ตรวจสอบข้าวพันธุ์ CNT1 และ RD7 ปนในข้าวหอมมะลิได้

เพื่อให้ข้าวหอมมะลิไทยคงความเป็นข้าวคุณภาพสูงและได้รับความเชื่อถือ สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จึงได้ประกาศมาตรฐานสินค้าเกษตร ประเภทข้าวหอมมะลิไทย (Thai Hom Mali Rice) ในราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 134 ตอนพิเศษ 22/1 ลงวันที่ 8 กันยายน พุทธศักราช 2560 หรือที่เว็บไซต์ <https://www.acfs.go.th> ; <https://ratchakitcha.soc.go.th> โดยระบุขอบข่ายของข้าวหอมมะลิไทยว่าเป็นพันธุ์ข้าวที่กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ประกาศรับรองให้เป็นพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข 15 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวหอมที่ไวต่อช่วงแสง มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติของข้าวใหม่หรือข้าวเก่า ข้าวหุงสุกมีความอ่อนนุ่ม เป็นข้าวที่ผลิตในประเทศไทยในฤดูนาปี มาตรฐานนี้รวมถึงข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวขาว โดยมีข้อกำหนดเฉพาะของข้าวเปลือกของข้าวหอมมะลิไทยต้องมีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 95% โดยปริมาณ สำหรับข้าวกล้องและข้าวขาวของข้าวหอมมะลิไทยต้องมีความบริสุทธิ์ของข้าวหอมมะลิไทยไม่น้อยกว่า 92% โดยปริมาณ

สำหรับการควบคุมคุณภาพข้าวหอมภายในประเทศ กรมการค้าภายในกระทรวงพาณิชย์ ได้จัดทำโครงการส่งเสริมพัฒนาคุณภาพข้าวหอมมะลิบรรจุถุงที่วางจำหน่ายในประเทศเพื่อให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ เป็นที่ยอมรับ และได้รับความเชื่อถือตลอดไป โดยใช้เครื่องหมายรับรองมาตรฐานข้าวหอมมะลิบรรจุถุงสัญลักษณ์รูปพนมมือ ตามประกาศ

กรมการค้าภายใน เรื่องการกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการรับรองมาตรฐานข้าวหอมมะลิบรรจุจำหน่ายในประเทศ ลงวันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 โดยกำหนดมาตรฐานข้าวหอมมะลิบรรจุจำหน่ายในประเทศเช่นเดียวกัน กับมาตรฐานการส่งออกตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่องกำหนดให้ข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐาน และมาตรฐานสินค้าข้าวหอมมะลิไทยฉบับที่ 3 พ.ศ. 2559 ลงวันที่ 30 กันยายน 2559 การกำกับดูแลคุณภาพข้าวหอมมะลิบรรจุรูปพรมมือ เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด คือมีความบริสุทธิ์ของข้าวหอมมะลิไม่น้อยกว่าร้อยละ 92

ดังนั้นการทดลองนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะคัดเลือกเครื่องหมายโมเลกุลชนิด SSR สำหรับใช้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของข้าวหอมมะลิไทย หรือตรวจหาปริมาณการปนของข้าวพันธุ์อื่น โดยเริ่มตั้งแต่การพัฒนาวิธีการสกัดดีเอ็นเอของข้าวสารเป็นรายเมล็ด และคัดเลือก SSR ไพรเมอร์ ที่ให้อัลลีลเอกลักษณ์ หรือจำเพาะในการจำแนกพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 และกข43 ออกจากกัน และแยกออกจากพันธุ์อื่น ๆ ที่ศึกษาในครั้งนี้ด้วย นอกจากนี้ยังมี การศึกษาขนาดของตัวอย่าง (sample size) ที่เหมาะสมสำหรับใช้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของพันธุ์ข้าวด้วย

วิธีการศึกษา

การเตรียมตัวอย่างพันธุ์ข้าว

เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง ได้จากเมล็ดพันธุ์ขยายซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี กรมการค้าภายใน จำนวน 14 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 (KDML105) กข 15 (RD15) ปทุมธานี 1 (PTT1) กข 41 (RD41) กข 43 (RD43) กข 47 (RD47) กข 49 (RD49) กข 79 (RD79) กข 85 (RD85) กข 87 (RD87) พิษณุโลก 2 (PSL2) พิษณุโลก 80 (PSL80) แจ็กเชยกาบเขียว (Jek Chuey Gahb Keaw) แจ็กเชยกาบม่วง (Jek Chuey Gahb Muang) และพันธุ์ข้าวหอมพวงที่เก็บรวบรวมจากแปลงเกษตรกรอีก 1 พันธุ์ แต่ข้าวที่รวบรวมได้มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะนำไปจัดเป็นข้าวสารสำหรับการทดลอง จึงต้องปลูกเพิ่มปริมาณโดยใช้ข้าวรวงเดียวกันเพื่อให้แน่ใจว่าตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์มีพันธุกรรมที่เหมือนกันรวมถึงดีเอ็นเอของใบข้าวที่ใช้ในการคัดเลือกไพรเมอร์ด้วย อย่างไรก็ตามสำหรับข้าวพันธุ์หอมพวงนี้ไม่ได้เป็นข้าวพันธุ์รับรอง เนื่องจากเป็นข้าวอายุสั้นที่เกษตรกรภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางบางส่วนนิยมปลูก พบว่ามีแตกต่างกันหลายตัวอย่างจึงสุ่มมาเพียงหนึ่งตัวอย่าง หลังจากรวบรวมพันธุ์ข้าวแล้ว จึงนำเมล็ดข้าวดังกล่าวมาทำการขยายพันธุ์ในกระถาง เมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตในระยะกล้าทำการตัดใบข้าวเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสสำหรับใช้สกัดดีเอ็นเอ เมื่อเมล็ดข้าวถึงระยะสุกแก่จึงเก็บเกี่ยวเมล็ดข้าวแล้วกะเทาะเปลือก จัดเป็นข้าวสารขาวสำหรับการใช้ในงานวิจัยต่อไป

การคัดเลือกไพรเมอร์เพื่อใช้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของพันธุ์ข้าว

การสกัดดีเอ็นเอจากใบข้าว

นำใบข้าวที่เตรียมได้จากการเตรียมตัวอย่างพันธุ์ข้าวจำนวน 15 พันธุ์ สกัดดีเอ็นเอด้วยวิธี CTAB (Doyle and Doyle, 1987) แล้วทำการวัดความเข้มข้นของดีเอ็นเอที่สกัดได้โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Libra S22; Biochrom, UK)

การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอโดยการทำปฏิกิริยา PCR

การทำปฏิกิริยา PCR เพื่อเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอที่สกัดจากใบข้าวโดยใช้ SSR Primer จำนวน 60 คู่ (<https://archive.gramene.org/markers/microsat/>) ซึ่งองค์ประกอบของปฏิกิริยา PCR มีดังนี้ Dream TaqTM Green PCR Master mix (Thermo Fisher Science, LT) ปริมาตร 5 ไมโครลิตร ไพรเมอร์ Forward และ Reverse ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลต่อไมโครลิตร ปริมาตรอย่างละ 0.25 ไมโครลิตร ดีเอ็นเอจากใบข้าวความเข้มข้น 50 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร ปริมาตร 2 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น ปริมาตร 2.5 ไมโครลิตร ปฏิกิริยาทั้งหมด 10 ไมโครลิตร จากนั้นนำเข้าเครื่อง PCR (T100 Thermal Cycler; Bio-Rad, U.S.A) โดยตั้งโปรแกรมการทำงานดังนี้ Pre denaturation ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 3 นาที 1 รอบ 1) Denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที 2) Primer Annealing ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที 3) Primer Extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 1

นาที่ ทำปฏิกิริยาขั้นที่ 1-3 จำนวน 35 รอบ และ Final Extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 7 นาที จำนวน 1 รอบ และเก็บผลผลิต PCR ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์ผลผลิตจากปฏิกิริยา PCR

นำผลผลิต PCR ที่ได้มาทำการวิเคราะห์ขนาดชิ้นดีเอ็นเอหรืออัลลิลโดยใช้เครื่อง QIAxcel Advanced system (QIAxcel® Advanced; Qiagen, Germany) บันทึกขนาดของชิ้นดีเอ็นเอของผลผลิต PCR จากไพรเมอร์ SSR จำนวน 60 คู่ หลังจากนั้นทำการคัดเลือกไพรเมอร์ที่สามารถจำแนกพันธุ์ข้าวได้โดยเฉพาะข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์ กข 43

การพัฒนาวิธีการตรวจสอบความบริสุทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวสารแบบรายเมล็ด

การตรวจสอบความบริสุทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวสารแบบรายเมล็ด มีขั้นตอนดังนี้ 1) การสกัดดีเอ็นเอจากเมล็ดข้าวสารที่ได้จากการสุ่ม 100 เมล็ด 2) การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอโดยการทำปฏิกิริยา PCR ด้วยไพรเมอร์ที่เลือกไว้ และ 3) การวิเคราะห์ผลผลิตของ PCR ด้วยเครื่อง QIAxcel Advanced system (QIAxcel® Advanced; Qiagen, Germany) อย่างไรก็ตามการสกัดดีเอ็นเอจากข้าวสารจำนวน 100 เมล็ด เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลา แรงงานและงบประมาณสูง จึงได้พัฒนาวิธีการสกัดดีเอ็นเอ และศึกษาปริมาณดีเอ็นเอที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา PCR ดังนี้คือ

การสกัดดีเอ็นเอจากข้าวสารอย่างรวดเร็วครั้งละ 2 เมล็ดต่อหลอด

นำเมล็ดข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 และ กข 43 จำนวนพันธุ์ละ 2 เมล็ด ใส่ในหลอดไมโครเซนติฟิวส์ขนาด 1.5 มิลลิลิตร จำนวนพันธุ์ละ 50 หลอด ใส่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 หรือ กข 43 อย่างละ 1 เมล็ดใส่ในหลอดเดียวกัน จำนวน 50 หลอด จากนั้นเติม NaOH ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร แล้วนำไปปั่นที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 30 นาที ทุก ๆ 10 นาที ทำการผสมโดยการ vortex เพื่อให้แบ่งแตกตัวและละลายเร็วขึ้น เมื่อเมล็ดข้าวละลายหมดแล้วเติม TE buffer (Tris-base ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และ EDTA ความเข้มข้น 0.001 โมลาร์) ปรับให้ได้ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 โดยใช้ HCL ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยการ Vortex จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที (ดัดแปลงวิธีการจาก Wen-Yue et al., 2006; Ma et al., 2019) ตูบเฉพาะสารละลายส่วนใสด้านบนไปทำปฏิกิริยา PCR ปริมาณสารละลายดีเอ็นเอที่เหมาะสมกับในการทำปฏิกิริยา PCR

การสกัดดีเอ็นเอตามที่กล่าวมานั้นเป็นวิธีที่ทำให้แบ่งในเมล็ดข้าวละลายใน NaOH ดังนั้นจึงต้องปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้มีค่าเป็นกลาง แล้วหาปริมาณสารละลายดีเอ็นเอที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา PCR โดยนำสารละลายดีเอ็นเอที่สกัดได้จากหลอดที่มีข้าวพันธุ์เดียวกันจำนวน 2 เมล็ด ไปทำปฏิกิริยา PCR ด้วยไพรเมอร์ RM213 ส่วนประกอบของปฏิกิริยา PCR ทำเช่นเดียวกับวิธีการข้างต้น แต่ปรับปริมาตรสารละลายดีเอ็นเอที่ใช้เป็นแม่พิมพ์ตั้งแต่ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 2.0 ไมโครลิตร โดยโปรแกรมการทำงานของเครื่อง PCR ตั้งค่าตามที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นตรวจสอบผลผลิตของปฏิกิริยา PCR โดยการแยกขนาดของดีเอ็นเอบน agarose gel ความเข้มข้น 3% เลือกตัวอย่างสารละลายดีเอ็นเอที่ให้แถบของผลผลิตปฏิกิริยา PCR เข้มที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

ขนาดตัวอย่าง (sample size) ที่มีผลต่อความถูกต้องในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของพันธุ์ข้าว

ผลการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของพันธุ์ข้าวสารโดยเครื่องหมายโมเลกุล SSR ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างส่งตรวจ (Submitted sample) โดยความคลาดเคลื่อน (error) ที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากขนาดของตัวอย่างที่ใช้ตรวจน้อยเกินไปหรือการวิเคราะห์รูปแบบของแถบดีเอ็นเอในห้องปฏิบัติการเกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเรื่องขนาดของการสุ่มตัวอย่าง (Sample size) ที่มีเมล็ดปนระดับต่าง ๆ กันด้วยวิธีการปนเมล็ดข้าวที่มีพันธุ์และจำนวนแตกต่างกันลงไป โดยมีวิธีการดังนี้

ขนาดของการสุ่มตัวอย่างที่มีเมล็ดปนระดับต่าง ๆ

เตรียมข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 คุณภาพคัดพิเศษ ฤๅละ 1 กิโลกรัม จำนวน 5 ฤๅ ทำการแบ่งข้าวแต่ละ ฤๅออกมาโดยการชั่งน้ำหนักให้ได้ 8% (8 กรัม) 20% (20 กรัม) 30% (30 กรัม) 40% (40 กรัม) และ 50% (50 กรัม) ตามลำดับ จากนั้นจึงนำเมล็ดข้าวที่ซึ่งออกมาไปย้อมสีม่วงด้วยดอกอัญชันเพื่อเป็นตัวแทนของกลุ่มข้าวปน ผึ่งให้แห้งสนิทแล้วใส่กลับเข้าไปปนกับข้าวขาวในฤๅเดิมที่ได้แยกออกมา ทำการสุ่มตัวอย่างข้าวครั้งละ 2 กรัม (100 ± 2 เมล็ด) และ 4 กรัม (200 ± 2 เมล็ด) จากข้าวแต่ละฤๅมาตรวจนับจำนวนเมล็ดข้าวที่มีสีม่วงที่ปนลงไปว่ามีกี่เมล็ด ทุกครั้งที่นับเมล็ดเสร็จให้ทำการเทเมล็ดที่สุ่มออกมา กลับลงไปในฤๅข้าวเดิม (sampling with replacement) แล้วคลุกเคล้าก่อน การสุ่มครั้งต่อไป โดยข้าวแต่ละฤๅทำการสุ่มจำนวน 100 ครั้ง เพื่อบันทึกข้าวสีม่วงที่ปนลงไป การสุ่มตัวอย่างแต่ละ ครั้งใช้วิธี Quartering method ซึ่งดัดแปลงมาจาก ISO/FDIS 6498:1998 และ Apanich (2004) บันทึกผลการนับ เมล็ดข้าวปนสีม่วงของการปนในข้าวแต่ละฤๅจากการสุ่มเมล็ดข้าว 2 กรัม (100 ± 2 เมล็ด) และ 4 กรัม (200 ± 2 เมล็ด) นำข้อมูลทีบันทึกได้วิเคราะห์ผลด้วยวิธีการทางสถิติแบบบรรยายเพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูง-ต่ำ และค่าช่วงความเชื่อมั่น 95% และสถิติอ้างอิงแบบ One Sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การคัดเลือกไพรเมอร์เพื่อใช้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของพันธุ์ข้าว

ผลจากการคัดเลือกไพรเมอร์ในการทำปฏิกิริยา PCR สำหรับตรวจสอบความบริสุทธิ์ของพันธุ์ข้าวจำนวน 15 พันธุ์ โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลชนิด SSR จำนวน 60 คู่ พบว่าสามารถคัดเลือกไพรเมอร์ได้ 5 คู่ที่มีประสิทธิภาพในการ แยกความแตกต่างของพันธุ์ข้าวชุดนี้ ได้แก่ RM213, RM336, RM337, RM474 และ BV210145 ลำดับเบสของไพรเมอร์ นี้ แสดงใน Table 1 โดยที่ไพรเมอร์ชุดนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ไพรเมอร์ที่ให้แถบดีเอ็นเอหรืออัลลีล ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของพันธุ์ดังนี้

Table 1 The sequences of SSR primers were selected for adulteration detection in Thai Hom Mali Rice.

Name	Forward primer sequence (5'-3')	Reverse primer sequence (5'-3')	Repeat motif	Tm (°C)
RM336	CTTACAGAGAAACGGCATCG	GCTGGTTTGTTCAGGTTTCG	(CTT)18	55
RM337	GTAGGAAAGGAAGGGCAGAG	CGATAGATAGCTAGATGTGGCC	(CTT)4-19- (CTT)8	55
RM213	ATCTGTTTGCAGGGGACAAG	AGGTCTAGACGATGTCGTGA	(CT)17	55
RM474	TACACGAGGGAGTACTCGAATG	CATGGAGGTATAGAAGAGCATTG	(AT)13	55
BV210145*	CTCTCAGGAGCTCGGATTGT	CTCTGCAGCCTCAGTGATCC	-	55

*STS primer.

ไพรเมอร์ RM 213 ให้อัลลีลที่เป็นเอกลักษณ์ของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และ กข 15 ซึ่งมีขนาด 165 คู่เบส สามารถใช้จำแนกข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และ กข 15 ออกจากพันธุ์อื่น ๆ ในการทดลองนี้ที่มีอัลลีลต่างไปคือ 153-155 คู่เบส สำหรับไพรเมอร์ BV210145 ให้อัลลีลที่เป็นเอกลักษณ์ของข้าวพันธุ์ทุหมธานี 1 ที่มีอัลลีลขนาด 486 คู่เบส จึงสามารถใช้ไพรเมอร์นี้ในการจำแนกข้าวทุหมธานี 1 ออกจากข้าวพันธุ์อื่น ๆ ที่มีอัลลีลขนาด 528 คู่เบสและต่างจากอัลลีล 479 คู่เบสที่เป็นอัลลีลเอกลักษณ์ของข้าวพันธุ์ กข 47 ได้ ส่วนไพรเมอร์ RM474 ให้อัลลีลที่เป็นเอกลักษณ์ของข้าวพันธุ์ กข 43 ซึ่งมีขนาด 260 คู่เบส ในขณะที่พันธุ์ข้าวอื่น ๆ ให้อัลลีลขนาด 222 235 และ 272 ดังนั้นจึง

สามารถใช้ไพรเมอร์นี้แยกพันธุ์ กข 43 ออกจากข้าวพันธุ์อื่น ๆ ได้ และยังพบว่าอัลลีลขนาด 235 คู่เบสเป็นอัลลีลเอกลักษณ์ใช้จำแนกข้าว กข 85 ได้ แสดงใน Table 2

Table 2 Specific SSR allele size or variety-specific allele size (in parentheses) of three primers for discrimination of 15 rice varieties.

Varieties	Primer/allele size (base pair)										Multiplex banding pattern
	RM213			BV210145			RM474				
	153	155	165	479	486	528	222	235	260	272	
KDML105	-	-	(+)	-	-	+	+	-	-	-	1
RD15	-	-	(+)	-	-	+	+	-	-	-	1
PTT1	-	+	-	-	(+)	-	+	-	-	-	2
RD41	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	3
RD43	+	-	-	-	-	+	-	-	(+)	-	4
RD47	-	+	-	(+)	-	-	+	-	-	-	5
RD49	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	6
RD79	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	3
RD85	-	+	-	-	-	+	-	(+)	-	-	7
RD87	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	3
PSL2	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	6
PSL80	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	8
Jek Chuey	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	3
Gahb Khiaw	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	3
Jek Chuey	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	3
Gahb Maong	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	8

Note: + refer to present allele; - refer to absent allele.

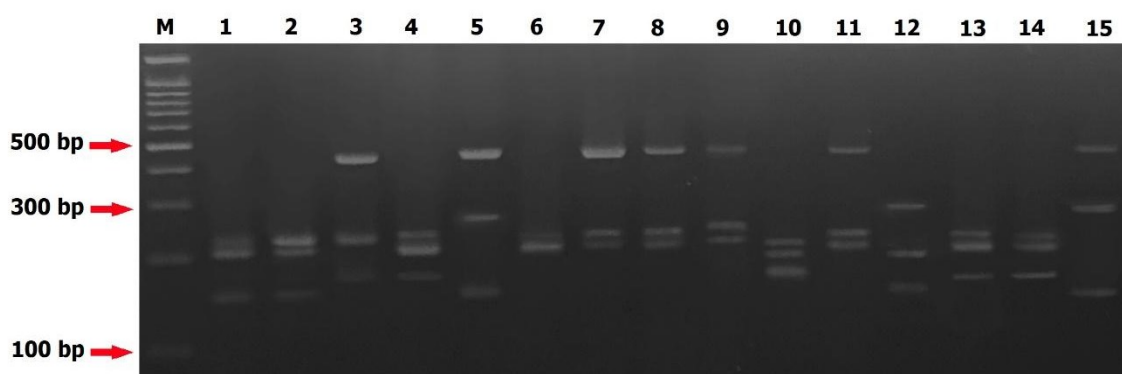
สำหรับไพรเมอร์ในกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มของไพรเมอร์ที่ต้องใช้ร่วมกันจึงจะมีประสิทธิภาพในการ จำแนกพันธุ์ข้าวต่าง ๆ ออกจากกันได้ แสดงใน Table 3

การใช้ไพรเมอร์ RM 336 ร่วมกับ RM 337 ที่สามารถแยกพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ออกจากข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์อื่น ๆ ได้ แต่ไม่สามารถแยกพันธุ์ข้าว กข 43 ได้เนื่องจากรูปแบบของแถบดีเอ็นเอของข้าว กข 43 โดยใช้ไพรเมอร์ RM 336 และ RM 337 ให้ขนาดอัลลีล 148 และ 450 คู่เบส ตามลำดับ ซึ่งตรงกับข้าวพันธุ์หอมพวง

ดังนั้นจึงได้เพิ่มไพรเมอร์ RM 474 อีกหนึ่งคู่ ใช้ร่วมกันหรือทำ Multiplex PCR ของทั้ง 3 ไพรเมอร์ร่วมกัน มีผลทำให้ Multiplex banding pattern ของพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข 15 มีแถบดีเอ็นเอขนาด 148 209 และ 222 คู่เบส (pattern 1) ปทุมธานี 1 มีแถบดีเอ็นเอขนาด 170 450 และ 222 คู่เบส (pattern 2) กข 41 มีแถบดีเอ็นเอขนาด 170 209 และ 222 คู่เบส (pattern 3) กข 43 มีแถบดีเอ็นเอขนาด 148 450 และ 260 คู่เบส (pattern 4) และอื่น ๆ แตกต่างกันสามารถใช้ในการตรวจสอบจำแนกพันธุ์ได้ แสดงใน Figure 1 และ Table 3

Table 3 Discrimination of rice varieties using combination of primers RM 336, RM 337 and RM 474 to generate multiplex banding pattern of specific varieties.

Variety	Primer/allele sizes(bp)										Multiplex banding Pattern
	RM336			RM337			RM474				
	148	170	211	172	209	450	222	235	260	272	
KDML105	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	1
RD15	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	1
PTT 1	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	2
RD41	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	3
RD43	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	4
RD47	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	5
RD49	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	6
RD79	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	6
RD85	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	7
RD87	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	8
PSL2	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	6
PSL80	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	9
Jek Chuey	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	3
Gahb Khiaw											
Jek Chuey	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	3
Gahb Maong											
Hompong	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	10

**Figure 1** Banding pattern of multiplex PCR for discrimination of 15 rice varieties using primer RM 336, RM 337 and RM 474, separated on 3% agarose gel

M = ExcelBand 100 bp DNA Ladder; Lane 1: KDML105 Lane 2: RD15 Lane 3: PTT1 Lane 4: RD41 Lane 5: RD43 Lane 6: RD47 Lane 7: RD49 Lane 8: RD79 Lane 9: RD85 Lane 10: RD87

Lane 11: PSL2 Lane 12: PSL80 Lane 13: Jek Chuey Gahb Khiaw Lane 14: Jek Chuey Gahb Maong Lane 15: Hompong 11.

อย่างไรก็ตาม Apanich & Urairong (2004) ได้รายงานการคัดเลือกไพรเมอร์เพื่อตรวจสอบพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ปนในข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าไพรเมอร์ SSR ที่ให้ความแตกต่างของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ดังกล่าวคือ RM17 RM157 RM168 RM202 RM213 และ RM247 ต่อมา Chamarerk et al. (2016) ได้รายงานเครื่องหมายโมเลกุล SSR ที่สามารถจำแนกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 ด้วยไพรเมอร์ RM21, RM20A, RM20B, RM209, RM3, GT11, RM232 และ RM235 Chamarerk et al. (2011) ได้ทำการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของตัวอย่างข้าวหอมมะลิไทยจากตลาดค้าปลีกและค้าส่งในสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยใช้ไพรเมอร์ 4 คู่ คือ RM149, RM3, QT11 และ BADHX7-8 นอกจากนั้น Vejchasarn et al. (2019) ได้ค้นพบ สนิปส์ (SNP) 3 ตำแหน่ง ที่มีความจำเพาะสามารถใช้จำแนกข้าวหอมมะลิไทย (ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 15) กับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 สุพรรณบุรี 1 ชัยนาท 1 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี พิษณุโลก 2 และ พิษณุโลก 3 ออกจากกันได้ แต่เนื่องจากการมีการข้าวได้มีการรับรองข้าวพันธุ์ใหม่ทุก 3-4 ปี ทำให้ต้องมีการคัดเลือกหาไพรเมอร์ที่มีประสิทธิภาพครอบคลุมพันธุ์ใหม่เพิ่มเติม

ผลของการสกัดดีเอ็นเอข้าวสารอย่างรวดเร็วโดยวิธีละลายในด่าง (Alkaline lysis)

การสกัดดีเอ็นเอของข้าวพันธุ์เดียวกันและต่างพันธุ์กันจำนวน 2 เมล็ด ในหลอดเดียวกัน พบว่าต้องใช้เวลาช่วงแรก 30 นาที เพื่อให้ NaOH ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ สลายแป้งข้าวอย่างสมบูรณ์ ทั้ง 2 เมล็ด ทำให้ได้ปริมาณดีเอ็นเอแต่ละตัวอย่างไม่ต่างกันมาก จากนั้นเติม TE buffer pH 2 ปริมาณเท่ากับ NaOH ที่เติมลงไปเพื่อเป็นการปรับ pH ของสารละลายดีเอ็นเอ หลังจากผสมให้เข้ากันแล้วจะพบว่าสารละลายนี้มีลักษณะขุ่น นืด สีขุ่น เมื่อนำไปปั่นเหวี่ยงจะได้ส่วนใสด้านบนซึ่งเป็นส่วนที่นำไปหาปริมาณสารละลายดีเอ็นเอที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา PCR ด้วยไพรเมอร์ RM 213 ปฏิกิริยา PCR ทั้งหมด 10 ไมโครลิตร พบว่าดีเอ็นเอที่สกัดปริมาณตั้งแต่ 0.4-1.8 ไมโครลิตร ให้แถบของดีเอ็นเอที่เป็นผลผลิต PCR ชัดเจน ส่วนดีเอ็นเอที่ 0.2 และ 2 ไมโครลิตร ให้แถบของผลผลิต PCR จาง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลาย 0.2 ไมโครลิตร อาจมีปริมาณดีเอ็นเอน้อยไป ไม่เพียงพอสำหรับการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอโดย PCR ส่วนการใช้ ดีเอ็นเอตั้งแต่ 2 ไมโครลิตร อาจมีสารยับยั้งปฏิกิริยา PCR มาก จึงให้แถบของผลผลิต PCR จาง โดยสรุป ดีเอ็นเอที่สกัดได้ของพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 และ กข 43 ให้ผลสอดคล้องในทางเดียวกัน

สำหรับหลอดที่มีข้าว 2 เมล็ดที่ต่างพันธุ์กัน เมื่อผ่านการสกัดดีเอ็นเอ อย่างรวดเร็วแล้วนำไปทำปฏิกิริยา PCR ด้วยไพรเมอร์ที่คัดเลือกไว้ 5 คู่ พบว่าสามารถตรวจดีเอ็นเอของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ โดยให้แถบที่แตกต่างกันได้

ข้อดีของการสกัดดีเอ็นเอข้าวสารโดยวิธีละลายใน NaOH คือ มีขั้นตอนที่ง่ายเพียง 2-3 ขั้นตอน ใช้หลอดเดียวโดยไม่ต้องเปลี่ยนหลอด ไม่มีสารอันตราย รวมถึงมีของเสีย (waste) จากการสกัดน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีสกัดแบบ CTAB (Tamari et al., 2013) ซึ่งมีขั้นตอนการสกัด 10-12 ขั้นตอน ต้องเปลี่ยนหลอดหลายครั้ง มีการใช้สารที่เป็นอันตรายได้แก่ Chloroform และของเสียจากการสกัดมีมาก ใช้เวลาสกัดนานและต้นทุนต่อหน่วยแพงกว่าด้วย แต่คุณภาพของดีเอ็นเอที่สกัดโดยวิธี CTAB มีความบริสุทธิ์ดีกว่าดีเอ็นเอข้าวสารที่สกัดโดยวิธีละลายใน NaOH มาก นอกจากนั้นพบว่า การสกัดดีเอ็นเอครั้งละ 2 เมล็ดต่อหลอดทำให้สามารถลดปริมาณงานในขั้นตอนต่อ ๆ ไปได้ 50% โดยที่ทดสอบความถูกต้องแล้วยังคงเดิม Cobelli et al. (2016) ได้เปรียบเทียบวิธีสกัดดีเอ็นเอจากข้าวสารเมล็ดเดียว 3 วิธี คือ 1) Proteinase K และ 2X CTAB 2) การสกัดดีเอ็นเอด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ ชนิดเคลื่อนย้ายได้ (Maxwell 16, USA) และ 3) การสกัดดีเอ็นเอโดยใช้เครื่องมืออัตโนมัติ (Xiril 100, Switzerland) พบว่าการสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธีที่ใช้เครื่องมืออัตโนมัติ นั้นจะสะดวกและรวดเร็วมากกว่า แต่มีค่าใช้จ่ายสูง

ขนาดตัวอย่าง (Sample size) ที่มีผลต่อความเหมาะสมในการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของพันธุ์ข้าว

การสุ่มตัวอย่างข้าว 2 กรัม (100 ± 2 เมล็ด) ที่ระดับการปน 8% จำนวน 100 ครั้ง พบว่าในการทดสอบ one sample t-test ค่า p-value มีค่า 0.036 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยเมล็ดปนจากการสุ่มได้ 8.59 แตกต่างจาก

จำนวนที่ปนลงไปจริงคือ 8% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับการปน 20% พบว่า p-value มีค่า 0.326 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยจากการสุ่มเมล็ดปนได้ 19.61 กับค่าที่ปนลงไปจริง 20% ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับการปน 40 และ 50% สำหรับผลการสุ่มตัวอย่าง 4 กรัม (200 ± 2 เมล็ด) จำนวน 100 ครั้ง พบว่าที่การปน 8 และ 20% มีค่า p-value 0.018 และ 0.000 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยเมล็ดปนที่นับได้ 16.81 (8.40%) และ 41.67 (20.83%) แตกต่างจากค่าที่ปนจริงที่ 8 และ 20% ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่การปนระดับ 30, 40 และ 50% พบว่าค่าที่ปนลงไปกับค่าที่สุ่มนับได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงใน Table 4

Table 4 The Mean, standard deviation (SD) and confidence interval (CI) of observed (counted) no. of adulterant rice with total sample sizes 100 and 200 grains.

Sample size (no.)	Expected of adulteration (%)	Observed (counted) no. ($\bar{x} \pm SD$)	Min-Max no. of adulteration	95% Confidence interval (CI)	One sample t-test	
					t-value	p-value
100	8	8.59 $\pm$ 2.77	3-16	8.04-9.13	2.12	0.036
100	20	19.61 $\pm$ 3.94	8-34	18.82-20.39	-0.98	0.326
100	30	32.77 $\pm$ 5.38	15-48	31.70-33.83	5.14	0.000
100	40	40.77 $\pm$ 4.43	30-55	39.89-41.64	1.73	0.086
100	50	49.73 $\pm$ 4.22	42-68	48.89-50.56	-0.640	0.524
200	8	16.81 $\pm$ 3.35	8-28	16.14-17.47	2.41	0.018
200	20	41.67 $\pm$ 4.46	25-53	40.78-42.55	3.74	0.000
200	30	59.97 $\pm$ 5.77	45-78	58.82-61.11	-0.052	0.959
200	40	80.21 $\pm$ 5.21	66-95	79.17-81.24	0.403	0.688
200	50	98.99 $\pm$ 6.97	72-114	97.60-100.37	-1.447	0.151

ผลจากการทดลองนี้สรุปได้ว่า กรณีที่มีข้าวปนจำนวนน้อย ๆ โอกาสที่ผลการสุ่มจะได้ค่าที่เบี่ยงเบนจากความเป็นจริงนั้นค่อนข้างมาก และการสุ่มจะได้ค่าที่ถูกต้องกับที่มีการปนจริงเมื่อมีระดับการปนที่สูง รวมถึงผลการสุ่มตัวอย่างข้าว 100 และ 200 เมล็ด ข้างต้น สามารถตรวจพบเมล็ดปนได้ผลสอดคล้องกัน ฉะนั้นขนาดตัวอย่างสำหรับสุ่มตรวจข้าวอย่างน้อยควรสุ่ม 100 เมล็ด ในทางปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ดีเอ็นเอต่อตัวอย่างมีราคาค่อนข้างสูง ตลอดจนใช้เวลาและแรงงานมาก ดังนั้นการสุ่มตรวจเมล็ดข้าวจำนวน 100 เมล็ด ผลที่ได้สามารถยอมรับได้ สอดคล้องกับข้อมูลของ International Seed Testing Association (1996) และ Miles (1963) สรุปว่าตามมาตรฐานการทดสอบความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ (Viability Test) ต้องมีขนาดของตัวอย่าง (sample size) 400 เมล็ด จึงจะมีความแม่นยำ ส่วนแนวปฏิบัติสำหรับการตรวจสอบเมล็ดพันธุ์โดยการแยกดีเอ็นเอหรือโปรตีนด้วยกระแสไฟฟ้า (electrophoresis) แนะนำให้ใช้ขนาดของตัวอย่าง 100 เมล็ด เนื่องจากวิธีการนี้มีต้นทุนสูง

สรุปผลการศึกษา

จากงานทดลองนี้สามารถคัดเลือกไพรเมอร์ชนิด SSR ที่เหมาะสมสำหรับใช้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของพันธุ์ข้าวได้ 5 คู่ คือ RM312, RM336, RM337, RM474, และ BV210145 โดยที่ไพรเมอร์ RM213, BV210145 และ RM474 เป็นไพรเมอร์จำเพาะที่ให้แอลลีลเอกลักษณ์สำหรับใช้ตรวจข้าวขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 และ กข 43 ตามลำดับ ส่วนไพรเมอร์ RM336, RM337 และ RM474 เป็นไพรเมอร์ที่ต้องใช้ร่วมกันจึงจะให้รูปแบบของแถบ DNA ของแต่ละพันธุ์ต่างกันสามารถใช้จำแนกพันธุ์ข้าวได้ นอกจากนั้นยังได้เทคนิคการสกัด DNA จากข้าวสารอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะเทคนิคการสกัดดีเอ็นเอของข้าวสารพร้อมกัน 2 เมล็ดในหลอดเดียวกัน ทำให้ประหยัดงบประมาณในการตรวจสอบจนได้ผลการตรวจเร็วขึ้น และท้ายสุดได้มีการศึกษาวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่าง (sample size) ที่เหมาะสมในการตรวจวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของพันธุ์ข้าวโดยใช้ขนาดตัวอย่าง 100 เมล็ด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัทข้าว ซี.พี จำกัด (สาขาที่ 00001) ที่สนับสนุนงบประมาณของงานวิจัยเรื่องนี้ ขอขอบคุณ รศ.ดร. พรรณิภา ศิวะพิรุฬห์เทพ ผู้เชี่ยวชาญด้านการวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลของผลการทดลองด้วยสถิติแบบต่างๆ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และคุณพุดนา รุ่งระวี ที่ปรึกษาด้านสถิติทางการเกษตรกรรมวิชาการเกษตร ที่ให้คำปรึกษาด้านการใช้สถิติสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลและตรวจแก้ไขงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Apanich, N. (2004). Seed testing. **Department of Agriculture, Bangkok (Thailand)**. 6-17.
- Apanich, N., & Uairong, H. (2004). Improving verification method for Thai Hom Mali Rice and Pathum Thani rice variety. **Department of Agriculture, Bangkok (Thailand)**. 1-13.
- Chamarerk, V., Cobelli, P., Jairin, J., Mekwattanakarn, P., Leelakud, P., & Wongnongwa, J. (2016). Development of molecular markers for purity testing in Thai Jasmine rice. **Advances in Ecological and Environmental Research**. 35-44.
- Chamarerk, V., Mekwattanakarn, P., Cobelli, P., Leelakud, P., & Kawichai, R. (2011). Purity test of Thai Hom Mali Rice samples from retail and wholesale markets in People Republic of China using DNA markers. **Thai Rice Research Journal**. 5(1), 50-58.
- Cobelli, P., Chamarerk, V., & Mekwattanakarn, P. (2007). Rice varietal purity test by using molecular marker. **Thai Rice Research Journal**. 1(1), 44-51.
- Cobelli, P., Chamarerk, V., Mekwattanakarn, P., Leelakud, P., & Wangsomboondee T. (2016). SSR Markers for varietal genetic purity testing of rice. **Thai Rice Research Journal**. 7(2), 77-91.
- Doyle, J. J., & Doyle, J. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. **Phytochemical Bulletin**. 19(1), 11-15.
- International Seed Testing Association. (1996). **International Rules for Seed Testing**. Zurich: International Seed Testing Association.
- Kongseree, N. (1999). Adulteration of high amylose rice in Hom Mali rice. In **Rice and temperate cereal crops annual conference 1999**. (pp.47). Suphan Buri: Rice Research Institute.
- Ma, Z., Wang, Y., Wei, W., & Ru, Z. (2019). A new harmless, high-throughput endosperm-based DNA extraction method for wheat. **Ciência Rural, Santa Maria**. 49(9), 1-10.
- Miles, S. R. (1963). Handbook of tolerances and of measures of precision for seed testing. In **Proceedings of the International Seed Testing Association**. (pp. 130–156). Bassersdorf: International Seed Testing Association (ISTA).
- Ngorian, S., Uairong, H., A-phanit, N., & Pitaktansakul, R. (2007). DNA fingerprint of new Thai rice varieties. **Department of Agriculture, Bangkok (Thailand)**. 524.

- Saengkiew, J., & Srikaew, K. (2012). Test kit for determination of contaminated Hom Mali rice. In **Extended abstracts of the 2nd national rice research conference**. (pp. 694). Bangkok: National Science and Technology Development Agency.
- Tamari, F., Hinkley, C. S., & Ramprasad, N. (2013). A companion of DNA extractor methods using *Petunia hybrids* Tissues. **Journal of Biomolecular Techniques**. 24(3), 113–118.
- Vejchasarn, P., Jairin, J., Phansenee, Y., Suthanthangjai, A. Danaisilichaichon, C., Narawatthana, S., Cobelli, P., & Chamarek, V. (2019). Application of next-generation sequencing technologies for purity testing in Thai jasmine rice. **Thai Rice Research Journal**. 10(2), 59-65.
- Verma, D., Srivastav, P., & Nadaf, A. (2018). Aromatic rice from different countries; An overview. In Verma, D. K. & Srivastav, P. P. (Eds.), **Science and Technology of Aroma, Flavor, and Fragrance in Rice**. (pp. 35-58). New York: Apple Academic Press.
- Wen-yue, C., Hai-rui, C., Jin-song, B. A. O., Xiang-sheng, Z. H. O. U., & Qing-yao, S. H. U. (2006). A simplified rice DNA extraction protocol for PCR analysis. **Rice Science**. 13(1), 67.
- Yoshihashi, T. (2000). Simple and rapid DNA extraction from milled rice and its application to Thai aromatic rice (*Oryza sativa* L.) variety, Khao Dawk Mali 105. **JIRCAS Journal**. 8, 41-47.

วันรับบทความ (Received date) : 16 มี.ค. 65
วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 22 ก.ค. 65
วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 19 ส.ค. 65

ผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae*) ในระยะตัวเต็มวัย

Effects of Cold Plasma on Mortality of Adult of Rice Weevil (*Sitophilus oryzae*)

สุภาพร มอญจันทร์¹ ทินนากรณ์ หล้าชู¹ จีรพงศ์ ศรีศักดิ์นาภาพ² และ เอกอาทิตย์ ฤทธิเดชยง^{1*}
Supaphorn Morncharn¹, Tinnakorn Lamchoo¹, Jirapong Sornsakdanuphap² and Eak-artit Ritdachyeng^{1*}

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae*) ระยะตัวเต็มวัย โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial in Completely randomized design (CRD) มี 2 ปัจจัยคือ ระยะห่างและระยะเวลาในการให้พลาสมาเย็น โดยในแต่ละ ทรีตเมนต์จะใช้แมลงจำนวน 30 ตัว ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ บันทึกผลการตายของด้วงงวงข้าวภายหลังจากได้รับพลาสมา ผลการทดลองพบว่าพลาสมาเย็นมีผลต่อการควบคุมด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย โดยส่งผลให้เกิดอัตราการตายที่มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ผลการทดลองพบว่าเมื่อด้วงงวงข้าวที่ไม่มีข้าวสารได้รับพลาสมาเย็นโดยตรงที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที และระยะห่าง 8 เซนติเมตร เป็นเวลา 120 วินาทีนั้น ทำให้เกิดการตายของด้วงงวงข้าวสูงที่สุดคือ 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่หลังจากให้พลาสมาเย็นกับด้วงงวงข้าวในข้าวสาร ที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาทีนั้น พบอัตราการตายของด้วงงวงข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 10.0 ± 3.33 , 8.89 ± 1.92 , 11.11 ± 1.92 และ 17.78 ± 5.09 เปอร์เซ็นต์ และที่ระยะห่าง 8 เซนติเมตร พบอัตราการตายของด้วงงวงข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 1.11 ± 1.92 , 5.86 ± 1.92 และ 6.67 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ภายหลังจากที่ได้รับพลาสมาเย็นเป็นเวลา 60, 90 และ 120 วินาทีตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการตายของด้วงงวงข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการให้พลาสมาเย็นเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันการตายของด้วงงวงข้าวลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างหัวเจ็ทและแมลงเพิ่มขึ้น จากการเปรียบเทียบชนิดของก๊าซที่ใช้ในการผลิตพลาสมาเย็น 2 ชนิด ได้แก่ อาร์กอน และ ฮีเลียม พบการตายภายหลังจากได้รับพลาสมาเย็นที่ผลิตจากก๊าซฮีเลียมสูงกว่าก๊าซอาร์กอน

คำสำคัญ: ด้วงงวงข้าว พลาสมาเย็น อาร์กอน ฮีเลียม การตาย

Abstract

The objective was to study the effects of cold plasma on mortality of adult of *S. oryzae*. The treatments were arranged in a factorial in completely randomized design (CRD) with 2 factors as distance between the nozzle of discharge plasma and the insects, and exposure time. For each treatment, 30 adult insects were used and 3 replicas were performed. The mortality rates were collected after exposure to the plasma. The results showed that cold plasma affected this insect in the adult stage by way of the existence of mortality in experimental groups which showed significantly higher rates ($P < 0.05$) when compared with control group. After the treatment of the cold plasma directly to the insects with rice grains at a distance of 4 cm for 30, 60, 90 and 120 second and at 8 cm distance for 120 second, the results showed the highest mortality rate with 100%. Whereas, after the treatment of cold plasma directly to insects with rice grains at a distance of 4 cm for 30, 60, 90 and 120 second, the mortality found 10.00 ± 3.33 , 8.89 ± 1.92 , 11.11 ± 1.92 and $17.78 \pm 5.09\%$. At a distance of 8 cm, the mortality was found at 1.11 ± 1.92 , 5.86 ± 1.92 and $6.67 \pm 0.00\%$ after exposed to

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แพร่-เฉลิมพระเกียรติ อ.ร้องกวาง จ.แพร่ 54140

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แพร่-เฉลิมพระเกียรติ อ.ร้องกวาง จ.แพร่ 54140

¹Program in Agro-industrial Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Rongkwang, Phrae 54140

²Program in Basic Science, Maejo University Phrae Campus, Rongkwang, Phrae 54140

*Corresponding author, Email: eakartit@mju.ac.th

cold plasma for 60, 90 and 120 second, respectively. Moreover, the results indicated that the mortality rates increased when exposed to longer time. However, mortality rates decreased when the distance between the nozzle of discharge plasma and the insects was no longer. Regarding the comparison of argon/helium-generated cold plasma, the higher mortality rate after the exposure to the plasma was observed in helium plasma than argon plasma.

Keywords: rice weevil, cold plasma, argon, helium, mortality

คำนำ

ข้าวเป็นธัญพืชที่สำคัญมากสำหรับคนไทย โดยเฉพาะสำหรับคนไทยที่เกษตรกรรมปลูกเป็นอาชีพหลัก มีการบริโภคเป็นอาหารหลักและมีการส่งออกเป็นจำนวนมาก ซึ่งหลังจากที่เกษตรกรทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเสร็จแล้ว เกษตรกรจะมีการนำผลผลิตไปเก็บไว้ในโรงเก็บ ยุ้งฉางหรือโกดังก็ตาม สิ่งที่จะเกิดขึ้นเสมอในระหว่างการเก็บรักษาผลผลิต ก็คือแมลงศัตรูโรงเก็บ ได้แก่ ตัวงวงข้าว มอดข้าวเปลือก ฝีเสื้อข้าวสาร มอดแป้ง มอดพื้นเลื้อย และมอดสยาม ฯลฯ (Visarathanonth et al., 2005)

ตัวงวงข้าว (rice weevil) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sitophilus oryzae* L. จัดอยู่ในวงศ์ Curculionidae อันดับ Coleoptera เป็นแมลงศัตรูโรงเก็บที่พบมากในข้าวสารและข้าวเปลือก โดยที่ตัวเต็มวัยเพศเมียจะแทะเล็มเมล็ดข้าวให้เป็นรูและวางไข่ในเมล็ดข้าว 3-5 ฟอง ไข่จะฟักเป็นตัวอ่อนหรือตัวหนอน ใช้เวลา 3-5 วัน ตัวอ่อนจะกัดกินและลอกคราบอยู่ภายในเมล็ดข้าว ทำให้เมล็ดข้าวมีลักษณะกลวง ตัวอ่อนใช้เวลา 25-28 วัน เข้าสู่ระยะดักแด้และใช้เวลา 5-7 วัน ฟักเป็นตัวเต็มวัยออกมาจากเมล็ดข้าว ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวเหล่านั้นเกิดความเสียหายทั้งคุณภาพและปริมาณ การสูญเสียน้ำหนักของผลผลิตและไม่สามารถนำเมล็ดข้าวเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ได้อีก (Nualvatna et al., 2005) การควบคุม ป้องกัน และกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บ มีด้วยกันหลายวิธี เช่น การรักษาความสะอาดของข้าวและโรงเก็บ การใช้สารหรือวัสดุคลุมเมล็ด การตากหรือการอบลดความชื้นของข้าว เพราะถ้าหากข้าวมีความชื้นสูงจะส่งผลให้แมลงศัตรูโรงเก็บเจริญเติบโตได้ง่ายขึ้น จึงต้องทำการลดความชื้นของเมล็ดข้าวให้เหลือประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ (Division of Rice Research and Development, 2016) การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนเพื่อควบคุม และกำจัดแมลง แต่วิธีที่เป็นที่นิยม คือ การใช้สารเคมี เช่น สารฟอสฟีน และเมธิลโบรไมด์ ในการรมผลผลิต เนื่องจากสามารถจัดการแมลงศัตรูโรงเก็บได้ทีละมาก ๆ (Rajendran, 2001; Collin et al., 2005; Ukeh et al., 2012; Singh & Sharma, 2015) แต่การใช้สารเคมี มีข้อเสียหลายประการ เช่น มีฤทธิ์ตกค้าง ทำให้แมลงสร้างความต้านทานต่อสารเคมี และยังเกิดการปนเปื้อนสารเคมีในผลผลิตทางการเกษตร และสิ่งแวดล้อมด้วย

พลาสมา คือ ก๊าซที่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งเกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิสูง พลาสมาประกอบด้วยอิเล็กตรอน ไอออน และอนุภาคของก๊าซในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์หรือก็คือมีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้า ส่วนพลาสมาเย็นนั้น คือก๊าซที่ถูกแยกด้วยความต่างศักย์สูง ณ ความดันบรรยากาศจึงทำให้อุณหภูมิของพลาสมาที่ออกมาเท่ากับอุณหภูมิห้อง (Laroussi, 2002) นอกจากนี้ยังมีศักยภาพในการรักษา ปรับปรุงหรือเพิ่มคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการงอก รวมถึงกำจัดเชื้อราบางชนิดที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับผลผลิตตั้งแต่การผลิต การเก็บรักษาผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยว จนถึงการขายส่งไปจำหน่ายให้ผู้บริโภค ทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นทั้งปริมาณและคุณภาพ ลดการระบาดของเชื้อราและโรคที่มากับเชื้อราที่จะทำให้ข้าวมีคุณภาพต่ำหรือมีปัญหาจากข้อกำหนดของการส่งออก ทำให้ผลผลิตข้าวที่มีคุณภาพและส่งออกได้ตรงตามความต้องการ (Limsangouan, 2020) จนถึงปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้พลาสมาเย็นเพื่อเป็นเทคโนโลยีทางเลือกในการควบคุมแมลงศัตรูแล้วหลายชนิดได้แก่ เพลี้ยไฟดอกไม้ฝรั่ง (western flower thrips) (Donohue et al., 2006) เพลี้ยอ่อนยาสูบ (green peach aphids) (Bures et al., 2005) ฝีเสื้อกลางคืน (Indian meal moth) (Abd El-Aziz et al., 2014) และมอดแป้ง (confused flour beetle) (Sutar et al., 2021) Sayed et al. (2021) ทำการศึกษา

ประสิทธิภาพของพลาสมาต่อการตายของมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) 3 ระยะ ได้แก่ ระยะตัวอ่อนหรือตัวหนอน ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย โดยจะใช้กำลังไฟที่ 100 วัตต์ เป็นเวลา 0, 20, 60 และ 90 วินาที ใช้ก๊าซอาร์กอนและฮีเลียมในการสังเคราะห์พลาสมา จากการศึกษาทั้งหมดพบว่าก๊าซฮีเลียมให้ประสิทธิภาพดีกว่าก๊าซอาร์กอน สังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์การตายของมอดแป้ง โดยระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้พลาสมาดีที่สุดที่ 90 วินาที ให้ผลลัพธ์ที่ 71.4, 65.3 และ 36.7 เปอร์เซ็นต์ ในระยะดักแด้ ตัวอ่อนและตัวเต็มวัย ตามลำดับ งานวิจัยของ Nasr et al. (2020) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพลาสมาเย็นต่อแมลงศัตรูโรงเก็บ 3 ชนิดคือ มอดข้าวแป้งสาลิ (*Sitophilus granaries*) มอดข้าวเปลือก (*Rhizopertha dominica*) และมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) ให้ความต่างศักย์ในการสร้างพลาสมาเย็น 3 ระดับ คือ 150, 200 และ 250 โวลต์ กำหนดระยะเวลาการให้พลาสมาเย็นนาน 1-25 นาที จากการศึกษาพบว่าในระยะตัวเต็มวัยของแมลงทั้ง 3 ชนิดนี้จะถูกกำจัดโดยพลาสมาที่ความต่างศักย์ 250 โวลต์ นาน 25 นาทีทั้งหมด แต่ในระยะดักแด้ของแมลงทั้ง 3 ชนิดกลับพบว่า มีความทนต่อพลาสมามากที่สุด ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวระยะตัวเต็มวัย โดยจะศึกษาถึงปัจจัยของระยะห่าง ระยะเวลา และชนิดของก๊าซในการสร้างพลาสมาเย็นต่อการควบคุมด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย

วิธีการศึกษา

การเลี้ยงแมลง

เลี้ยงด้วงงวงข้าวเพื่อเพิ่มปริมาณ โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยจากข้าวสารในโรงเก็บข้าว สหกรณ์การเกษตร อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่ มาเพาะเลี้ยงเพิ่มจำนวนในโหลพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร โดยจะเลี้ยงด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย 400 ตัว ในข้าว 200 กรัม จำนวน 2 ถัง ทั้งไว้ประมาณ 14 วัน จากนั้นนำด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยออก นำถึงบรรจุข้าวสารที่มีไซของด้วงงวงข้าวไปวางไว้บนชั้นที่กั้นมดและแมลงชนิดอื่น ๆ ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลาประมาณ 25-30 วัน ก็จะได้ด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย รุ่นที่ 1 (F1) โดยจะใช้ด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยอายุประมาณ 7 วัน เพื่อทำการทดลองต่อไป

ลักษณะของการกำเนิดพลาสมา

สำหรับในการทดลองนี้จะใช้พลาสมาเจ็ทแบบชนิด DBD (Dielectric Barrier Discharge) สร้างนอนเทอร์มอลพลาสมาที่ระดับความดันบรรยากาศ (Non-thermal Atmospheric Pressure Plasma) โดยก๊าซตั้งต้นในการทดลองเพื่อสร้างพลาสมา คือ ก๊าซอาร์กอนหรือฮีเลียมที่อัตราการไหลประมาณ 300 Standard Cubic Centimeters per Minute (SCCM) ก๊าซตั้งต้นจะถูกไอออไนซ์กลายเป็นพลาสมาภายใต้อิทธิพลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ถูกสร้างโดยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงประมาณ 1 kV ขั้วไฟฟ้ากำลัง (powered electrode) ซึ่งทำจากโลหะสแตนเลสจะถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับตามแผนผังติดตั้งการทดลองดังแสดงใน figure 1 (a) สำหรับระบบพลาสมาเจ็ท ในขณะหนึ่งที่ประจุไฟฟ้าสะสมตัวจนมากพอที่ปลายของขั้วไฟฟ้าโลหะ จะทำให้เกิดบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าแรงสูงซึ่งเกิดขึ้นมาจากกลุ่มของประจุไฟฟ้าเอง ด้วยสภาพเช่นนี้จึงสามารถทำให้เกิดพลาสมาขึ้นได้และต่อมาพลาสมาจะถูกส่งถ่ายพลังงานออกไปในรูปแบบคลื่นพลาสมาโดยคลื่นพลาสมานี้จะเคลื่อนที่ไปตามช่องทางการไหลของแก๊สตั้งต้นทำให้เห็นเป็นลำแสงของพลาสมา

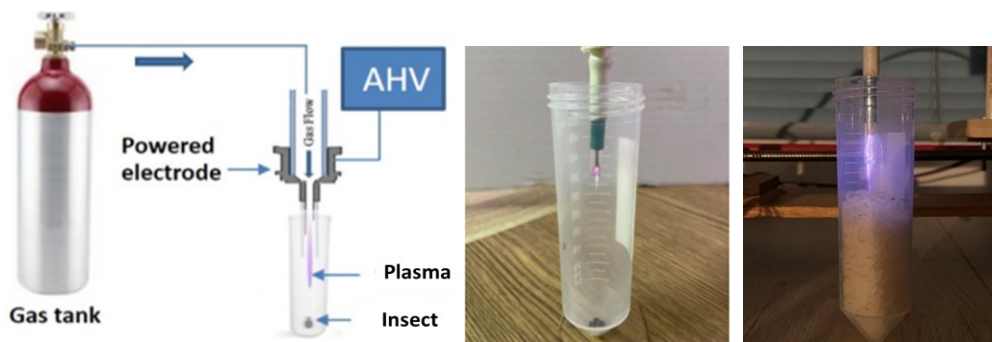


Figure 1 Diagram shown atmospheric pressure cold plasma device (a) exposes directly to insects in container without rice (b) and with rice (c).

การทดสอบผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวที่ไม่มีข้าวสาร (without rice)

นำแมลงในระยะตัวเต็มวัยที่อายุประมาณ 7 วัน มาใช้สำหรับการทดลอง โดยในการทดสอบผลของพลาสมาเย็นต่อด้วงงวงข้าวนี้วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) มีสองปัจจัย คือ ระยะระหว่างปลายหัวฉีดพลาสมาเย็นที่ปล่อยออกมาสัมผัสกับแมลง (3 ระดับได้แก่ 4, 8 และ 12 เซนติเมตร) และระยะเวลาที่แมลงได้รับพลาสมาเย็น (4 ระดับได้แก่ 30, 60, 90 และ 120 วินาที) โดยจะนำแมลงใส่ในหลอดพลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร ในแต่ละทรีตเมนต์จะใช้แมลงจำนวน 30 ตัว ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ แล้วนำไปทดสอบกับพลาสมาเย็น โดยก๊าซตั้งต้นในการทดลองเพื่อสร้างพลาสมา คือ ก๊าซอาร์กอน ที่ระยะห่าง และระยะเวลาดังกล่าว (Figure 1 (b)) จากนั้นนำแมลงเลี้ยงในกล่องพลาสติก แล้วบันทึกจำนวนแมลงที่ตายเมื่อผ่านไป 0, 24 และ 48 ชั่วโมงภายหลังจากที่ได้รับพลาสมาเย็น นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการตายเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งเป็นแมลงระยะตัวเต็มวัยที่ไม่ได้รับพลาสมาเย็น

การทดสอบผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวในข้าวสาร (with rice)

นำด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยที่อายุประมาณ 7 วัน มาใช้สำหรับการทดลอง โดยในการทดสอบผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยนั้น มีการควบคุม 2 ปัจจัย คือ ระยะระหว่างปลายหัวฉีดพลาสมาเย็นที่ปล่อยออกมาสัมผัสกับแมลงและข้าวสาร (3 ระดับได้แก่ 4, 8 และ 12 เซนติเมตร) และระยะเวลาที่แมลงได้รับพลาสมาเย็น (4 ระดับได้แก่ 30, 60, 90 และ 120 วินาที) ตามการทดลองข้างต้น โดยจะนำแมลงใส่ในหลอดเซนตริฟิวส์ขนาด 50 มิลลิลิตร ในแต่ละทรีตเมนต์จะใช้ด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยจำนวน 30 ตัว ที่เติมข้าวสาร 20 กรัม ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ แล้วนำไปทดสอบกับพลาสมาเย็นโดยก๊าซตั้งต้นในการทดลองเพื่อสร้างพลาสมา คือ ก๊าซอาร์กอน ที่ระยะห่าง และระยะเวลาดังกล่าว (Figure 1 (c)) จากนั้นทำการบันทึกจำนวนด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยที่ตายเมื่อผ่านไป 0, 24 และ 48 ชั่วโมงภายหลังจากการให้พลาสมาเย็น นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการตายเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งเป็นแมลงระยะตัวเต็มวัยที่ไม่ได้รับพลาสมาเย็น

การทดสอบผลของชนิดของก๊าซที่ใช้ในการสร้างพลาสมาเย็นต่อแมลง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองข้างต้นแต่ใช้ก๊าซในการสร้างพลาสมาเย็น 2 ชนิด ได้แก่ ก๊าซอาร์กอน และก๊าซฮีเลียมต่อการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยที่ไม่มีข้าวสาร และในข้าวสาร ที่ระยะห่าง และเวลาที่เหมาะสม นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการตาย เปรียบเทียบกับชุดควบคุมเมื่อผ่านไป 0, 24 และ 48 ชั่วโมงภายหลังจากที่ได้รับพลาสมาเย็น

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ F-test และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการตายของแมลงในแต่ละทรีตเมนต์โดยใช้ The Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 28

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวที่ไม่มีข้าวสาร

จากการทดสอบผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย พบว่าพลาสมาเย็นมีผลต่อการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย โดยส่งผลให้เกิดอัตราการตายที่มากกว่าชุดควบคุมในทุกพรีตเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเมื่อให้พลาสมาเย็นกับแมลงที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร ที่เวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที พบว่าภายหลังจากการทดลอง 24 ชั่วโมง ให้ค่าอัตราการตายของแมลงเท่ากับ 100.00 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ ทุกช่วงเวลา เมื่อให้พลาสมาเย็นกับแมลงที่ระยะห่าง 8 เซนติเมตร ที่เวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที พบว่าภายหลังจากการทดลอง 24 ชั่วโมง ให้ค่าอัตราการตายของแมลงเท่ากับ 83.33 ± 0.00 , 96.67 ± 0.00 , 97.78 ± 1.92 และ 100.00 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อให้พลาสมาเย็นกับแมลงที่ระยะห่าง 12 เซนติเมตร ที่เวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที พบว่าภายหลังจากการทดลอง 24 ชั่วโมง ให้ค่าอัตราการตายของแมลงเท่ากับ 23.33 ± 0.00 , 32.22 ± 0.19 , 33.33 ± 0.00 และ 40.00 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) ทั้งนี้จากการเก็บผลการทดลองที่ช่วงเวลา 24 และ 48 ชั่วโมงภายหลังการให้พลาสมาเย็นนั้นให้ผลอัตราการตายที่ไม่แตกต่างกัน

Table 1 Direct effect of argon-generated cold plasma on morality of adult *Sitophilus oryzae* without rice.

Distance (cm)	Mortality rate (%) $\pm$ S.D. after indicated exposure time (sec)			
	30	60	90	120
4	100.00 ± 0.00 g	100.00 ± 0.00 g	100.00 ± 0.00 g	100.00 ± 0.00 g
8	83.33 ± 0.00 e	96.67 ± 0.00 f	97.78 ± 1.92 fg	100.00 ± 0.00 g
12	23.33 ± 0.00 b	32.22 ± 0.19 c	33.33 ± 0.00 c	40.00 ± 0.00 d
Control	0 ± 0.00 a	0 ± 0.00 a	0 ± 0.00 a	0 ± 0.00 a

Means followed the same letter are not significantly different at $P > 0.05$ by LSD.

ผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวในข้าวสาร

จากการทดลองพบว่า พลาสมาเย็นมีผลต่อการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย โดยส่งผลให้เกิดการตายที่มากกว่าชุดควบคุมในบางพรีตเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเมื่อให้พลาสมาเย็นกับด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย ที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร เป็นระยะเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที พบว่า ภายหลังจากการให้พลาสมาเย็น มีอัตราการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย 10.0 ± 3.33 , 8.89 ± 1.92 , 11.11 ± 1.92 และ 17.78 ± 5.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อให้พลาสมาเย็นกับด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยที่ระยะห่าง 8 เซนติเมตร เป็นระยะเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที พบว่า ภายหลังจากการให้พลาสมาเย็น เกิดอัตราการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย 0 ± 0.00 , 1.11 ± 1.92 , 5.86 ± 1.92 และ 6.67 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อให้พลาสมาเย็นกับด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยที่ระยะห่าง 12 เซนติเมตร เป็นระยะเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที พบว่าภายหลังจากการให้พลาสมาเย็น ให้อัตราการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยเท่ากับ 0 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ทั้งหมด (Table 2) ทั้งนี้จากการเก็บผลการทดลองที่ช่วงเวลา 24 และ 48 ชั่วโมงภายหลังการให้พลาสมาเย็นนั้นให้ผลอัตราการตายที่ไม่แตกต่างกัน

Table 2 Direct Effect of argon-generated cold plasma on morality of adult *Sitophilus oryzae* with rice.

Distance (cm)	Mortality rate (%) $\pm$ S.D. after indicated exposure time (sec)			
	30	60	90	120
4	10.0 ± 3.33 c	8.89 ± 1.92 c	11.11 ± 1.92 c	17.78 ± 5.09 d

8	0±0.00 a	1.11±1.92 ab	5.86±1.92 abc	6.67±0.00 bc
12	0±0.00 a	0±0.00 a	0±0.00 a	0±0.00 a
Control	0±0.00 a	0±0.00 a	0±0.00 a	0±0.00 a

Means followed the same letter are not significantly different at $P > 0.05$ by LSD.

จากการทดลองผลของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัย พบว่าพลาสมาเย็นส่งผลให้เกิดอัตราการตายของด้วงงวงข้าวในบางทรีตเมนต์ที่แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับ Nasr et al. (2020) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพลาสมาเย็นต่อแมลงศัตรูโรงเก็บ 3 ชนิด คือ มอดข้าวแป้งสาลิ (*Sitophilus granaries*), มอดข้าวเปลือก (*Rhizopertha dominica*) และมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) พบว่าก่อให้เกิดอัตราการตายของแมลงทั้ง 3 ชนิดในระยะตัวเต็มวัยเช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยของระยะเวลาการให้พลาสมาเย็นต่อด้วงงวงข้าวพบว่าระยะเวลามีผลต่อการตาย โดยเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการให้พลาสมาเย็นพบอัตราการตายของด้วงงวงข้าวเพิ่มขึ้น (Figure 2 (a)) ซึ่งสอดคล้องกับ Sayed et al. (2021) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพลาสมาต่อมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) พบว่าพลาสมาส่งผลต่อการตายของมอดแป้งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้พลาสมาเช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อแมลงได้รับผลกระทบจากอนุโมลอิสระจากพลาสมาเย็นเป็นระยะเวลานานขึ้น จะส่งผลต่อการตายที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อศึกษาระยะห่างระหว่างปลายหัวเจ็ทกับด้วงงวงข้าวพบว่ามอดข้าวแป้งสาลิ (*Sitophilus granaries*) โดยอัตราการตายของด้วงงวงข้าวจะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างหัวเจ็ทกับด้วงงวงข้าวเพิ่มขึ้น (Figure 2 (b)) แสดงให้เห็นว่าการให้พลาสมาเย็นที่ระยะใกล้กับแมลงจะส่งผลให้แมลงได้รับผลกระทบโดยตรงจากอนุโมลอิสระที่เกิดขึ้นได้ดีกว่า ทั้งนี้เมื่อเลี้ยงแมลงในข้าวแล้วจึงด้วยพลาสมาเย็น จะส่งผลให้เกิดอัตราการตายที่ลดลงอย่างมากในทุกทรีตเมนต์เมื่อเทียบกับการระดมยิงแมลงที่ไม่มีข้าวด้วยพลาสมาเย็นโดยตรงซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าการมีข้าวปะปนอยู่กับแมลงนั้นจะทำให้เกิดการบดบังพลาสมาเย็นต่อแมลงตลอดจนพบพฤติกรรมการหลบหนีของแมลงในข้าวเมื่อเลี้ยงด้วยพลาสมาเย็น การศึกษาครั้งนี้ถือว่าเป็นการศึกษาในขั้นต้นในระดับห้องปฏิบัติการเท่านั้น และนับว่าเป็นการศึกษาลงของพลาสมาเย็นต่อการตายของด้วงงวงข้าวเป็นครั้งแรกในประเทศไทยและโลก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพลาสมาเย็นต่อการกำจัดด้วงงวงข้าว นั้น จำเป็นที่จะต้องศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัย และสภาวะที่เหมาะสมด้านอื่น ๆ เช่น จำนวนหัวเจ็ทของพลาสมา อัตราการไหลของก๊าซ เวลาที่ใช้ในการให้พลาสมา และรูปแบบของภาชนะที่ใช้บรรจุแมลงสำหรับการทดลอง เป็นต้น สภาวะที่เหมาะสมเหล่านี้จะถูกนำไปเป็นข้อมูลในการออกแบบเพื่อสร้างเครื่องยิงพลาสมาเย็นต้นแบบในการกำจัดด้วงงวงข้าวต่อไป

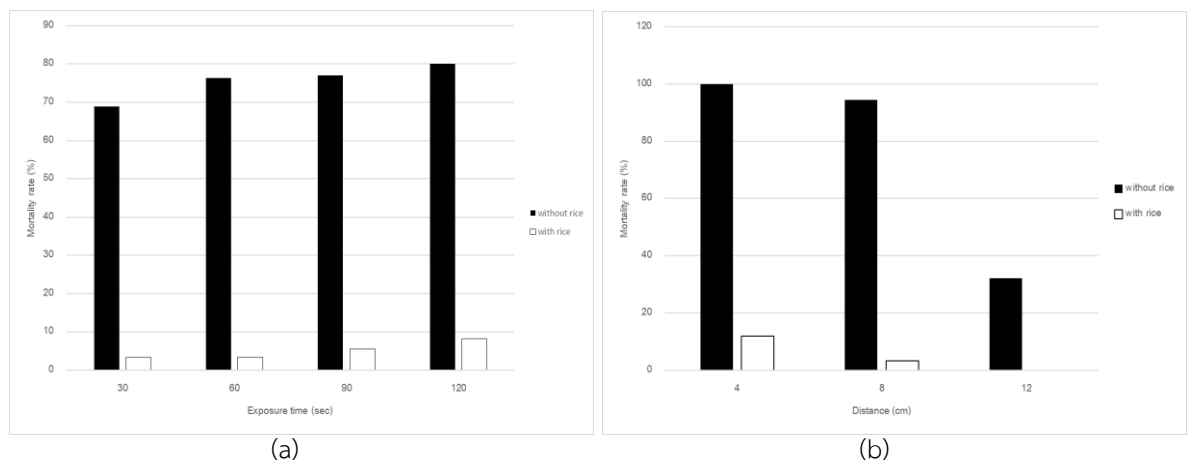


Figure 2 Relationship between exposure time (a)/distance (b) and mortality rate after insects exposed to cold plasma.

ผลของชนิดของก๊าซที่ใช้ในการสร้างพลาสมาเย็นต่อแมลง

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของก๊าซที่ใช้ในการผลิตพลาสมาเย็น 2 ชนิด ได้แก่ อาร์กอนและฮีเลียม ในการควบคุมด้วงงวงข้าวที่ระยะห่าง 8 เซนติเมตร นาน 30 วินาที พบว่า ภายหลังจากการให้พลาสมาเย็นโดยตรงให้ค่าอัตราการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยเฉลี่ยเท่ากับ 76.67 ± 3.33 และ 82.22 ± 1.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการทดลองที่มีการเติมข้าวลงไปผสมกับแมลง แล้วระดมยิงด้วยพลาสมา ที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร นาน 120 วินาที พบว่าอัตราการตายของด้วงงวงข้าวในระยะตัวเต็มวัยเฉลี่ยเท่ากับ 11.11 ± 1.92 และ 15.56 ± 1.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 3) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sayed et al. (2021) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพลาสมาต่อการตายของมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) โดยมีการใช้ก๊าซอาร์กอนและฮีเลียมในการสังเคราะห์พลาสมา จากการศึกษาทั้งหมดพบว่าก๊าซฮีเลียมให้ประสิทธิภาพดีกว่าก๊าซอาร์กอนเช่นกัน Jaworek et al. (1996) ได้แสดงให้เห็นว่าพลาสมาที่ผลิตได้จากฮีเลียมสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น พอลิเมอร์ และสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน กลไกดังกล่าวนี้อาจจะเกิดขึ้นได้ที่บริเวณส่วนห่อหุ้มลำตัวของแมลง โดยมีรายงานพบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นบนสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ชั้นไขมันที่เป็นองค์ประกอบของชั้นคิวติเคิลที่ห่อหุ้มร่างกายแมลง อาจทำให้เกิดภาวะการสูญเสียน้ำและทำให้เกิดการตายในแมลงได้ (Chapman, 1998) นอกจากนี้ยังพบว่าพลาสมามีผลต่อระบบประสาท และกล้ามเนื้อประสาทของแมลง โดยจะเกิดการกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองของอวัยวะสองระบบนี้อย่างต่อเนื่อง (hyper excitability) ส่งผลให้เกิดอัตราเมตาบอลิซึม และการสูญเสียน้ำในแมลงเพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณไฮโดรคาร์บอนในชั้นคิวติเคิล (Donohue et al., 2006) พลาสมาเย็นยังก่อให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative damage) ในระยะตัวหนอนของผีเสื้อกลางคืนอินเดีย (Abd El-Aziz et al., 2014) อย่างไรก็ตามชนิดของก๊าซที่ใช้ในการสร้างพลาสมาเย็นนั้น ส่งผลต่อปริมาณของอนุมูลอิสระ (free radicals) ในรูปสารออกซิไดซ์แรงสูง (reactive oxygen species) ที่ถูกปลดปล่อยออกมาแตกต่างกัน จึงส่งผลให้เกิดการตายของแมลงที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดและระยะการเจริญของแมลงที่นำมาทดสอบด้วย (Kwon et al., 2019; Sayed et al., 2021)

Table 3 Mortality percentage of *Sitophilus oryzae* caused by argon/helium-generated cold plasma.

Gas type	Mortality rate (%) (without rice)	Mortality rate (%) (with rice)
Argon	76.67 ± 3.33 b	11.11 ± 1.92 b
Helium	82.22 ± 1.92 b	15.56 ± 1.92 c
Control	0 ± 0.00 a	0 ± 0.00 a

Means followed the same letter are not significantly different at $P > 0.05$ by LSD.

สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อด้วงงวงข้าวที่ไม่มีข้าวสารได้รับพลาสมาเย็นโดยตรงที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาที และระยะห่าง 8 เซนติเมตร เป็นเวลา 120 วินาทีนั้น ทำให้เกิดการตายของด้วงงวงข้าวสูงที่สุด คือทำให้เกิดการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เมื่อปล่อยด้วงงวงข้าวในข้าวสาร แล้วให้พลาสมาเย็นที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 วินาทีนั้น ทำให้ด้วงงวงข้าวเกิดการตายที่สูงที่สุดเช่นกัน แต่ให้ค่าอัตราการตายของแมลงที่น้อยกว่า คือ 10.0, 8.89, 11.11 และ 17.78 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการตายของด้วงงวงข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการให้พลาสมาเย็นเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันการตายของด้วงงวงข้าวลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างหัวเจ็ทและแมลงเพิ่มขึ้น จากการเปรียบเทียบชนิดของก๊าซที่ใช้ในการผลิตพลาสมาเย็น 2 ชนิด ได้แก่ อาร์กอน และฮีเลียม พบการตายภายหลังจากได้รับพลาสมาเย็นที่ผลิตจากก๊าซฮีเลียมสูงกว่าก๊าซอาร์กอน

เอกสารอ้างอิง

- Abd El-Aziz, M. F., Mahmoud, E. A., & El-Aragi, G. M. (2014). Non thermal plasma for control of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: pyralidae). **Journal of Stored Products Research**. 59, 215-221.
- Bures, B. L., Donohue, K. V., Roe, R. M., & Bourham, M. A. (2005). Visualization of helium dielectric barrier discharge treatment of green peach aphids on tobacco leaves. **IEEE Transactions on Plasma Science**. 33(2), 290-291.
- Chapman, R. F. (1998). **The insects-structure and function**. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Collins, C. L., Dunshea, F. R., Henman, D. J., McCauley, I., & King, R. H. (2005). The apparent ileal digestibility of amino acids in common vetch (*Vicia sativa* cv. Morava). **Australian Journal of Experimental Agriculture**. 45(6), 705-709.
- Division of Rice Research and Development, Rice Department. (2016). **Harvesting and proper post-harvest practices**. Retrieved from: <http://library.ricethailand.go.th> (in Thai).
- Donohue, K. V., Bures, B. L., Bourham, M. A., & Roe, R. M. (2006). Mode of action of a novel nonchemical method of insect control: atmospheric pressure plasma discharge. **Journal of Economic Entomology**. 99(1), 38-47.
- Jaworek, H. A. & Czech, T. (1996). Back-corona generated plasma for decomposition of hydrocarbon gaseous contaminants. **Journal of Physics D: Applied Physics**. 29(9), 2439-2446.
- Kwon, D. H., Seung K. H., & Park, M.R. (2019). Plasma-based organism evaluation equipment using atmospheric-pressure plasma jets: efficacy for controlling insect pests. **Journal of Asia-Pacific Entomology**. 22(3), 868-873.
- Laroussi, M. (2002). Nonthermal decontamination of biological media by atmospheric pressure plasmas: review, analysis, and prospects. **IEEE Transactions on Plasma Science**. 30(4), 1409-1415.
- Limsangouan, N. (2020). Neo technology for food processing and preservation: Cold plasma technology. **Food Journal**. 50(1), 13-21.
- Nasr, M. E. H., Zinhoum, R. A., & Lotfy, K. (2020). Efficacy of cold plasma against three of stored grain insects. **International Journal of Entomology Research**. 5(1), 113-117.
- Nualvatna, K., Visarathanonth, P., Chankaewmanee, B., Uraichuen, J., Kengkanpanich, R., Pengkum, K. & Tongpan, J. (2005). **Insect pests of paddy rice and control**. Bangkok: Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture.
- Rajendran, S. (2001). Alternatives to methyl bromide as fumigants for stored food commodities. **Pesticide Outlook**. 12(6), 249-253.
- Sayed, W. A. A., Hassan, R. S., Sileem, T., & Rumpold, B. (2021). Impact of plasma irradiation on *Tribolium castaneum*. **Journal of Pest Science**. 94(9), 1405-1414.
- Singh, G. & Sharma, R.K. (2015). Alternatives to phosphine fumigation of stored grains: The Indian perspective. **Himachal Journal of Agricultural Research**. 41(2), 104-113.
- Sutar, S. A., Thirumdas, R., Chaudhari, B. B., & Deshmukh, R. R. (2021). Effect of cold plasma on insect infestation and keeping quality of stored wheat flour. **Journal of Stored Products Research**. 92(6), 101774.
- Ukeh, D. A., Sylvia, B. A. U., Alan, S. B., Jennifer, M. L. A., John, A. P., & Michael, A. B. (2012). Alligator pepper, *Aframomum melegueta* and ginger, *Zingiber officinale*, reduce stored maize infestation by the maize weevil, *Sitophilus zeamais* in traditional African granaries. **Crop Protection**. 32, 99-103.
- Visarathanonth, P., Nualvatna, K., Chankaewmanee, B., Uraichuen, J., Kengkanpanich, R., Pengkum, K., Tongpan, J., Suthisut, D., Romyen, L., & Noochanapai, P. (2005). **Stored pest insect and control**. Bangkok: Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture.

วันรับบทความ (Received date) : 25 มี.ค. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 20 ก.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 3 ต.ค. 65

ความหลากหลายของสาหร่ายและดัชนีคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำสายหลัก จังหวัดนครศรีธรรมราช

Algae Diversity as Water Quality Indicator in the Main Water Sources, Nakhon Si Thammarat

มันทกา วีระพงศ์^{1*} สุภาวดี รามสูตร¹ และ ดำรงค์พันธ์ จันทาววีระพงศ์²
Manthaka Weeraphong^{1*}, Supawadee Ramasoot¹ and Damrongphun Jaihowweerapong²

บทคัดย่อ

ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายบริเวณแหล่งน้ำสายหลัก จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 8 จุด ครอบคลุมแหล่งน้ำสายหลัก 8 อำเภอ ได้แก่ คลองกลาย อ.ท่าศาลา แม่น้ำปากพนัง อ.ปากพนัง คลองท่าดี อ.ลานสกา คลองน้ำตกโยง อ.ทุ่งสง คลองท่าแพ อ.เมือง แม่น้ำหลวง อ.ทุ่งใหญ่ คลองเสาชิง อ.ร่อนพิบูลย์ และคลองนอท่า อ.พรหมคีรี พบสาหร่าย 35 สกุล 60 ชนิด ใน 4 ดิวิชัน โดยพบสกุลในดิวิชัน Chrysophyta (58%) มากที่สุด รองลงมา Chlorophyta (23%), Euglenophyta 13% และ Cyanophyta (6%) ดัชนีความหลากหลายชนิด (H') ระหว่าง 0.57-2.21 สาหร่ายสกุลเด่นที่พบทุกจุดเก็บตัวอย่าง ได้แก่ *Navicula* spp., *Chlorella* spp., *Euglena* spp. และ *Pinnularia* spp. จากการใช้น้ำสาหร่ายสกุลเด่นเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำแบบ AARL-CMU Score พบคลองน้ำตกโยง อ.ทุ่งสง มีค่าดัชนีคุณภาพน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 5 จัดเป็นคุณภาพน้ำปานกลาง อยู่ในระดับสารอาหารปานกลาง (mesotrophic) โดยพบ *Fragilaria* spp., *Navicula* spp. และ *Pinnularia* spp. เป็นสกุลหลัก ส่วนคลองกลาย อ.ท่าศาลา, คลองนอท่า อ.พรหมคีรี, แม่น้ำหลวง อ.ทุ่งใหญ่ และคลองเสาชิง อ.ร่อนพิบูลย์ มีค่าดัชนีคุณภาพน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 6.75, 7.25, 7 และ 5.8 ตามลำดับ จัดเป็นคุณภาพน้ำปานกลางถึงไม่ดี อยู่ในระดับสารอาหารปานกลางถึงสูง (mesotrophic to eutrophic) โดยพบ *Rhizosolenia setigera*, *Euglena* spp., *Chlorella* spp., *Navicula* spp., *Synedra* spp., *Scenedesmus* spp., *Oscillatoria* spp., *Gomphonema* spp., *Surirella* spp., *Pinnularia* spp., *Fragilaria* spp. และ *Phacus* sp. เป็นสกุลหลัก และแหล่งน้ำที่มีคุณภาพไม่ดี ได้แก่ คลองท่าดี อ.ลานสกา แม่น้ำปากพนัง อ.ปากพนัง และคลองท่าแพ อ.เมือง มีค่าดัชนีคุณภาพน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 7.67, 8.67 และ 8.5 ตามลำดับ อยู่ระดับสารอาหารสูง (eutrophic) โดยพบ *Anabaena* sp., *Cruciginella* sp., *Hantzschia* sp., *Euglena* sp.2., *Trachelomonas* sp. และ *Scenedesmus* spp. เป็นสกุลหลัก การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพ และทางเคมี ในภาพรวมมีค่าอุณหภูมิระหว่าง 27.9-31.2 °C, ความโปร่งแสงของน้ำระหว่าง 0.20-1.5 เมตร, สีของน้ำมีลักษณะตั้งแต่ใส ชุ่นเล็กน้อยจนถึงสีน้ำตาลคล้ำถึงดำ, ความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 7.00- 8.14, การละลายออกซิเจนในน้ำระหว่าง 1.8-9.4 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ระหว่าง 0.2-7 มิลลิกรัม/ลิตร

คำสำคัญ: ดัชนีชี้วัด สาหร่าย แหล่งน้ำสายหลัก จังหวัดนครศรีธรรมราช

Abstract

The diversity of algae in the 8 main water sources in Nakhon Si Thammarat including rivers, canals, and water falls was studied in eight districts: Klongcry in Tha Sala District, Pak Panang River in Pak Panang District, Klong Thadee in Lanska District, Klong Yong waterfall in Thungsong District, Klong Tha Pae in Maung District. Loung River in Thung Yai District, Klong Saothong in Ronpibul District and Klong Nok Tha in Phrom Khiri District. The results showed that a total of 35 genera belonging to 60 species of four divisions were found. The genera were mostly found in Division Chrysophyta (58%),

¹สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

¹Biology Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

²สาขาวิชาการพัฒนาชุมชน คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

²Community Development Program, Faculty of Humanities and Social Sciences, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

*Corresponding author, E-mail address: mantaka_wer@nstru.ac.th

followed by Chlorophyta (23%), Euglenophyta (13%), and Cyanophyta (6%). The diversity index (H') ranged between 0.57 and 2.21. The dominant genera in all samples were *Navicula* spp., *Chlorella* spp., *Euglena* spp. and *Pinnularia* spp. Regarding the use of the dominant algal genera as indicators of water quality by AARL-CMU Score, it was found that the water quality index in Klong Yong waterfall, Thungsong District was 5 that means moderate status with medium nutrients (mesotrophic). The dominant genera were *Fragilaria* spp., *Navicula* spp. and *Pinnularia* spp. The water quality indexes in Klongcry, Tha Sala District; Klong Nok Tha, Phrom Khiri District; Loung River, Thungyai District; and Klong Saotong, Ronpibul District were 6.75, 7.25, 7 and 5.8, respectively in average water scores that mean moderate to polluted status with medium to high nutrients (mesotrophic to eutrophic). The dominant genera were *Rhizosolenia setigera*, *Euglena* spp., *Chlorella* spp., *Navicula* spp., *Synedra* spp., *Scenedesmus* spp., *Oscillatoria* spp., *Gomphonema* spp., *Surirella* spp., *Pinnularia* spp., *Fragilaria* spp. and *Phacus* sp. Also, poor water quality (the high nutrient levels) showed in Klong Thadee, Lanska District; Pak Panang River, Pak Panang District; and Klong Klong Tha Pae, Maung District with the average water quality indexes of 7.67, 8.67 and 8.5, respectively. The dominant genera were *Anabaena* sp., *Cruciginella* sp., *Hantzschia* sp., *Euglena* sp.2., *Trachelomonas* sp. and *Scenedesmus* spp. Moreover, the physical and chemical characteristics of water quality as a whole included the temperature ranging between 27.9-31.2 °C, the transparency of the water ranging from 0.20 to 1.5 meters, color of the water starting from clear, slightly opaque dark brown to black, a pH between 7.00- 8.14, the dissolved oxygen (DO) between 1.8 to 9.4 mg/L, and microbes using oxygen to decompose organic materials (BOD) was between 0.2 to 7.0 mg/L.

Keywords: indicator, algae, the main water sources, Nakhon Si Thammarat

คำนำ

จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นจังหวัดที่มีความอุดมสมบูรณ์ไปด้วยทรัพยากรธรรมชาติ มีแหล่งน้ำที่สำคัญที่ใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรม อุปโภคบริโภค หรือกิจการอุตสาหกรรมหลายสายที่ไหลผ่านอำเภอต่างๆ โดยมีทั้งแม่น้ำสายใหญ่ ได้แก่ แม่น้ำตาปี ไหลผ่านอำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช แม่น้ำตรังเป็นแม่น้ำสายสำคัญของจังหวัดตรัง เมื่ออยู่ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช เรียกว่า แม่น้ำหลวง นอกจากนี้ยังมีแหล่งน้ำสายรองลงมาที่ไหลผ่านแต่ละอำเภอ ได้แก่ แม่น้ำปากพนัง ไหลลงสู่อ่าวนครศรีธรรมราช คลองท่าแพ ไหลลงสู่อ่าวนครศรีธรรมราช ต้นน้ำเรียกว่า คลองนอกท่า ใกล้ปากน้ำเรียกว่าคลองท่าแพ เป็นคลองที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมาแต่สมัยโบราณ คลองปากพญา – คลองปากนคร ไหลผ่านอำเภอเมือง ต้นน้ำเรียกว่า คลองท่าดี ผ่านตำบลท่าซึก ออกทะเลที่ปากพญาเรียกว่า คลองปากพญา (The Nakhonsithammarat Provincial Office of the Comptroller General's Department, 2020) แหล่งน้ำแต่ละแหล่งก็มีคุณภาพแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสิ่งที่เจือปนอยู่ในบริเวณนั้น ไม่ว่าจะเป็นสารอาหารจากผู้ผลิตอย่างพืชน้ำ และสาหร่าย หรือสารเคมีที่เกิดการปนเปื้อนจากการเกษตรกรรม อุตสาหกรรม หรือแม้กระทั่งการดำรงชีวิตของคนที่อยู่ริมแหล่งน้ำนั้นๆ ซึ่งสิ่งมีชีวิตจะเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพแหล่งนั้นได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะเป็นพืชสัตว์ โดยเฉพาะสาหร่าย ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีทั้งขนาดเล็กมาก จนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจนไปถึงขนาดใหญ่ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อันดูเหมือนมีราก ลำต้นและใบ ซึ่งรวมเรียกว่า ทัลลัส (Thallus) ส่วนใหญ่จะมีคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง มีหลากหลายชนิดทั้งสาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาล สาหร่ายสีทอง และสาหร่ายชนิดอื่นๆ มีบทบาทสำคัญในการเป็นผู้ผลิตในสายใยอาหารของระบบนิเวศ และหมุนเวียนแร่ธาตุในแหล่งน้ำ อีกทั้งยังเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย และมีช่วง

อายุสั้น การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายมีหลายประเภท ได้แก่ เป็นอาหารของคน และสัตว์ (Kaewchamnong et al., 2021; Pereira, 2021) ปุ๋ย ยารักษาโรค อื่นๆ และการใช้เป็นตรวจวัดคุณภาพของแหล่งน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biomonitoring) (Peerapornpisal, 2015) โดยการตรวจวัดคุณภาพของแหล่งน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพ สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีสำหรับบอกคุณภาพของน้ำได้ เนื่องจาก ชนิดและจำนวนของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำหนึ่งๆ จะเป็นผลรวมของคุณภาพของแหล่งน้ำนั้นๆ โดยที่เราสามารถนำสิ่งมีชีวิตต่างๆ เหล่านี้เช่น พืช สัตว์ต่างๆ โดยเฉพาะสาหร่าย ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งแหล่งน้ำตามความมากน้อยของสารอาหารออกเป็น 3 ระดับคือ แหล่งน้ำที่มีสารอาหารน้อย น้ำจะมีคุณภาพน้ำดี แหล่งน้ำที่มีสารอาหารปานกลาง น้ำมีคุณภาพปานกลาง และแหล่งน้ำที่มีสารอาหารมาก น้ำมีคุณภาพไม่ดี ซึ่งในแต่ละแหล่งจะพบสาหร่ายชนิดต่างๆ ซึ่งใช้เป็นดัชนีแสดงสภาพของแหล่งน้ำได้ว่ามีลักษณะเช่นใด การวิเคราะห์คุณภาพน้ำโดยทางชีวภาพนั้น สาหร่ายจะเป็นเครื่องชี้สภาพของแหล่งน้ำนั้นได้เป็นอย่างดี โดยจากการรายงานของ Peerapornpisal (2006) เกี่ยวกับการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายและเทียบกับระดับสารอาหารในแหล่งน้ำต่างๆ ในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า แหล่งน้ำจืดที่มีสภาพน้ำดี (สารอาหารน้อย) สาหร่ายในแหล่งน้ำนั้นประกอบด้วยไดอะตอมบางชนิด และอาจมีสาหร่ายเขียวประเภทเดสมิดส์ และสาหร่ายสีแดงปะปน โดยปริมาณของสาหร่ายแต่ละสกุลจะมีน้อย แต่ถ้าแหล่งน้ำใดมีสาหร่ายสีเขียว สาหร่ายยูกลีโนยด์ โดยเฉพาะที่เป็นสายป่นอยู่กับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยมีจำนวนสกุลน้อย แต่ปริมาณของแต่ละสกุลมีมาก หรือเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Bloom) ก็หมายความว่าแหล่งน้ำนั้นมีสภาพเป็นมลภาวะ ทั้งยังสามารถใช้ความแตกต่างของกลุ่มสาหร่ายเป็นค่าที่ช่วยชี้สภาพของชุมชนได้ แหล่งน้ำในสภาวะปกติที่ไม่ได้รับมลภาวะ ค่าดัชนีความแตกต่างจะสูง ปริมาณของสาหร่ายแต่ละสกุลจะน้อย นอกจากนี้ยังมีวิธีที่นิยมใช้ควบคู่การพิจารณาหรือประเมินคุณภาพของน้ำในแหล่งต่างๆ ว่า น้ำมีค่าได้มาตรฐานสำหรับประโยชน์ในการใช้สอยหรือไม่นั้นมีหลายวิธี (Passago et al., 2018) ได้แก่ การตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพ การวิเคราะห์ทางเคมี และการตรวจวัดด้วยวิธีทางชีวภาพ เป็นต้น สำหรับการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและการวิเคราะห์ทางเคมีนั้น เป็นการตรวจสอบคุณภาพของน้ำโดยพิจารณาจากปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น อุณหภูมิ ความขุ่น ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำ การนำไฟฟ้า ความกระด้าง ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ รวมทั้งปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ เป็นต้น ส่วนการตรวจวัดด้วยวิธีทางชีวภาพนั้น เป็นการตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยการตรวจดูชนิดและจำนวนของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำซึ่งเป็นวิธีการเบื้องต้นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีชี้บ่งคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำควบคู่ไปกับการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้สาหร่ายเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ การศึกษาที่ใช้สาหร่ายเป็นดัชนีชี้วัดโดยพบสาหร่ายขนาดใหญ่ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียว ได้แก่ *Batrachospermum macrosporum* Montague, *Batrachospermum vugum* Agardh และ *Nemalionopsis shawii* Skuja บ่งบอกคุณภาพน้ำดีซึ่งมีสารอาหารน้อย นอกจากนี้พบว่าสาหร่ายสีแดง *Compsopogon coeruleus* (Balbis) Montague บ่งบอกน้ำที่มีคุณภาพปานกลาง ส่วนดัชนีบ่งบอกคุณภาพน้ำปานกลางถึงไม่ดี บ่งบอกน้ำที่มีสารอินทรีย์ปานกลางถึงสูงคือ ไดอะตอมพื้นท้องน้ำ ได้แก่ *Gomphonema parvulum* (Kitzing) Grunow และ *Nitzschia palea* (Kitzing) W. Smith ไดอะตอมใน Order Pennales ชนิดเด่นคือ *Navicula symmetrica* Patrick, *Gomphonema parvulum* (Kützing) Grunow, *Luticula goeppertiana* (Bleisch) D.G.Mann, *Nitzschia clausii* Hantzsch และ *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg นอกจากนี้ยังพบไดอะตอมใน Order Cenrales ได้แก่ *Cyclotella stelligera* Cleve, *Meloseira varians* Agardh และ *Aulacoseira granulata* Ehrenberg (Peerapornpisal et al., 2001)

นอกจากนี้การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำโดย Pollution Control Department (2018) ได้มีการกำหนดคุณภาพน้ำโดยใช้พารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อบ่งบอกมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 5-8 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเสียจะมีค่าต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร, ความเป็นกรดหรือด่างของน้ำ (pH) ควรมีค่าระหว่าง 6.8-7.3, ความขุ่นเกิดจากตะกอนดินที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ แหล่งน้ำทั่วไปควรมีค่า

ความขุ่นน้อยกว่า 100 NTU, ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) น้ำที่มีคุณภาพดีควรมีค่าไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร, ค่าความโปร่งแสงที่เหมาะสมอยู่ 30-60 เซนติเมตร และค่าอุณหภูมิของน้ำปกติอยู่ในช่วง 28-32°C เป็นต้น

โดยการศึกษาชนิดของสาหร่ายในแหล่งน้ำสายหลักเพื่อเป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพที่แสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำในแต่ละบริเวณได้เป็นอย่างดี อันเป็นการเพิ่มองค์ความรู้ของทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ในท้องถิ่น และนำไปสู่การตรวจสอบระบบนิเวศต่อไปในระยะยาว และเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการบริหารจัดการสภาพแวดล้อมในชุมชนอย่างยั่งยืนต่อไป ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือ เพื่อสำรวจชนิดของสาหร่ายทั้งชนิดแพลงก์ตอนพืช และสาหร่ายขนาดใหญ่ในแหล่งน้ำสายหลัก จ.นครศรีธรรมราช และศึกษาคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำสายหลัก จ.นครศรีธรรมราช โดยใช้สกุลของสาหร่ายเป็นดัชนีชี้วัด

วิธีการศึกษา

การเลือกจุดเก็บตัวอย่าง โดยเลือกเก็บจาก 8 จุด กำหนดให้ จุดที่ 1-8 เป็นแหล่งน้ำสายหลัก ได้แก่ คลองกลาย อ.ท่าศาลา, แม่น้ำปากพนัง อ.ปากพนัง, คลองท่าดี อ.ลานสกา, คลองน้ำตกโยง อ.ทุ่งสง, คลองท่าแพ อ.เมือง, แม่น้ำหลวง อ.ทุ่งใหญ่, คลองเสาชิง อ.ร่อนพิบูลย์ และ คลองนอกท่า อ.พรหมคีรี จ.นครศรีธรรมราช เก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง แบ่งเก็บเป็น 2 ฤดู เดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม เป็นตัวแทนของฤดูร้อน เดือนมิถุนายน-กรกฎาคม 2558 เป็นตัวแทนของฤดูฝน แสดงดัง Figure 1

การเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็ก และสาหร่ายขนาดใหญ่

สาหร่ายขนาดเล็ก (แพลงก์ตอนพืช) : โดยเก็บใช้ถังเก็บตัวอย่างน้ำ ปริมาตร 10 ลิตร กรองผ่านถุงลากลากแพลงก์ตอน ขนาดตา 22 ไมครอน เก็บในขวดดิงลงจากผิวน้ำ 30 เซนติเมตร ใส่ขวดเก็บตัวอย่างน้ำที่มีความจุ 150 มิลลิลิตร ทำการเก็บรักษาตัวอย่างด้วยสารละลายลูกอล (Lugol's solution) (Wongrat & Boonyapiwat, 2003) ปิดฝาขวดให้สนิท ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 8 จุด ๆ ละ 3 ขวด ติดป้ายบอกตำแหน่งและจุดเก็บ พร้อมบันทึกวัน/เดือน/ปี ที่เก็บ

สาหร่ายขนาดใหญ่ : เก็บรวบรวมสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ และบันทึกลักษณะของวัตถุที่ ให้ยึดเกาะ (substrate) ได้แก่ ก้อนหิน พืชน้ำ และพื้น ดิน ทำการสุ่มตัวอย่างขนาดแปลงย่อย 3 ข้าง ภายในพื้นที่ แปลงใหญ่ 1.25 x 1.25 เมตร โดยสุ่มตัวอย่าง 3 ข้าง ขนาดพื้นที่ 25 x 25 เซนติเมตร แยกชนิดใส่ถุงพลาสติก ทำการเก็บรักษาตัวอย่างในน้ำยาฟอร์มาลินเข้มข้น 4% (Wongrat & Boonyapiwat, 2003; Kunpradid & Semmmanee, 2011) เพื่อนำไปจัดจำแนกชนิดของสาหร่ายที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

การจำแนกสาหร่าย และคำนวณค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของสาหร่าย จำแนกชนิดของสาหร่ายขนาดเล็ก ทำโดยนำน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร มาเขย่า และนำน้ำ 5 มิลลิลิตร มาปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2,000 รอบ 5 นาที นำตะกอนตัวอย่างหยดบนสไลด์ ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ นำไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์พร้อมถ่ายภาพ ส่วนสาหร่ายขนาดใหญ่นำมาถ่ายภาพด้วยกล้องสเตอริโอทำการจำแนกสกุล และชนิดของสาหร่ายตามลักษณะสัณฐานวิทยาตามหนังสือสาหร่าย (Hoek et al., 1995; Bold & Wynne, 1985; Peerapornpisal, 2015)

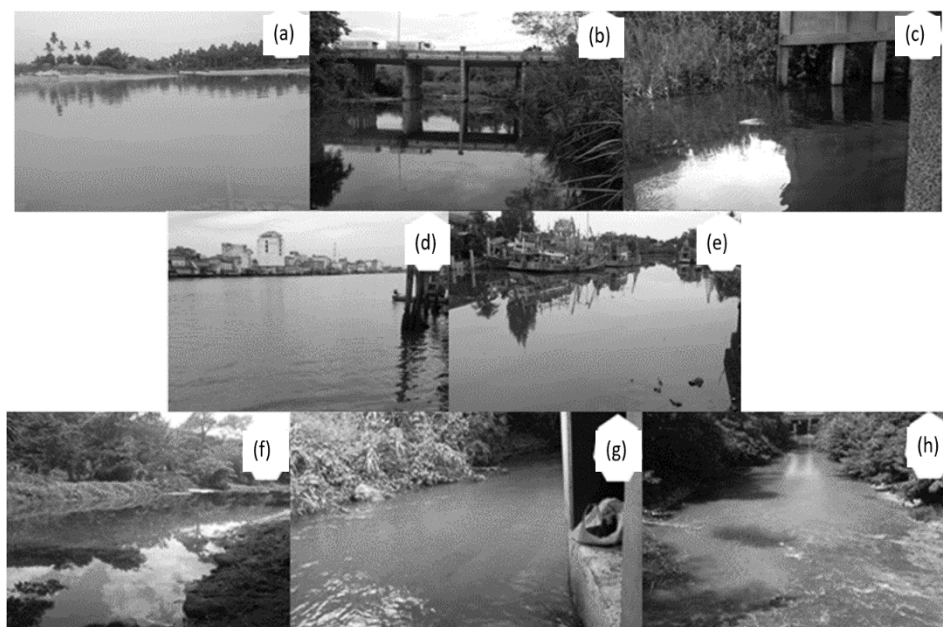


Figure 1 Main water sources study stations; (a) Klongcry (Tha Sala District), (b) Klong Thadee (Lanska District), (c) Klong Nok Tha (Phrom Khiri District), (d) Pak Panang River (Pak Panang District), (e) Klong Tha Pae (Maung District), (f) Klong Yong water fall (Thungsong District), (g) Loung river (Thung Yai District), and (h) Klong Saothong (Rongpibul District).

การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์, วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดย pH meter, วัดค่าความโปร่งแสงของน้ำด้วยจานวัดความโปร่งแสง (Secchi disc) และเก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวดเก็บตัวอย่างแบบทึบให้เต็มขวดไล่ฟองอากาศปิดฝาให้สนิท นำมาวิเคราะห์ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยวิธี Azide Modification of the Winkler Method และปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) โดยวิธี 5 Day Incubation and Azide Modification of the Winkler Method

การใช้สาหร่ายขนาดเล็ก (แพลงก์ตอนพืช) สกูลเด่นเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำโดยวิธี Applied algal research laboratory-phytoplankton score (AARL-CMU Score) (Peerapornpisal, 2006; 2015) โดยมีการแสดงค่าคะแนนคุณภาพน้ำตามระดับสารอาหาร (trophic level) และคุณภาพน้ำทั่วไปดัง Table 1 และคะแนนของสาหร่ายชนิดเด่นจัดตามระดับสารอาหาร ดัง Table 2 และ การจำแนกสาหร่ายในระดับสกูล นับจำนวนสกูลเด่นที่สุด และรองลงไป 3-5 สกูล เทียบคะแนนสาหร่ายที่บ่งบอกคุณภาพน้ำ นำคะแนนมารวมกันและหาค่าเฉลี่ย นำไปเทียบค่าคะแนนคุณภาพน้ำตามระดับสารอาหาร และคุณภาพน้ำทั่วไป

Table 1 Score of water quality depended on nutrient concentrations (trophic level) (Peerapornpisal (2006).

Range of score	water quality depended on nutrient concentrations	Water quality status
1.0-2.0	Oligotrophic (low nutrient concentrations)	good
2.1-3.5	Oligo-mesotrophic (low to medium nutrient concentrations)	good to moderate
3.6-5.5	Mesotrophic (medium nutrient concentrations)	moderate
5.6-7.5	Meso-eutrophic (medium to high nutrient concentrations)	moderate to polluted
7.6-9.0	Eutrophic (high nutrient concentrations)	polluted
9.1-10.0	Hypereutrophic (too high nutrient concentrations)	most polluted

Table 2 Score of dominant genera depended on nutrient concentrations (Peerapornpisal, 2006).

Genus	Scoring by nutrient concentrations	Genus	Scoring by nutrient concentrations
<i>Actinastrum</i>	5	<i>Cymbella</i>	5
<i>Acanthoceras</i>	5	<i>Dictyosphaerium</i>	7
<i>Achnanthes</i>	6	<i>Dimorphococcus</i>	7
<i>Amphora</i>	6	<i>Dinobryon</i>	1
<i>Anabaena</i>	8	<i>Elakatothrix</i>	3
<i>Ankistrodesmus</i>	7	<i>Encyonema</i>	6
<i>Aphanocapsa</i>	5	<i>Epithemia</i>	6
<i>Aphanothece</i>	5	<i>Euastrum</i>	3
<i>Aulacoseira</i>	6	<i>Eudorina</i>	6
<i>Bacillaria</i>	7	<i>Euglena</i>	10
<i>Botryococcus</i>	4	<i>Eunotia</i>	2
<i>Centritractus</i>	4	<i>Fragilaria</i>	5
<i>Ceratium</i>	4	<i>Golenkinia</i>	5
<i>Chlamydomonas</i>	6	<i>Gomphonema</i>	6
<i>Chlorella</i>	6	<i>Gonium</i>	6
<i>Chroococcus</i>	6	<i>Gymnodinium</i>	6
<i>Closterium</i>	6	<i>Gyrosigma</i>	7
<i>Cocconeis</i>	6	<i>Hantzschia</i>	8
<i>Coelastrum</i>	7	<i>Isthmochloron</i>	5
<i>Cosmarium</i>	2	<i>Kirchneriella</i>	5
<i>Crucigenia</i>	7	<i>Melosiera</i>	5
<i>Crucigeniella</i>	7	<i>Merismopedia</i>	9
<i>Cryptomonas</i>	8	<i>Micractinium</i>	7
<i>Cyclotella</i>	2	<i>Micrasterias</i>	2
<i>Cylindrospermopsis</i>	7	<i>Microcystis</i>	8
<i>Monoraphidium</i>	7	<i>Rhizosolenia</i>	6
<i>Navicula</i>	5	<i>Rhodomonas</i>	8
<i>Nephrocytium</i>	5	<i>Rhopalodia</i>	5
<i>Nitzschia</i>	9	<i>Scenedesmus</i>	8
<i>Oocystis</i>	6	<i>Spirulina</i>	9
<i>Oscillatoria</i>	9	<i>Staurastrum</i>	3
<i>Pandorina</i>	6	<i>Staurodesmus</i>	3
<i>Pediastrum</i>	7	<i>Stauroneis</i>	5
<i>Peridiniopsis</i>	6	<i>Strombomonas</i>	8
<i>Peridinium</i>	6	<i>Surirella</i>	6
<i>Phacus</i>	8	<i>Synedra</i>	6

Genus	Scoring by nutrient concentrations	Genus	Scoring by nutrient concentrations
<i>Phormidium</i>	9	<i>Synura</i>	8
<i>Pinnularia</i>	5	<i>Tetraedron</i>	6
<i>Planktolyngbya</i>	7	<i>Trachelomonas</i>	8
<i>Pseudanabaena</i>	7	<i>Volvox</i>	6

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ความหลากหลายของสาหร่ายในแหล่งน้ำสายหลัก จังหวัดนครศรีธรรมราช

ผลการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายในแหล่งน้ำสายหลัก จังหวัดนครศรีธรรมราช ในเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม (ตัวแทนฤดูร้อน) และมิถุนายน - กรกฎาคม (ตัวแทนฤดูฝน) จำนวนทั้งสิ้น 8 จุด ครอบคลุมแหล่งน้ำสายหลัก 8 อำเภอ พบสาหร่ายทั้งสิ้น 35 สกุล 60 ชนิด ใน 4 ดิวิชัน (Figure 2) โดยพบสกุลสาหร่ายในดิวิชัน Chrysophyta (58%) มากที่สุด สกุลเด่นที่พบในดิวิชันนี้ได้แก่ *Navicula* spp., *Nitzschia* sp., *Surirella* spp., *Cymbella* sp. และ *Pinnularia* spp. รองลงมาคือ Chlorophyta (23%) สกุลเด่นที่พบในดิวิชันนี้ได้แก่ *Chlorella* spp., *Spirogyra* sp. และ *Scenedesmus* spp. ส่วน Euglenophyta (13%) สกุลเด่นที่พบในดิวิชันนี้ได้แก่ *Euglena* spp., *Phacus* spp. และ *Trachelomonas* sp. ส่วน Cyanophyta (6%) สกุลเด่นที่พบในดิวิชันนี้ได้แก่ *Oscillatoria* spp. และเมื่อศึกษาความหลากหลายของสาหร่าย พบว่ามีค่ามากที่สุดในการฤดูฝน คือเดือนกรกฎาคม 32 สกุล รองลงมาเดือนมิถุนายน 29 สกุล ส่วนฤดูร้อนพบมีค่าความหลากหลายน้อยกว่า คือเดือนกุมภาพันธ์ 23 สกุล และเดือนมีนาคมพบน้อยที่สุด 20 สกุล (Figure 3) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sudthang et al., (2011). ที่ได้ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายในบึงบอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์ พบความหลากหลายของสาหร่ายที่สูงสุดในเดือนกรกฎาคม (41 สกุล) และเดือนมีนาคมพบน้อยที่สุด (33 สกุล) เนื่องจากในช่วงเดือนกรกฎาคม น้ำมีความขุ่นไม่มาก โดยค่าความโปร่งใสของน้ำอยู่ที่ 37 เซนติเมตร ตะกอนสะสมอยู่ที่ก้นแหล่งน้ำ แสงสามารถส่องผ่านได้ดี ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืช สอดคล้องกับแหล่งน้ำในช่วงเดือนดังกล่าวในจังหวัดนครศรีธรรมราชมีฝนตกประปราย ไม่หนักมาก มีน้ำไหลลงมาจากขอบฝั่งของแหล่งน้ำ ทำให้มีสารอาหารจากดินเพื่อการเจริญเติบโต และเมื่อปริมาณน้ำมากขึ้น ทำให้แหล่งน้ำใสขึ้น น้ำมีความนิ่ง และใสขึ้น ทำให้แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านลงมายังน้ำได้มากขึ้น ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมและเอื้อต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ตรงข้ามกันในการฤดูร้อน แสงจากดวงอาทิตย์ส่องลงมายังน้ำโดยตรงทำให้อุณหภูมิสูง น้ำมีการระเหย ส่งผลต่อปริมาณน้ำที่น้อยลง การไหลเวียนของสารอาหารมีน้อย ส่งผลต่อการแพร่กระจาย และการเพิ่มปริมาณของสาหร่าย และสัตว์น้ำอื่นๆ ด้วย

นอกจากนี้ยังพบสกุล *Navicula* spp., *Chlorella* spp., *Euglena* spp. และ *Pinnularia* spp. (Figure 4) ในทุกจุดเก็บตัวอย่าง

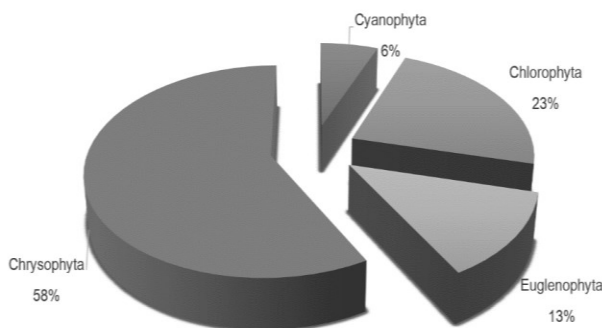


Figure 2 Division percentages of algae genera found in study areas.

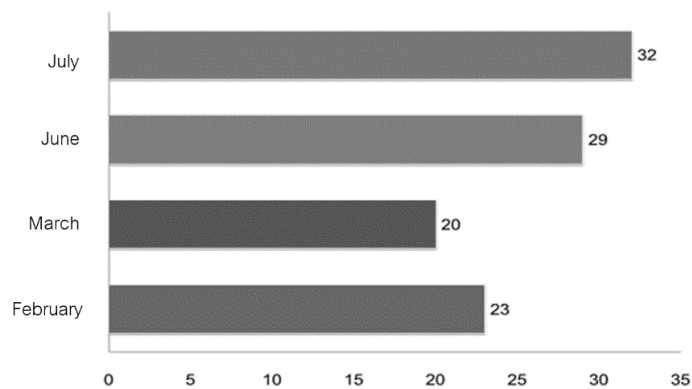


Figure 3 Monthly algae genera (Summer: February-March; Rainy: June-July).

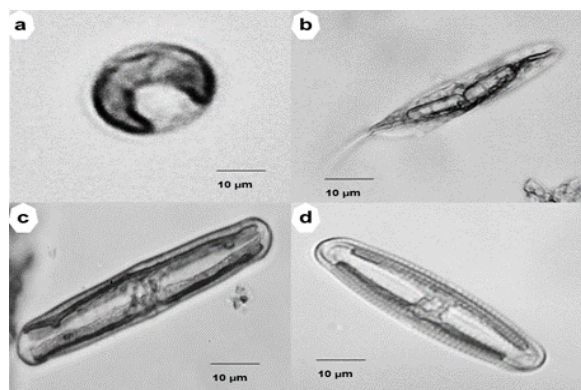


Figure 4 Dominant genera found all study stations (a) *Chlorella* (b) *Euglena* (c) *Pinnularia* (d) *Navicula*.

การศึกษาคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำสายหลัก จ.นครศรีธรรมราช โดยใช้สกุลของสาหร่ายเป็นดัชนีชี้วัด และเปรียบเทียบกับค่าคุณภาพน้ำที่มีการตรวจสอบทั้งทางกายภาพและทางเคมี สาหร่ายสกุลเด่นเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ (Table 3) สามารถแบ่งคุณภาพน้ำได้เป็น 3 กลุ่มคือ คุณภาพน้ำปานกลาง คุณภาพน้ำปานกลางถึงไม่ดี และคุณภาพน้ำไม่ดี โดยแหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำปานกลาง อ้างอิงวิธีการประเมินคุณภาพน้ำแบบ AARL-CMU Score (Peerapornpisal, 2006) ได้แก่ จุดเก็บที่ 6 คลองน้ำตกโยง อ.ทุ่งสง โดยมีสาหร่ายสกุลเด่นได้แก่ *Fragilaria* spp., *Navicula* spp. และ *Pinnularia* spp. ระดับคะแนนตามระดับสารอาหารเท่ากับ 5 จัดอยู่ในระดับ Mesotrophic สารอาหารปานกลาง จัดเป็นคุณภาพน้ำปานกลาง ส่วนแหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำปานกลางถึงไม่ดี ได้แก่ จุดเก็บที่ 1 คลองกลาย อ.ท่าศาลา จุดเก็บที่ 3 คลองนอกท่า อ.พรหมคีรี จุดเก็บที่ 7 แม่น้ำหลวง อ.ทุ่งใหญ่ และจุดเก็บที่ 8 คลองเสาธง อ.ร่อนพิบูลย์ โดยมีตัวแทนสกุลของสาหร่ายคล้ายคลึงกันได้แก่ *Oscillatoria* sp. และ *Surirella* spp. มีระดับคะแนนตามระดับสารอาหารจัดอยู่ใน 5.6-7.5 ซึ่งถือว่าเป็นระดับ Meso-eutrophic สารอาหารปานกลางถึงสูง แสดงถึงคุณภาพน้ำปานกลางถึงไม่ดี และกลุ่มที่ 3 คือ แหล่งน้ำที่มีคุณภาพที่ไม่ดี ได้แก่ จุดเก็บที่ 2 คลองท่าดี อ.ลานสกา จุดเก็บที่ 4 แม่น้ำปากพนัง อ.ปากพนัง และจุดเก็บที่ 5 คลองท่าแพ อ.เมือง โดยมีสกุลสาหร่ายเด่น ได้แก่ *Euglena* sp.2, *Cruciginella* sp. และ *Anabaena* sp. มีระดับคะแนนตามระดับสารอาหารจัดอยู่ในช่วง 7.6-9.0 ซึ่งถือว่าเป็นระดับ Eutrophic สารอาหารสูง แสดงถึงคุณภาพน้ำไม่ดี ทั้งนี้การเจริญเติบโตของสาหร่ายขึ้นอยู่กับระดับสารอาหารที่สามารถสื่อถึงคุณภาพน้ำ นั่นคือแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีการปนเปื้อนของสารอาหารน้อย น้ำมีคุณภาพดี พบแพลงก์

ตอนพืชแต่ละชนิดมีจำนวนน้อย ตรงข้ามกันแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีการปนเปื้อนของสารอาหารมาก น้ำมีคุณภาพไม่ดี พบแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดมีจำนวนมาก (Waiyaka & Buddee, 2022)

ส่วนการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพ และทางเคมี ในภาพรวมของแหล่งน้ำคือ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 27.9 ± 0.04 - 31.2 ± 0.03 องศาเซลเซียส, ค่าความโปร่งแสงของน้ำมีค่าระหว่าง 0.18 ± 0.02 - 1.5 ± 0.02 เมตร, ลักษณะสีของน้ำมีลักษณะตั้งแต่ ใส ชุ่นเล็กน้อยจนถึงสีน้ำตาลคล้ำถึงดำ, ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 6.99 ± 0.03 - 8.07 ± 0.07 , ค่าการละลายออกซิเจนในน้ำ (DO) มีค่าระหว่าง 1.8 ± 0.02 - 9.4 ± 0.07 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) อยู่ระหว่าง 0.2 ± 0.02 - 7 ± 0.04 มิลลิกรัม/ลิตร (Table 4) และจากการใช้สาหร่ายสกุลเด่นคำนวณคะแนนตามระดับสารอาหาร เพื่อจัดระดับคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำสายหลัก จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งสอดคล้องกับค่าการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพ และทางเคมี ซึ่งเป็นช่วงค่าที่อยู่ในมาตรฐานของน้ำที่มีคุณภาพดีโดยทั่วไปจะมีค่า DO ประมาณ 5-8 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับค่า BOD น้ำที่มีคุณภาพดีควรมีค่าบีโอดี ไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าค่าบีโอดีสูงมากแสดงว่าน้ำนั้นเน่ามาก แหล่งน้ำที่มีค่าบีโอดีสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรจะจัดเป็นน้ำเน่าหรือน้ำเสีย โดยเฉพาะค่า DO ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร และ BOD น้ำที่มีคุณภาพดีควรมีค่าบีโอดี ไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร (Pollution Control Department, 2018) ซึ่งในคลองกลาย อ.ท่าศาลา, คลองท่าดี อ.ลานสกา, แม่น้ำปากพนัง อ.ปากพนัง และคลองท่าแพ อ.เมืองที่แสดง คุณภาพน้ำปานกลางถึงไม่ดี จากการใช้สาหร่ายสกุลเด่นเป็นดัชนีชี้วัด มีค่า DO ต่ำกว่า มาตรฐานทั่วไป คือมีค่าระหว่าง 1.8-3.4 มิลลิกรัม/ลิตร และ ค่า BOD เกินกว่ามาตรฐาน (เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร) อยู่ 3 แหล่ง คือ คลองท่าดี อ.ลานสกา แม่น้ำปากพนัง อ.ปากพนัง และ คลองท่าแพ อ.เมือง จัดว่าเป็นน้ำคุณภาพไม่ดี ดังนั้น จากการใช้สาหร่ายเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ โดยใช้วิธีการประเมินคุณภาพน้ำแบบ AARL-CMU Score สอดคล้องกับค่าการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น จึงเป็นการยืนยันสภาพแหล่งน้ำนั้นๆ และสามารถใช้อาหารเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำได้

Table 3 Score of dominant algae genera and water quality depended on nutrient concentrations.

Stations	Scoring by nutrient concentrations	Range of score	Water quality by nutrient concentrations	Water quality status
Klongcry (Tha Sala District)	6.75	5.6-7.5	Meso-eutrophic	moderate to polluted
Klong Thadee (Lanska District)	7.67	7.6-9.0	Eutrophic	polluted
Klong Nok Tha (Phrom Khiri District)	7.25	5.6-7.5	Meso-eutrophic	moderate to polluted
Pak Panang River (Pak Panang District)	8.67	7.6-9.0	Eutrophic	polluted
Klong Tha Pae (Maung District)	8.5	7.6-9.0	Eutrophic	polluted
Klong Yong water fall (Thungsong District)	5	3.6-5.5	Mesotrophic	moderate
Loung river (Thung Yai District)	7	5.6-7.5	Meso-eutrophic	moderate to polluted
Klong Saothong (Ronpibul District)	5.8	5.6-7.5	Meso-eutrophic	moderate to polluted

Note: Algae and water quality scoring by AARL-CMU Score (Peerapornpisal, 2006).

Table 4 Means of physical and chemical water quality measurement of each study areas.

Station	Physical and chemical water quality parameters					
	Temperature (°C)	Transparency (m)	Water colour /Turbidity	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)
Klongcry (Tha Sala District)	29.8±0.01	0.18±0.02	Light green & turbid	8.07±0.07	3.4±0.08	4.3±0.03
Klong Thadee (Lanska District)	28.7±0.02	0.29±0.01	Clear	7.30±0.02	7.8±0.01	0.3±0.01
Klong Nok Tha (Phrom Khiri District)	27.9±0.04	1±0.04	Clear	7.31±0.04	9.4±0.07	0.4±0.00
Pak Panang River (Pak Panang District)	28.8±0.02	1.5±0.02	Dark brown-black & turbid	8.02±0.05	1.8±0.02	6.5±0.04
Klong Tha pae (Maung District)	29.2±0.03	0.30±0.03	Dark brown-black & turbid	7.19±0.03	2.6±0.06	7±0.04
Klong Yong water fall (Thungsong District)	29.7±0.03	0.70±0.01	Light green	7.00±0.06	6.8±0.02	0.2±0.02
Loung river (Thung Yai District)	28±0.03	0.50±0.02	Clear	7.81±0.04	6.4±0.08	0.3±0.03
Klong Saothong (Ronpibul District)	31.2±0.03	0.50±0.01	Clear	6.99±0.03	6.0±0.12	1.8±0.01

Note: DO: Dissolved Oxygen, BOD: Biological Oxygen Demand.

สรุปผลการศึกษา

การใช้สาหร่ายเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำสายหลัก จ.นครศรีธรรมราช โดยใช้วิธีการประเมินคุณภาพน้ำแบบ AARL-CMU Score สอดคล้องกับค่าการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น โดยความหลากหลายของสาหร่าย พบสาหร่าย 35 สกุล 60 ชนิด ใน 4 ดิวิชัน คือ Chrysophyta (58%), Chlorophyta (23%), Euglenophyta (13%) และ Cyanophyta (6%) มีค่าดัชนีความหลากหลาย (H') ระหว่าง 0.57-2.21 สาหร่ายสกุลเด่นที่พบทุกจุดเก็บตัวอย่าง ได้แก่ *Navicula* spp., *Chlorella* spp., *Euglena* spp. และ *Pinnularia* spp. และจากการใช้สกุลของสาหร่ายเป็นดัชนีชี้วัด สามารถแบ่งคุณภาพน้ำได้เป็น 3 กลุ่มคือ แหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำปานกลาง (mesotrophic) ได้แก่ คลองน้ำตกโยง อ.ทุ่งสง ส่วนแหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำปานกลางถึงไม่ดี (mesotrophic to eutrophic) ได้แก่ คลองกลาย อ.ท่าศาลา, คลองนอกท่า อ.พรหมคีรี, แม่น้ำหลวง อ.ทุ่งใหญ่ และคลองเสาธง อ.ร่อนพิบูลย์ และ แหล่งน้ำที่มีคุณภาพที่ไม่ดี (eutrophic) ได้แก่ คลองท่าดี อ.ลานสกา, แม่น้ำปากพนัง อ.ปากพนัง และคลองท่าแพ อ.เมือง สอดคล้องกับค่าการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพ และทางเคมี โดยเด่นชัดคือค่า DO ที่ต่ำกว่ามาตรฐานทั่วไป คือ มีค่าระหว่าง 1.8-3.4 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า BOD เกินกว่ามาตรฐาน (เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร) จัดเป็นคุณภาพไม่ดี ดังนั้น การศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับสภาพแหล่งน้ำ โดยแหล่งน้ำสภาพน้ำดี

(สารอาหารน้อย) จะมีค่าความหลากหลายสูงแต่ปริมาณแต่ละสกุลน้อย ตรงกันข้ามกันแหล่งน้ำเสีย (สารอาหารสูง) จะมีค่าความหลากหลายต่ำ แต่ปริมาณแต่ละสกุลมาก และสามารถใส่สาหร่ายสกุลเด่นตรวจวัดคุณภาพน้ำซึ่งสอดคล้องกับการตรวจสอบค่าคุณภาพน้ำเบื้องต้น จึงเป็นการยืนยันสภาพแหล่งน้ำนั้นๆ และสามารถใส่สาหร่ายเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาที่สนับสนุนงบประมาณวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Bold, H. C. & Wynne, M. J. (1985). **Introduction to the Algae: Structure and Reproduction**. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hoek, C., Mann, D.G., & Jahns, H. M. (1995). **Algae: An introduction to Phycology**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kaewchamnon, T., Rodjaroen, S., Wetchakul, A., Sampim, T., Thongprajukaew, K., Nuntapong, N., Adam, M., & Malawa, S. (2021). Effects of cyanobacteria, *Nostoc commune* Vaucher TISTR 8870 supplementation on growth, feed utilization and coloration of Siamese fighting fish (*Betta splendens* Regan, 1910). **Wichcha Journal**. 40(1), 106-120.
- Kunpradid, T. & Semmmanee, P. (2011). The study on water resources management in Ban Eake Village Sanpayang Sub-District, Mae Tang District, Chiang Mai Province. **Rajabhat Chiang Mai Research Journal**. 12(2), 35-44.
- Passago, S., Kurukot, J., & Nuesee, C. (2018). Study on water quality and biodiversity of benthos in Chi River. **Prawarun Agricultural Journal**. 15(1), 156-167.
- Peerapornpisal, Y. (2006). **Phycology**. 2nd Edition. Chiang Mai: Chotana Print.
- Peerapornpisal, Y. (2015). **Freshwater algae in Thailand**. 3rd Edition. Chiang Mai: Chotana Print.
- Peerapornpisal, Y., Kluensuan, S., Niwasabutra, Sh., Kaweevat, K., Promkutkaew, S., Pekthong, T., Waiyaka, P., & Kunpradid, T. (2001). Biodiversity of benthic diatoms and macroalgae in Mae Sa Stream, Doi Suthep-Pui National Park, Chiang Mai. In: V. Baimai & R. Kumhom. **BRT Research Reports 2001** (pp. 17-23). Bangkok: Biodiversity Research and Training Program.
- Pereira, L. (2021). Macroalgae. **Encyclopedia**. 1(1), 177-188.
- Pollution Control Department. (2018). **Work manual of water quality assessment in surface water**. Retrieved from: https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2020/04/pcdnew-2020-04-21_09-32-00_948434.pdf. (in Thai).
- Sudthang, P., Vajrodaya, S., Suwanwong, S., & Sanevas, N. (2011). Vertical diversity of algae in Bueng Boraphet, Nakhon Sawan Province. In **Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference: Plant**. (pp. 105-112). Bangkok: Kasetsart University.
- The Nakhon Si Thammarat Provincial Office of the Comptroller General's Department. (2020). **Water sources**. Retrieved from: http://www.nakhonsithammarat.go.th/web_52/river.php. (in Thai).
- Waiyaka, P. & Buddee, R. (2022). Study on phytoplankton diversity for using as indicator of water quality in water reservoir at Chiang Rai Rajabhat University. **Journal of Science and Technology Phetchabun Rajabhat University**. 2(1), 15-33.
- Wongrat, L. & Boonyapiwat, S. (2003). **Manual of sampling and analytical methods of plankton**. Bangkok: Kasetsart University Press.

วันรับบทความ (Received date) : 5 ต.ค. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 15 ส.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 4 ต.ค. 65

ผลของการสะสมของแอมโมเนียที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการรอดตายของลูกปลาดุกแอฟริกา

The Effect of Ammonia Accumulation on Growth and Survival of African Catfish Fingerlings

สรารุท เย็นเอง^{1*} และ อาภาพงศ์ ชังจันทร์²
Sarawut Yeneng^{1*} and Arpamong Changjan²

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของลูกปลาดุกแอฟริกาที่อนุบาลภายใต้สภาวะควบคุมการสะสมของแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำตลอดช่วงอนุบาล วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design ; CRD) ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง ๆ ละ 4 ซ้ำ คือ ไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ (ชุดควบคุม) เปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแอมโมเนียสะสม 1-2 , 4-5 และ 25-26 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ลูกปลาทดลองมีอายุเริ่มต้น 15 วัน น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.42 ± 0.03 กรัม ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 3.85 ± 0.11 เซนติเมตร อนุบาลด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ ให้กินจนอิ่ม วันละ 3 ครั้ง ทดลองในถังพลาสติกจุน้ำ 50 ลิตร ใส่ลูกปลาถังละ 50 ตัว ใช้เวลา 31 วัน ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ช่วงแอมโมเนีย 1-2 และ 4-5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ลูกปลาเจริญเติบโตดีที่สุด สูงกว่าชุดควบคุม ($P \leq 0.05$) และลูกปลารอดตายสูงกว่าทุกสิ่งทดลอง ($P \leq 0.05$) เมื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ช่วงแอมโมเนีย 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร สภาวะนี้ใช้น้ำ 15 ลิตร ต่อผลผลิตลูกปลา 1 ตัว ความเป็นกรด-ด่าง 7.03-7.87 อุณหภูมิ 28.24-30.03 องศาเซลเซียส ความเป็นด่าง 76.67-193.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ออกซิเจนละลายน้ำ 0-4.85 มิลลิกรัมต่อลิตร และความขุ่น 0-51.70 เอ็นทียู

คำสำคัญ: แอมโมเนีย การเจริญเติบโต การรอดตาย ลูกปลาดุกแอฟริกา

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of ammonia concentration with various levels on the growth and survival rate of African catfish fingerlings and the change of water quality throughout the nursing periods. The experiment was Completely Randomized Design (CRD) 4 treatments each having 4 replications. Treatment 1 did not perform the water exchange and in treatment 2-4, 50 percent of water were exchanged when accumulated ammonia was 1-2, 4-5 and 25-26 mg/L, respectively. The experimental animals aged 15 days. The average initial weight were 0.42 ± 0.03 g. and 3.85 ± 0.11 cm., respectively. The fingerlings were fed floating pellets with 35 percent protein levels. Feeding was done 3 times a days. Nursing was conducted in a plastic tanks containing 50 liters freshwater with 50 fishs per tank. The duration of the experiment was 31 days. The results found that the water exchange at the ammonia levels of 1-2 and 4-5 mg/L, affected the highest growth of the fingerlings and higher than the control. ($P \leq 0.05$) Water exchange when ammonia 1-2 mg/L, the survival of fingerlings was higher than that in all experiments. ($P \leq 0.05$) This condition also used 15 liters of water per fish, pH between 7.03-7.87, temperature between 28.24-30.03 °C, alkalinity between 76.67-193.75 mg/L, dissolved oxygen 0-4.85 mg/L and turbidity between 0-51.70 NTU.

Keywords : Ammonia, growth, survival, African catfish fingerlings

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

¹ Faculty of Science and Technology Pathumwan Institute of Technology, Bangkok

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

² Faculty of Science and Technology Pathumwan Institute of Technology, Bangkok

*Corresponding author e-mail: yeneng0687@gmail.com

คำนำ

ปลาอุกแอฟริกา (*Clarias gariepinus*) หรือที่รู้จักกันในชื่อปลาดุกยักษ์ ปลาดุกรัสเซีย หรือปลาดุกเทศ ปลาชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา เป็นปลาน้ำจืดที่ไม่มีเกล็ด มีลักษณะคล้ายปลาดุกด้านแต่มีขนาดโตกว่า ปลาชนิดนี้นำเข้ามาเลี้ยงในประเทศไทยทดแทนปลาดุกสายพันธุ์พื้นเมือง เช่น ปลาดุกอูย ปลาดุกด้าน เพราะเลี้ยงได้ง่าย โตเร็ว สามารถเลี้ยงได้ด้วยความหนาแน่นสูงได้ ให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่สูง ใช้ระยะเวลาเลี้ยงสั้น และให้น้ำหนักมากกว่าปลาดุกสายพันธุ์พื้นเมือง อีกทั้งทนทานต่อสภาพคุณภาพน้ำที่ต่ำได้ดี ทนทานต่อการขนส่ง และต้านทานโรคสูง ในกลุ่มธุรกิจการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดในประเทศไทย ปลาอุกเป็นปลาที่มีผู้เพาะเลี้ยงนิยมเลี้ยงกันมาก มี 2 ชนิด คือ ปลาอุกแอฟริกาและปลาดุกลูกผสม (Na-Nakorn, 2001) เนื่องจากปลาอุกเป็นแหล่งอาหารโปรตีนคุณภาพดีที่มีราคาถูก แสดงให้เห็นได้จากข้อมูลสถิติการประมงแห่งประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2563 รายงานว่าปลาอุกมีผลผลิต 101,579 ตัน หรือคิดเป็น 21.56 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตปลาน้ำจืดที่ผลิตได้ทั้งหมด มีผลผลิตสูงเป็นอันดับสองของประเทศไทยรองจากปลานิล และมีมูลค่าการผลิตเป็นอันดับ 3 รองจากกุ้งก้ามกราม อีกทั้งผลผลิตมีแนวโน้มสูงกว่าปีที่ผ่านมาเนื่องจากตลาดในประเทศยังมีความต้องการสูง (Department of Fisheries (DOF), 2022)

เนื่องจากความต้องการลูกพันธุ์ปลาอุกมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ลูกพันธุ์ปลาอุกที่ผลิตจากโรงเพาะฟักเป็นที่ต้องการของฟาร์มเลี้ยงปลาเพิ่มมากขึ้น ทำให้ผู้ประกอบการเร่งเพิ่มผลผลิตลูกพันธุ์ปลาให้เพียงพอต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้น ผู้ประกอบการมักให้ความสนใจต่อการเพิ่มผลผลิตลูกปลาจากการให้ความสำคัญกับการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงที่ดี ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการคุณภาพน้ำให้มีคุณภาพดีตลอดเวลานั้นส่งผลให้มีการใช้น้ำปริมาณมากซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต โดยทั่วไปการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่เหมาะสมสำหรับการอนุบาลลูกปลาชนิดนี้ในบ่อซีเมนต์ ควรเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก ๆ 4 วัน จะส่งผลส่งผลในทิศทางที่ดีต่อการเจริญเติบโต (Okomoda et al., 2016) ข้อมูลชี้ให้เห็นว่าการอนุบาลลูกปลาที่ความหนาแน่นสูง จะต้องใช้น้ำปริมาณมาก เนื่องจากปลาอุกเป็นปลาที่มีความต้องการอาหารในปริมาณมากและต้องการสารอาหารที่มีโปรตีนสูง การเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการตกค้างของธาตุอาหารในบ่อซึ่งเกิดจากเศษอาหารที่เหลือจากปลาและสิ่งขับถ่ายของปลา ทำให้เกิดปัญหาการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสม (Tucker & Hargreaves, 2003) ส่งผลให้ปลาที่เลี้ยงเกิดความเครียด อ่อนแอเป็นโรค และตายในที่สุด (Nan et al., 2009)

ในบรรดาพารามิเตอร์คุณภาพน้ำต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปลานั้น แอมโมเนียถือได้ว่าเป็นความสำคัญมากที่สุดในระบบการเพาะเลี้ยงแบบเข้มข้น ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำแอมโมเนียได้มาจากภายในบ่อเลี้ยงเป็นหลัก ได้แก่ สัตว์น้ำย่อยสลายโปรตีนจากอาหารและแอมโมเนียถูกขับถ่ายออกมาผ่านทางเหงือก สิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำในรูปของแข็ง สารอินทรีย์ที่สะสมในบ่อเลี้ยงจากเศษอาหารที่สัตว์น้ำไม่ได้กิน รวมทั้งซากพืชซากสัตว์ที่ตายและถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ Ip et al. (2001) รายงานว่าสัตว์น้ำขับถ่ายสารประกอบไนโตรเจน ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เกิดขึ้นโดยผ่านทางเหงือกในสภาพของแอมโมเนียไม่แตกตัว ซึ่งมีสัดส่วนประมาณ 2.5-3.0 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอาหารที่สัตว์น้ำกินเข้าไป ความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับสภาพการแตกตัว กล่าวคือแอมโมเนียในสภาพไม่แตกตัวจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำที่รุนแรงมากกว่าสภาพแตกตัว เมื่อแอมโมเนียในรูปไม่แตกตัวเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซผ่านเหงือก ทำให้สัตว์น้ำขับถ่ายแอมโมเนียออกจากร่างกายได้ลดลง แอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อจึงสูงขึ้น ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของเลือดสูงขึ้น ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเนื้อเยื่อ เยื่อเซลล์ต่าง ๆ (Ren et al., 2016) ส่งผลต่อระบบประสาทตอบสนองสิ่งกระตุ้นไวผิดปกติ (Ip et al., 2001) ส่งผลเสียต่อระบบสืบพันธุ์ ระบบภูมิคุ้มกัน สารเคมีในเลือด ระบบออสโมลาลิตี (Mckenzie et al., 2003) และระบบต่อมไร้ท่ออีกด้วย (Spencer et al., 2008) ส่งผลให้สัตว์น้ำอ่อนแอ ติดเชื้อโรคได้ง่าย และการเจริญเติบโตลดลง นอกจากนี้การปล่อยน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงปลาลงสู่สิ่งแวดล้อมจนเกินขีดจำกัด ก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนแอมโมเนียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากแอมโมเนียเป็นก๊าซพิษที่เร่งปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ของระบบนิเวศน์ (Krupa, 2003) ส่งผลให้สาหร่ายและวัชพืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำเน่าเสีย และออกซิเจนในน้ำลดลง

จากการค้นคว้างานวิจัยด้านผลของแอมโมเนียที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต การรอดตายของปลาชนิดต่าง ๆ และผลต่อตัวชี้วัดคุณภาพน้ำต่าง ๆ พบว่ามีรายงานของ Pinto et al. (2007) รายงานว่าเมื่อนำปลาไปเลี้ยงที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ไม่ทำให้ปลาตาย จะมีผลทำให้ปลากินอาหารและมีการเจริญเติบโตลดลง Schram et al. (2010) รายงานว่าแอมโมเนียในรูปไม่แตกตัวที่ความเข้มข้น 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้การเจริญเติบโตและการกินอาหารของปลาดุกแอฟริกาตกลง Lemarie et al. (2004) รายงานว่าสัดส่วนของแอมโมเนียไม่แตกตัวซึ่งเป็นสภาพเป็นพิษต่อสัตว์น้ำจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มขึ้น Takasusuki et al. (2004) รายงานว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นชักนำให้แอมโมเนียอยู่ในสภาพเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น และ Wajsbro et al. (1991) รายงานว่าแอมโมเนียอยู่ในสภาพที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำเพิ่มขึ้นเมื่อออกซิเจนละลายน้ำลดลง ดังนั้นโรงเพาะฟักจึงควรให้ความสำคัญในการควบคุมการสะสมของแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงให้อยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลต่อสุขภาพและการเจริญเติบโตของลูกปลา เพื่อให้ได้รับลูกพันธุ์ปลาที่มีคุณภาพดี สุขภาพแข็งแรง ต้านทานโรค ปลอดภัย และรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม โดยควรปฏิบัติตามข้อแนะนำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดีสำหรับฟาร์มเพาะพันธุ์และอนุบาลสัตว์น้ำจืด (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards [ACFS], 2018) และควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งของฟาร์มไม่ให้เกินมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department [PCD], 2014) ควรควบคุมค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมและแอมโมเนียอิสระให้อยู่ในที่ไม่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำ คือ ไม่ควรเกิน 0.05 และ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Macintyre et al., 2008) และควรปฏิบัติตามข้อแนะนำของ FAO/NACA (1995) ซึ่งได้แนะนำมาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการประมง แอมโมเนียรวมไม่ควรเกิน 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากข้อมูลรายงานการวิจัยที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่ารายงานการศึกษาระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการรอดตายของสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ นั้นมีค่าแตกต่างกัน อีกทั้งการศึกษาในลูกปลาดุกแอฟริกาที่ผ่านมายังมีการศึกษากันน้อย เนื่องจากลูกปลาดุกแอฟริกาสามารถทนทานต่อสภาพคุณภาพน้ำที่ต่ำได้ดี แตกต่างจากปลาน้ำจืดชนิดอื่น แต่กลับยังไม่ปรากฏข้อมูลที่แน่ชัดเกี่ยวกับการศึกษาผลของการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อควบคุมการสะสมของแอมโมเนียให้อยู่ในช่วงความเข้มข้นต่างกันั้นจะส่งผลให้การเจริญเติบโตและการรอดตายของลูกปลาชนิดนี้แตกต่างกันหรือไม่ และที่ช่วงเวลาใดของการทดลองที่เริ่มส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลงหรือส่งผลให้ลูกปลาทาย ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งศึกษาการเจริญเติบโตและการรอดตายของลูกปลาดุกแอฟริกาที่อนุบาลภายใต้สภาวะควบคุมการสะสมของแอมโมเนียในช่วงความเข้มข้นต่างกัน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงตัวชี้วัดคุณภาพน้ำต่าง ๆ ตลอดช่วงการอนุบาล ผลการศึกษานี้ทำให้ได้รับองค์ความรู้ช่วงความเข้มข้นของแอมโมเนีย และช่วงเวลาที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการรอดตายของลูกปลาชนิดนี้อย่างแท้จริง องค์ความรู้นี้จึงเป็นฐานความรู้ที่จำเป็นสำหรับใช้เป็นแนวทางในการกำหนดช่วงเวลาในการเปลี่ยนถ่ายน้ำได้อย่างเหมาะสมและมีความคุ้มค่าสูงสุด อีกทั้งเป็นแนวทางในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการอนุบาลลูกปลาชนิดนี้

วิธีการศึกษา

แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 สิ่งทดลอง แต่ละสิ่งทดลองทำซ้ำกัน 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 ตัว มี 16 หน่วยทดลอง คือ สิ่งทดลองที่ 1 ไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ (Control) (Do not exchange the Water; DCW) สิ่งทดลองที่ 2 เปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแอมโมเนียสะสม 1-2 มิลลิกรัม/ลิตร (Water exchange when accumulated ammonia 1-2 milligram per liters; WCA 1-2 mg./L) สิ่งทดลองที่ 3 เปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแอมโมเนียสะสม 4-5 มิลลิกรัม/ลิตร (Water exchange when accumulated ammonia 4-5 milligram per liters; WCA 4-5 mg./L) และสิ่งทดลองที่ 4 เปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแอมโมเนีย

สะสม 25-26 มิลลิกรัม/ลิตร (Water exchange when accumulated ammonia 25-26 milligram per liters; WCA 25-26 mg/L)

การเตรียมน้ำที่ใช้ทดลอง

ใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำธรรมชาติของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครศรีธรรมราช ก่อนนำมาใช้ทดลองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นต่าง ออกซิเจนละลายน้ำ แอมโมเนีย และความขุ่น

การเตรียมสัตว์ทดลอง

ลูกปลาที่ใช้ในการทดลองได้รับจากฟาร์มเพาะพันธุ์ปลาเอกชน มีอายุเริ่มต้น 10 วัน ฝึกลูกปลาก่อนการทดลอง โดยช่วงแรกอนุบาลด้วยไรแดงและฝึกให้กินอาหารเม็ดเล็กพิเศษ จนลูกปลาอายุครบ 15 วัน จึงนำมาใช้ในการทดลอง

การเตรียมพื้นที่ทดลอง

ดำเนินการทดลองภายในอาคารเพาะพันธุ์ปลา แผนกวิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยี นครศรีธรรมราช อ.ช้างกลาง จ.นครศรีธรรมราช ภาชนะที่ใช้อนุบาลลูกปลาเป็นถังพลาสติกทรงกระบอกสีดำ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร จัดวาง 4 แถว แต่ละแถววางภาชนะ 4 ใบ เติมน้ำใบละ 50 ลิตร ไม่มีการให้ออกซิเจนตลอดช่วงการอนุบาล ใส่ลูกปลาลงในถัง ละ 50 ตัว ตรวจวัดสภาพแวดล้อมสถานที่ทดลองทุกวัน ต่อเนื่องกัน เป็นเวลา 31 วัน ซึ่งอุณหภูมิห้อง มีค่าอยู่ในช่วง 28.60 – 32.45 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าอยู่ในช่วง 62.50– 81.50 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ย 67.65 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มแสง มีค่าอยู่ในช่วง 288.00 – 361.38 ลักซ์

อาหารและการให้อาหาร

อนุบาลลูกปลาด้วยอาหารสำเร็จรูปลอยน้ำ มีโปรตีนไม่น้อยกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน ไม่น้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย ไม่น้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น ไม่มากกว่า 11 เปอร์เซ็นต์ ให้อาหารวันละ 3 ครั้ง (เวลา 9.00 , 14.00 และ 19.00 น.) โดยให้กินทีละน้อยจนอิ่ม (Satiation) ตามความต้องการของลูกปลาตลอดช่วงการทดลอง

การเปลี่ยนถ่ายน้ำ

เปลี่ยนถ่ายน้ำใช้วิธีการกลั่นน้ำโดยใช้สายยางดูดน้ำจากกันถัง จนระดับน้ำในถังลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตร น้ำทั้งหมด การเปลี่ยนถ่ายน้ำพิจารณาจากปริมาณแอมโมเนียสะสมของแต่ละสิ่งทดลอง โดยดำเนินการเปลี่ยนถ่ายน้ำช่วงเย็น (18.00-19.00 น.) ของแต่ละวัน ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ของแต่ละสิ่งทดลอง คือ สิ่งทดลองที่ 1 ไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ ปริมาตรน้ำที่ใช้ทั้งหมด 50 ลิตร สิ่งทดลองที่ 2 เปลี่ยนถ่ายน้ำ 28 ครั้ง ในวันที่ 3 , 5 และ 6 - 31 ปริมาตรน้ำที่ใช้ทั้งหมด 750 ลิตร (15 ลิตรต่อตัว) สิ่งทดลองที่ 3 มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 24 ครั้ง ในวันที่ 6 , 8 และ 10 - 31 ปริมาตรน้ำที่ใช้ทั้งหมด 650 ลิตร (13 ลิตรต่อตัว) และ สิ่งทดลองที่ 4 มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 10 ครั้ง ในวันที่ 17 , 19 - 20 , 22 - 27 และ 29 ปริมาตรน้ำที่ใช้ทั้งหมด 300 ลิตร (6 ลิตรต่อตัว)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บข้อมูลทุกวัน ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 31 วัน โดยสุ่มตัวอย่างลูกปลานำมาชั่งน้ำหนัก และวัดขนาดความยาว คำนวณน้ำหนักและความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการรอดตาย เก็บตัวอย่างน้ำเวลา 8.00-8.30 น. ทุกวัน วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ น้ำ (°C) วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ได้แก่ ค่าความเป็นต่าง ใช้วิธี Titration methods ออกซิเจนที่ละลายน้ำ ใช้วิธี Azide Modification Methods ความขุ่น ใช้วิธี Absorbometric Methods และแอมโมเนียไนโตรเจน ใช้วิธี Phenate methods

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้รับมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way Analysis of Variance; ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองเป็นรายคู่ ด้วยวิธีการทดสอบค่าความต่างที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด (Least Significant Difference ; LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโตและการรอดตายของลูกปลา

การอนุบาลลูกปลาอุกแอฟริกาภายใต้สภาวะควบคุมการสะสมแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซนต์ เป็นเวลา 31 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การควบคุมการสะสมของแอมโมเนียโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำในช่วงแอมโมเนีย 1-2 และ 4-5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้น้ำหนักสุดท้ายของลูกปลามีค่าสูงที่สุด (16.43 ± 1.52 กรัม และ 17.48 ± 0.95 กรัม) มีค่าสูงกว่าช่วงแอมโมเนีย 25-26 มิลลิกรัมต่อลิตร (15.00 ± 0.58 กรัม) และชุดควบคุม (12.27 ± 0.55 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การควบคุมแอมโมเนียสะสมโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำในช่วงแอมโมเนีย 1-2 , 4-5 และ 25-26 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน 0.52 ± 0.05 , 0.55 ± 0.03 และ 0.47 ± 0.02 กรัมต่อวัน ตามลำดับ มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม (0.38 ± 0.02 กรัมต่อวัน) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การควบคุมการสะสมแอมโมเนียโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำในช่วงแอมโมเนีย 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้อัตราการรอดตายของลูกปลาสูงที่สุด ($96.50 \pm 1.91\%$) สูงกว่าสภาวะอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การควบคุมแอมโมเนียสะสมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ช่วงวันที่ 1-16 ของการอนุบาลไม่ส่งผลให้น้ำหนักสะสมของลูกปลาแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่หลังจากวันที่ 16 ของการอนุบาลเป็นต้นไป สภาวะที่ควบคุมแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (1-2 และ 4-5 mg/L) ส่งผลให้น้ำหนักสะสมของลูกปลามีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (Table 1) (Figure 1)

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการสะสมของแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงในระดับมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ติดต่อกันเป็นเวลานาน จะส่งผลต่อการเจริญเติบโต และการรอดตายของลูกปลา โดยแสดงให้เห็นเด่นชัดในช่วงวันที่ 16 ของการอนุบาลเป็นต้นไป แอมโมเนียที่สะสมในบ่อเลี้ยงซึ่งเกิดจากสิ่งขับถ่ายของลูกปลา รวมถึงเศษอาหารตกค้าง สิ่งเหล่านี้เกิดการย่อยสลายด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งเป็นกระบวนการออกซิเดชันของสิ่งมีชีวิต ในสภาวะที่สมดุล แอมโมเนียจะเปลี่ยนรูปไปเป็นไนตริก แต่เมื่อกระบวนการนี้สูญเสียความสมดุลไปเนื่องจากสิ่งขับถ่ายสะสมมากเกินไป จะทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนโตรที่สูงขึ้นจนเป็นสาเหตุของการตายของปลา (Svobodova et al., 2005) ข้อมูลยังชี้ให้เห็นอีกว่าการสะสมของแอมโมเนียในระดับที่มากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลให้อัตราการการรอดตายของลูกปลาลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะนี้แอมโมเนียมีการสะสมในระดับสูง ออกซิเจนละลายน้ำมีค่าลดลง และความเป็นกรด-ด่างมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้เพิ่มความเป็นพิษของแอมโมเนีย ทำให้เป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Lemarie et al. (2004) รายงานว่าความเป็นพิษของแอมโมเนียส่งผลต่อตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำ สอดคล้องกับรายงานของ Wajsbrol et al. (1991) รายงานว่าแอมโมเนียมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเพิ่มขึ้นเมื่อออกซิเจนละลายน้ำลดลง เมื่อออกซิเจนละลายน้ำน้อยกว่า 85 เปอร์เซนต์ ของจุดอิ่มตัว ทำให้ปลาหงุดหงิด มีความไวต่อแอมโมเนียมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Boyd (1982) รายงานว่าเมื่อความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น แอมโมเนียจะเปลี่ยนรูปอยู่ในสภาพที่ไม่แตกตัวมากขึ้น ซึ่งเป็นสภาพที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ในรายงานของ Ren et al. (2016) รายงานว่าพิษของแอมโมเนียส่งผลเสียต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซผ่านเหงือก ทำให้ลูกปลาขับถ่ายแอมโมเนียออกจากร่างกายได้ลดลง แอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อจึงสูงขึ้น ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของเลือดสูงขึ้น ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเนื้อเยื่อ เยื่อเซลล์ต่าง ๆ ส่งผลให้สัตว์น้ำอ่อนแอ ติดเชื้อโรคได้ง่าย และการเจริญเติบโตลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Pinto et al. (2007) รายงานว่าเมื่อนำปลาไปเลี้ยงที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ไม่ทำให้ปลาตาย จะมีผลทำให้ปลากินอาหารและมีการเจริญเติบโตลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Tomasso et al. (1980) รายงานว่าความเป็นพิษของแอมโมเนียในรูปแบบแตกตัว ที่ทำให้ลูกปลา Channel Catfish

(*Ictalurus punctatus*) ขนาด 7-13 เซนติเมตร ตาย 50 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเป็นกรด-ด่าง 7, 8 และ 9 (อุณหภูมิ น้ำ 21-25 °C และความกระด้างของน้ำ 40 mg/L) คือ 263.6, 38.8 และ 4.5 มก./ลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับ รายงานของ Sheehan & Lewis (1986) รายงานค่าความเป็นพิษเฉียบพลันจากแอมโมเนียชนิดแอมโมเนียมคลอไรด์ โดย แสดงค่าความเข้มข้นที่เป็นพิษอยู่ในรูปไม่แตกตัวที่ทำให้ลูกปลา Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) ขนาด 16 กรัม ตาย 50 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 24 ชั่วโมง (ที่ความเป็นกรด-ด่าง 7.2 และ อุณหภูมิ น้ำ 21 องศาเซลเซียส) คือ 1.04 มก./ลิตร ผลการทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแอมโมเนียอยู่ในช่วง 1-2 และ 4-5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสภาวะที่ลูกปลาเจริญเติบโตสูงสุด สอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Okomoda et al. (2016) ที่แนะนำว่าการอนุบาลลูก ปลาชนิดนี้ ควรเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างน้อย ทุกวัน 4 วัน อีกทั้งผลการทดลองครั้งนี้ยังชี้ให้เห็นว่ารูปแบบการจัดการน้ำที่ เหมาะสมช่วยให้สามารถใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์คุ้มค่าสูงสุด และเหมาะสมในการนำไปปรับใช้ สำหรับอนุบาลลูกปลาชนิดนี้ในสภาวะที่มีน้ำจำกัด หรือช่วงหน้าแล้ง และช่วยลดปริมาณน้ำเสียที่ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

Table 1 Growth parameters of African Catfish Fingerlings by nursing under condition controlled accumulated ammonia at different levels for 31 days.

parameters	Different levels of ammonia			
	Control	WCA 1-2 mg/L	WCA 4-5 mg/L	WCA 25-26 mg/L
Initial wt. (g/fish)	0.40± 0.08 ^a	0.41± 0.01 ^a	0.45±0.06 ^a	0.38±0.07 ^a
Final wt. (g/fish)	12.27±0.55 ^a	16.43±1.52 ^c	17.48±0.95 ^c	15.00±0.58 ^b
Weight gain (g/fish)	11.86±0.57 ^a	16.02±1.52 ^{bc}	17.03±0.89 ^c	14.62±0.56 ^b
ADG (g/fish/day)	0.38±0.02 ^a	0.52±0.05 ^{bc}	0.55± 0.03 ^c	0.47±0.02 ^b
Initial length (cm/fish)	3.73±0.14 ^{ab}	3.84± 0.08 ^{ab}	3.91±0.19 ^b	3.67±0.16 ^a
Final length (cm/fish)	11.53±0.47 ^a	12.99±0.61 ^b	12.84±0.25 ^b	12.51±0.65 ^b
length gain (cm)	7.80±0.53 ^a	9.15±0.56 ^b	8.94± 0.42 ^b	8.84±0.56 ^b
ADG (cm/fish/day)	0.26±0.02 ^a	0.30±0.19 ^b	0.29± 0.01 ^b	0.29±0.02 ^b
Survival rate (%)	87.5±3.79 ^a	96.5±1.91 ^b	90.0±1.63 ^a	87.0±3.46 ^a

Note: Value are mean. Mean values followed by the different letter in row were significantly different at 95% by LSD test.

ADG= Average daily growth (g/fish/day (cm/fish/day), wt.= weight.

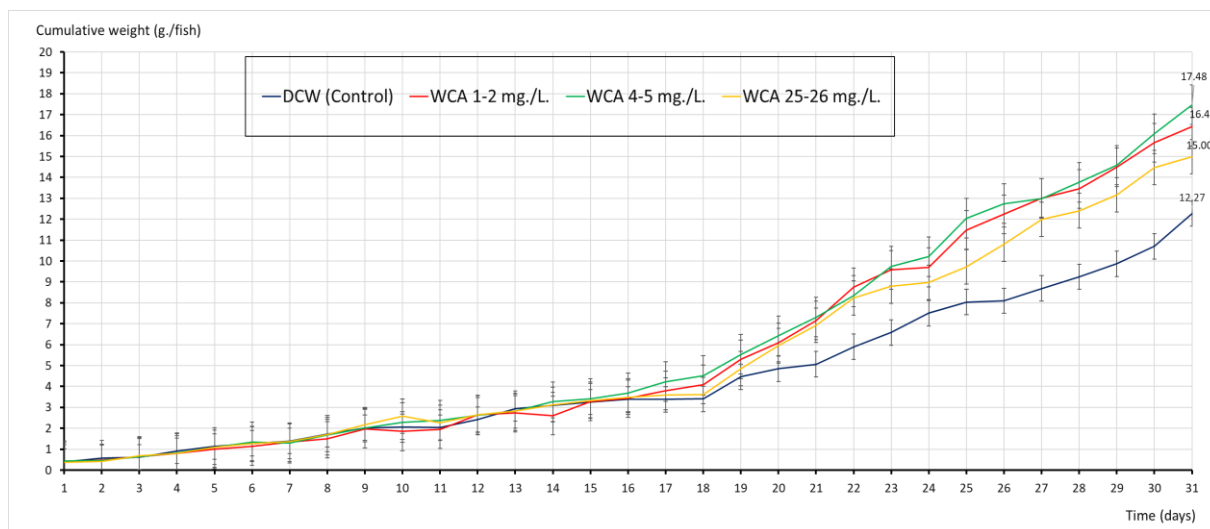


Figure 1 The change in cumulative weight (g/fish) of African Catfish Fingerlings by nursing under condition controlled accumulated ammonia at different levels for 31 days.

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำแต่ละตัวชี้วัด ภายใต้สภาวะควบคุมแอมโมเนียที่ระดับ 1-2 , 4-5 , 25-26 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ชุดควบคุม หลังจากอนุบาลเป็นเวลา 31 วัน (Figure 2) มีรายละเอียดดังนี้

ความเป็นกรด-ด่าง เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า สภาวะที่ไม่ควบคุมแอมโมเนีย ความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าสูงสุด (7.76 ± 0.12) สูงกว่าทุกสภาวะที่ศึกษา ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะที่ไม่ควบคุมแอมโมเนียจะเกิดการสะสมของเกลือคาร์บอเนต บอเรตหรือเกลือฟอสเฟต ซึ่งเกิดจากสิ่งขับถ่ายและเศษอาหารที่ตกค้างสะสมเพิ่มในปริมาณมากกว่าสภาวะที่มีการควบคุมแอมโมเนีย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำซึ่งเกิดจากการหายใจของลูกปลาหรือจุลินทรีย์ในน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนไบคาร์บอเนต ส่งผลให้ค่าความเป็นด่างของน้ำมีค่าสูงขึ้น เมื่อน้ำมีความเป็นด่างสูงจึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าสูงขึ้น สอดคล้องกับทฤษฎีของ Tanthulwet & Phomprapha (1996) รายงานว่า เมื่อน้ำมีความเป็นด่างสูงขึ้น จะป้องกันไม่ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลงมาก ถ้าความเป็นด่างต่ำ การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในรอบวันจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับทฤษฎีของ Tucker & Hargraves (2004) ซึ่งรายงานว่าการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะไม่มีการสังเคราะห์แสง จะมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำลดลง และเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลงก็ทำให้กรดคาร์บอนิกลดลงด้วย ค่าความเป็นกรด-ด่าง จึงกลับมาสูงขึ้นอีกครั้ง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง ของทุกสิ่งทดลองยังมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของลูกปลา คือมีค่าอยู่ในช่วง 6.96-8.06 สอดคล้องกับรายงานของ Marimuthu et al. (2019) แนะนำการอนุบาลปลาตู้แอฟริกา ควรมีค่าอยู่ในช่วง 6.7 – 7.5 และ Lowson (1995) แนะนำว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ควรเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2 หน่วยในรอบวันอุณหภูมิ น้ำ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ทุกสภาวะที่ทดลองอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเหนือผิวน้ำ ได้แก่ แสง ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิอากาศ (Tucker & Robinson, 1990) สิ่งเหล่านี้เป็นอิทธิพลภายนอกที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ น้ำ และยังส่งผลต่อการกินอาหารและมีผลการเจริญเติบโตของลูกปลาตู้แอฟริกาอย่างมีนัยสำคัญ (Peter, 1988) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าทุกสิ่งทดลองมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันและทิศทางเดียวกัน มีค่าอยู่ในช่วง 27.95 – 30.05 องศาเซลเซียส ถือว่าเป็นช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลาในเขตร้อนทั่วไป ตามข้อเสนอแนะของ Tanthulwet & Phomprapha (1996) คือ ควรอยู่ในช่วง 23-32 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Tucker & Robinson (1990) คือ ควรอยู่ในช่วง 27-29 องศาเซลเซียส และสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Peter (1988) ซึ่งช่วงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของลูกปลาตู้แอฟริกา ควรมีค่าอยู่ในช่วง 26-32 องศาเซลเซียส

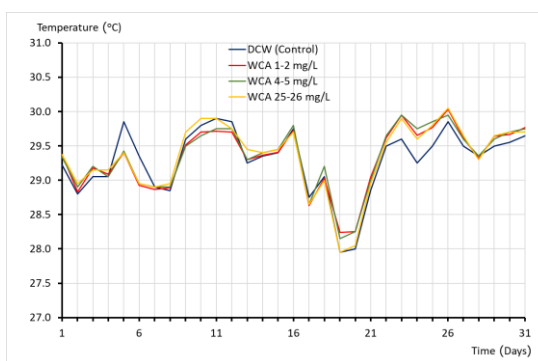
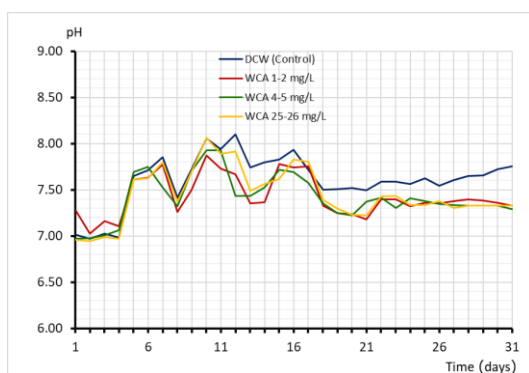
อุณหภูมิ น้ำ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ทุกสภาวะที่ทดลองอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเหนือผิวน้ำ ได้แก่ แสง ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิอากาศ (Tucker & Robinson, 1990) สิ่งเหล่านี้เป็นอิทธิพลภายนอกที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ น้ำ และยังส่งผลต่อการกินอาหารและมีผลการเจริญเติบโตของลูกปลาตู้แอฟริกาอย่างมีนัยสำคัญ (Peter, 1988) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าทุกสิ่งทดลองมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันและทิศทางเดียวกัน มีค่าอยู่ในช่วง 27.95 – 30.05 องศาเซลเซียส ถือว่าเป็นช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลาในเขตร้อนทั่วไป ตามข้อเสนอแนะของ Tanthulwet & Phomprapha (1996) คือ ควรอยู่ในช่วง 23-32 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Tucker &

Robinson (1990) คือ ควรอยู่ในช่วง 27-29 องศาเซลเซียส และสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Peter (1988) ซึ่งช่วงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของลูกปลาดุกแอฟริกา ควรมีค่าอยู่ในช่วง 26-32 องศาเซลเซียส

ความเป็นต่าง เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า สภาวะที่ไม่ควบคุมแอมโมเนีย ความเป็นต่างของน้ำมีค่าสูงที่สุด (811.88 ± 14.13 mg/L) สูงกว่าทุกสภาวะที่ศึกษา ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะที่ไม่ควบคุมแอมโมเนีย ส่งผลให้เกิดการสะสมของเกลือของคาร์บอเนต บอเรต และฟอสเฟต ซึ่งเกิดจากสิ่งขับถ่ายและเศษอาหารที่ตกค้าง ส่งผลให้ความเป็นต่างมีค่าสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงความเป็นต่างภายใต้สภาวะนี้มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเพิ่มขึ้นจากต่ำไปหาสูง และเพิ่มปริมาณในระดับที่สูงกว่าสภาวะที่ควบคุมการสะสมแอมโมเนีย ($P \leq 0.05$) ข้อมูลยังชี้ให้เห็นว่าสภาวะที่ไม่ควบคุมแอมโมเนียส่งผลให้ค่าความเป็นต่างของน้ำมีค่าสูงเกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 21 ของการอนุบาล ซึ่งเป็นระดับที่สูงกว่าช่วงที่แนะนำไว้โดย Tucker & Robinson (1990) ที่ได้แนะนำว่า ความเป็นต่างควรมีค่าอยู่ในช่วง 10-400 มิลลิกรัมต่อลิตร สอดคล้องกับทฤษฎีของ Lowson (1995) รายงานว่าค่าความเป็นต่างตามธรรมชาติไม่ถือว่าเป็นพิษ ค่าความเป็นต่างจะมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ คือ เมื่อน้ำมีความเป็นต่างสูงขึ้นจะเป็นตัวช่วยควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างเร็วเกินไป แต่ถ้าความเป็นต่างต่ำ การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างในรอบวันจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ออกซิเจนละลายน้ำ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของทุกสิ่งทดลอง มีค่าเป็น 0 ทั้งนี้เนื่องจากลูกปลาน้ำออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมตลอดเวลา และจุลินทรีย์ในน้ำก็ใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ (Boyd, 1982) จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนของทุกสิ่งทดลองมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางลดลงอย่างต่อเนื่องตามช่วงเวลาอนุบาล แต่อย่างไรก็ตามทุกสภาวะที่ทดลอง เมื่อน้ำขาดออกซิเจนกลับไม่ส่งผลทำให้ลูกปลาตายในจำนวนมากนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากออกซิเจนจากบรรยากาศสามารถแพร่กระจายผ่านผิวน้ำ ซึ่งบริเวณผิวน้ำยังมีออกซิเจนละลายอยู่ อีกทั้งลูกปลาชนิดนี้มีอวัยวะพิเศษช่วยในการหายใจอยู่ในช่องเหงือก (Van Weerd, 1995) ลูกปลาสามารถดึงออกซิเจนบริเวณผิวน้ำได้โดยตรง จึงทำให้ลูกปลาชนิดนี้สามารถทนทานต่อสภาวะขาดออกซิเจนได้ สอดคล้องกับรายงานของ Toko et al. (2006) ได้รายงานว่าลูกปลาชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่ออกซิเจนละลายน้ำที่มีค่าต่ำ อยู่ในช่วง 0.9 - 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และ Van Weerd (1995) รายงานว่าลูกปลาชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่ออกซิเจนละลายน้ำต่ำเพียง 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความขุ่น เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า สภาวะที่ไม่ควบคุมแอมโมเนีย ความขุ่นของน้ำมีค่าสูงที่สุด (147.33 ± 23.18 NTU) สูงกว่าทุกสภาวะ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสภาวะที่ไม่ควบคุมการสะสมแอมโมเนียส่งผลให้เกิดการสะสมสารแขวนลอยจากเศษอาหารที่ตกค้าง สิ่งขับถ่าย และสารละลายอินทรีย์ที่สะสมเพิ่มปริมาณสูงกว่าสภาวะที่ควบคุมแอมโมเนีย เมื่อพิจารณาเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่แนะนำไว้ของ Tanthulwet & Phomprapha (1996) ได้กำหนดความขุ่นที่เหมาะสมสำหรับเลี้ยงปลาน้ำจืด ควรมีค่าอยู่ในช่วง 5-10 เอ็นทียู ข้อมูลชี้ให้เห็นว่าสภาวะที่ไม่ควบคุมแอมโมเนีย และสภาวะที่ควบคุมแอมโมเนีย 25-26 มิลลิกรัมต่อลิตร ความขุ่นมีค่าสูงเกินระดับที่แนะนำในวันที่ 9 เป็นต้นไป ซึ่งความขุ่นที่มีค่าสูงส่งผลต่อแสงที่ส่องผ่านได้ลดลง ส่งผลต่อสุขภาพสัตว์น้ำ เนื่องจากสารแขวนลอยอาจเข้าไปอุดตันภายในช่องเหงือกของลูกปลา ทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดประสิทธิภาพลง ส่งผลให้เจริญเติบโต (Tanthulwet & Phomprapha, 1996)



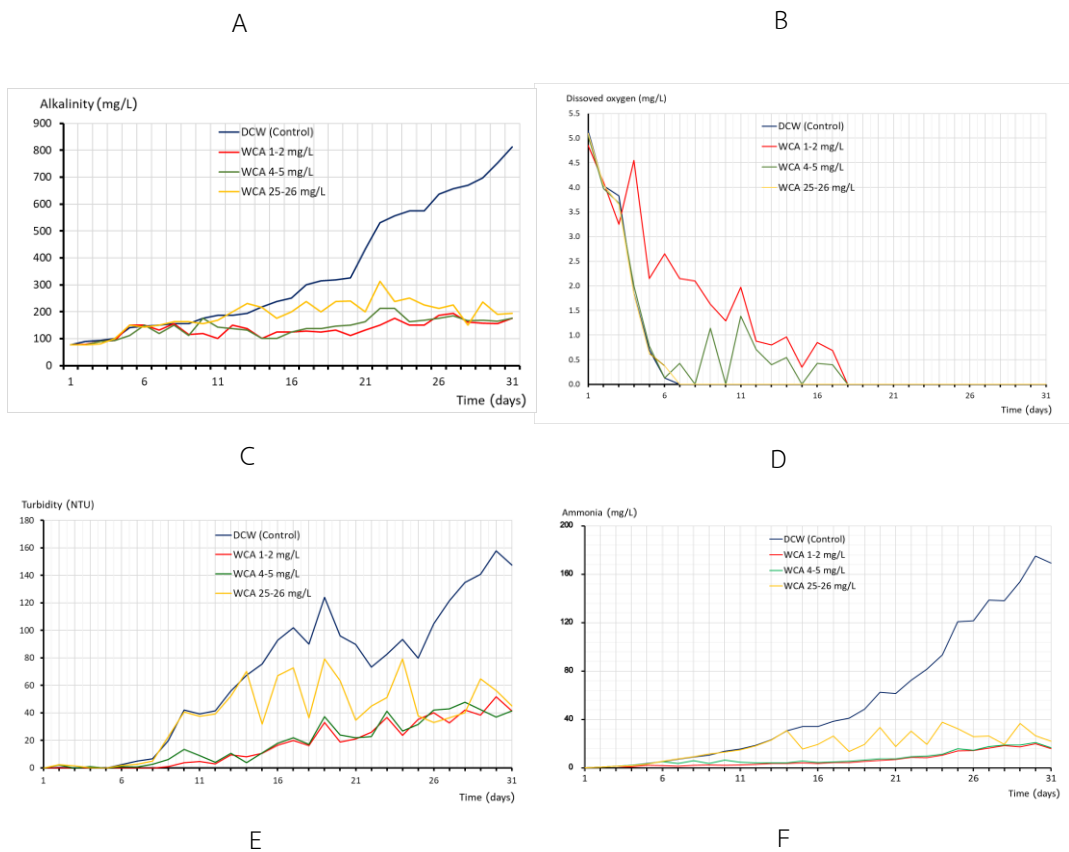


Figure 2 The changes in water quality parameters under condition controlled ammonia at different levels for 31 days. (A) pH, (B) Temperature, (C) Alkalinity, (D) Dissolved oxygen, (E) Turbidity, (F) Ammonia.

สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อควบคุมการสะสมของแอมโมเนีย คือ ควรเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแอมโมเนียสะสม 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้น้ำ 15 ลิตร ต่อลูกปลา 1 ตัว สภาวะนี้ให้อัตราการเจริญเติบโตและการรอดตายของลูกปลาสูงที่สุด ความเป็นกรด-ด่าง 7.03-7.87 อุณหภูมิ น้ำ 28.24-30.03 องศาเซลเซียส ความเป็นด่าง 76.67-193.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ออกซิเจนละลายน้ำ 0-4.85 มิลลิกรัมต่อลิตร และความขุ่น 0-51.70 เอ็นทียู

เอกสารอ้างอิง

- Boyd, C. E. (1982). **Water Quality Management for Pond Fish Culture**. Elsevier Sci. Publ. CO., Amsterdam. 30 pp.
- Britz, P. J. (1988). **Environmental Requirement for the Hatchery Rearing of African Catfish *Clarias gariepinus* (pisces: Clariidae) Larvae and Juveniles**. Degree of Master of Science: Rhodes University.
- Department of Fisheries [DOF]. (2022). **Fisheries Statistics Of Thailand. 2020**. Bangkok: Fisheries Development Policy and Planning Division.
- FAO/NACA. (1995). Regional study and workshop on the environmental assessment and management of aquaculture development. (TCP/RAS/2253). **NACA Environment and Aquaculture Development**. Series No.1 NACA, Bangkok, Thailand.
- Ip, Y. K., Chew, S. F., & Randall, D. J. (2001). Ammonia toxicity, tolerance and excretion. In: Wright, P. A., Anderson, P. M. (Eds.) **Fish Physiology**, Nitrogen Excretion. 20, 109-148.
- Krupa, S. V. (2003). Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review. **Environmental Pollution**. 124, 179-221.
- Lemarie, G., Dosdat, A., Coves, D., Dutto, G., Gasset, E., & Ruyet, J. P. (2004). Effect of Chronic ammonia exposure on growth of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. **Aquaculture**. 229, 471-491.
- Lowson, T. B. (1995). **Fundamental of Aquacultural Engineering**. New York: Chapman and Hall.
- Marimuthua, K., Palaniandya, H., & Muchlisin, Z. A. (2019). Effect of different water pH on hatching and survival rates of African catfish *Clarias gariepinus* (Pisces: Clariidae). **Aceh Journal of Animal Science**. 4, 80-88.
- Mckenzie, D. J., Peterson, D. W., Peterson, D. L., & Thornton, P. E. (2003). Climatic and biophysical controls on conifer species distributions in mountain forests of Washington State, USA. **Journal of Biogeography**. 30, 1093-1108.
- Nan, I., Ruimei, W., Jian, Z., Zetian, F., & Xiaoshun, Z. (2009). Developing a knowledge-based early warning system for fish disease/health via water quality management. **Expert Systems with Applications**. 36, 6500-6511.
- Na-Nakorn, U. (2001). **Catfish**. (2nded). Bangkok: Kasetsart University Press.
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards [ACFS]. (2018). **GUIDANCE ON THE APPLICATION OF THAI AGRICULTURAL STANDARD, Good aquaculture practices for freshwater animal hatchery and nursery TAS 7421(G)-2518**. Bangkok: Department of Fisheries.
- Okomoda, V. T., Lateef, T. O., & Iortim, M. (2016). The Effect of Water Renewal on Growth of *Clarias gariepinus* Fingerling. **Croatian Journal of Fisheries**, 25-29.
- Pinto, W., Aragao, C., Soares, F., Dinis, M. T., & Conceicao, L. E. C. (2007). Growth, Stress response and free amino acid levels in Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup 1858) chronically exposed to exogenous ammonia. **Aquaculture Research**. 38, 1198-1204.
- Pollution Control Department [PCD]. (2014). **Handbook for evaluating the amount of effluent and pollution from aquaculture activities**. Bangkok: Ministry of Natural Resources and Environment.
- Ren, Q., Li, M., Yuan, L., Song, M., Xing, X., Shi, G., Meng, F., & Wang, R. (2016). Acute ammonia Toxicity in crucian carp *Carassius auratus* and effects of taurine on hyperammonemia. **Comparative Biochemistry and Physiology**. 190, 9-14.
- Schram, E., Roques, J. A. C., Abbink, W., Spanings, T., De, V. P., Bierman, S. M., & Van de Vis, J. W. (2010). The impact of elevated water ammonia concentration on Physiology, growth and feed intake of African catfish (*Clarias gariepinus*). **Aquaculture**. 306, 108-115.
- Sheehan, R. J. & Lewis, W. M. (1986). Influence of pH and Ammonia Salts on Ammonia Toxicity and Water Balance in Young Channel Catfish. **American Fisheries Society**. 115, 891-899.
- Spencer, P., Pollock, R., & Dube, M. (2008). Effects of un-ionized ammonia on histological, endocrine, and whole organism endpoints in slimy sculpin (*Cottus cognatus*). **Aquatic Toxicology**. 90, 300-309.
- Svobodova, Z., Machova, J., Poleszczuk, G., Huda, J., Hamackova, J., & Kroupova, H. (2005). Nitrite poisoning of fish in aquaculture facilities with water-recirculating systems. **Acta Veterinaria Brunensis**. 74, 129-137.
- Takasusuki, J., Araujo, M. M. R., & Fernandes, M. N. (2004). Effect of water pH on copper toxicity in the neotropical fish, *Prochilodus scrofa* (Prochilodontidae). **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. 72, 1075-1082.
- Tanthulwet, M. S. & Phomprapha, P. P. (1996). **Water quality management and wastewater treatment in fish ponds and**

- other aquatic animals (3thed). Bangkok: Thammasat University Press.
- Toko, I., Fiogbe, E. D., Koukpode, B., & Kestemont, P. (2006). Rearing of African catfish (*Clarias gariepinus*) and Vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*) in traditional fish ponds (whedos) effect of stocking density on growth, production and body composition. **Aquaculture**. 262, 65-72.
- Tomasso, J. R., Goudie, C. A., Simco, B. A., & Davis, K. B. (1980). Effects of Environmental pH and Calcium on Ammonia Toxicity in Channel Catfish. **American Fisheries Society**. 109(2), 229-234.
- Tucker, C. S. & Hargreaves, J. A. (2003). Management of effluents from channel catfish (*Ictalurus punctatus*) embankment ponds in the Southeastern United States. **Aquaculture**. 226, 5-21.
- Tucker, C. S. & Hargreaves, J. A. (2004). Biology and Culture of Channel Catfish. **Developments in Aquaculture and Fisheries Science**. 34, 68-72.
- Tucker, C. C. & Robinson, E. H. (1990). **Channel Catfish Farming Handbook**. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Van Weerd, J. H. (1995). Nutrition and growth in *Clarias* species, a review. **Aquat living resour**. 8(4), 395-401.
- Wajsbrot, N., Gasith, A., Krom, M. D., & Popper, D. M. (1991). Acute toxicity of Ammonia to juvenile gilthead seabream *Sparus aurata* under reduced oxygen Levels. **Aquaculture**. 164, 227-288.

วันรับบทความ (Received date) : 8 ต.ค. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 3 ก.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 4 ต.ค. 65

**อิทธิพลของปุ๋ยโพแทสเซียมต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวหอมวาริน
ในดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ**
**Effect of Potassium Fertilizer on Yield and Yield Components of HomWarin
Rice Variety in Low Fertility Sandy Soil**

วรนน คั่นเคย¹ นพมาศ นามแดง¹ ฉันทมาศ เชื้อแก้ว¹ ชีรยุทธ ตูจันดา² และ สุรีพร เกตุงาม^{1*}
Woranan Khonkhoei¹, Nopamas Namdang¹, Chantamart Chueakaew¹, Theerayut Toojinda² and Sureeporn
Katengam^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวหอมวารินในพื้นที่ดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ 5 ตำรับทดลอง ประกอบด้วย ปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 0, 6, 12, 18 และ 24 กิโลกรัม K₂O ต่อไร่ ในแต่ละตำรับทดลองใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส อัตรา 12 และ 8 กิโลกรัม N และ P₂O₅ ต่อไร่ ตามลำดับ โดยแบ่งใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง ครั้งแรกเมื่อข้าวมีอายุ 15 วันหลังปักดำ 40 เปอร์เซ็นต์ของอัตราปุ๋ยทั้งหมด ครั้งที่ 2 ใส่อีก 40 เปอร์เซ็นต์เมื่อข้าวอยู่ในระยะแตกกอ และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 อีก 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อข้าวอยู่ในระยะตั้งท้อง ผลการศึกษาพบว่า ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 18 กิโลกรัม K₂O ต่อไร่ มีผลทำให้ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวหอมวารินสูงสุดและแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญจากตำรับทดลองอื่น (p<0.05) แต่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่ต่างกันไม่มีผลทำให้ความสูง จำนวนต้นตอกอ จำนวนรวงตอกอ น้ำหนักต้นแห้ง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ และผลผลิตของข้าวหอมวารินแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่ 18 กิโลกรัม K₂O ต่อไร่ ให้ผลผลิตของข้าวหอมวารินสูงสุด (927.56 กิโลกรัมต่อไร่)

คำสำคัญ: ข้าว ปุ๋ยโพแทสเซียม ดินทราย ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต

Abstract

The objective of this research was to study the effect of potassium (K) fertilizer rate on growth, yield and yield components of HomWarin rice variety grown in low fertile sandy soils. The experiment was laid out in randomized complete block design (RCBD) with three replications and five rate of K treatments comprising 0, 6, 12, 18 and 24 kg K₂O per rai. Each treatment was applied with nitrogen and phosphorus fertilizers at 12 (N) and 8 (P₂O₅) kg per rai, respectively. Split fertilizers were established in three application timings. The first application was applied 15 days after transplanting with 40 percent of total fertilizer established in treatments. The second and third applications were applied at tillering (40%) and booting stages (20%), respectively. The results revealed that the potassium application at the rate of 18 kg K₂O per rai significantly caused the longest panicle length, number of seeds per panicle and the 1,000 grain weight of HomWarin rice variety (p<0.05). Different rates of the potassium application displayed no significant effects on height, number of tillers per culm, number of panicles per culm, shoot dry weight, filled grain percentage, unfilled grain percentage

¹สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

²ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

¹Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190

²National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

*Corresponding author: sureeporn.k@ubu.ac.th

and grain yield. Nevertheless, potassium fertilizer at 18 kg K₂O per rai tended to produce the highest grain yield of HomWarin (927.56 kg per rai).

Keyword: rice, potassium fertilizer, sandy soil, yield, yield components

คำนำ

ความอุดมสมบูรณ์ของดินมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวเป็นอย่างมาก โดยพื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่ของประเทศไทยอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณ 37.79 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 61.76 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด พันธุ์ข้าวที่ชาวนานิยมปลูกเป็นข้าวไวต์ช่วงแสง เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 กข15 และ กข6 เป็นต้น มีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 352 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งต่ำกว่าภาคอื่น ๆ ของประเทศ ในขณะที่ภาคเหนือมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 563 กิโลกรัม ภาคกลาง 618 กิโลกรัม และภาคใต้ 488 กิโลกรัม (Office of Agricultural Economics, 2021) ซึ่งดินส่วนมากมักเป็นดินทรายมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยเพียง 0.72 เปอร์เซ็นต์ มีธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ต่ำ โดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียม (47 ppm) แตกต่างจากดินในภาคอื่น ๆ ที่มีโพแทสเซียมในปริมาณปานกลางถึงสูง (84-215 ppm) (Land Development Department, 2015; Songmuang & Seetanun, 2000)

ดินทรายมีประสิทธิภาพการอุ้มน้ำต่ำมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารได้น้อย และดินมีสภาพเป็นกรดทำให้โพแทสเซียมถูกชะละลายและสูญเสียไปจากดินได้ง่าย โพแทสเซียมจึงมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตข้าว จึงส่งผลให้ผลผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่ำกว่าภูมิภาคอื่น

โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารหลักสำคัญที่ข้าวมีความต้องการในปริมาณมากใกล้เคียงกับไนโตรเจนเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต โพแทสเซียมมีหน้าที่สำคัญในการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาล เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ ชะลอการสุกแก่ ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเมล็ด ช่วยให้ข้าวมีจำนวนเมล็ด จำนวนเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนักเมล็ด ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตเพิ่มขึ้น (Osotsapa, 2015; Dobermann & Fairhurst, 2000; Römhild & Kirkby, 2010) แต่โพแทสเซียมไม่มีผลต่อการแตกกอ โพแทสเซียมมีส่วนทำให้กระบวนการต่าง ๆ ในต้นข้าวสมบูรณ์ขึ้น ทำให้เมล็ดมีขนาดใหญ่ น้ำหนักดี ต้นข้าวแข็งแรงไม่ล้ม สามารถต้านทานโรคและแมลงได้ดีขึ้น (Dobermann & Fairhurst, 2000; Osotsapa, 2015;) ในบรรดาปุ๋ยธาตุอาหารหลักปุ๋ยโพแทสเซียมมีความสำคัญมากรองลงมาจากปุ๋ยไนโตรเจน การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ 3-20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว (Zhang et al., 2010) และการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทำให้ข้าวมีผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งฟางเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (Saeyang et al., 2021) ทั้งนี้เนื่องจากสภาพพื้นที่ปลูกข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่เป็นดินทรายมักมีปัญหาการขาดธาตุโพแทสเซียม (Foiphikun, 2005) ข้าวที่ปลูกจึงพบว่ามีอาการแคระแกรน การแตกกอลดลง ใบสั้น เที่ยวแห้ง รวงข้าวพอมยาว ขนาด และน้ำหนักของเมล็ดลดลง (Techapinyawat, 2005) ส่งผลให้ข้าวมีผลผลิตต่ำ ดังนั้นการปลูกข้าวในนาดินทรายจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มด้วยเสมอเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของข้าว แต่การทำนาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่ต่ำ Department of Agriculture (2000) ได้แนะนำการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมทางเศรษฐกิจเพื่อให้ได้กำไรสูงสุดสำหรับข้าว โดยทั่วไปในนาดินทรายแนะนำให้ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 3-6 กิโลกรัม K₂O ต่อไร่ ซึ่งอาจจะยังไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและให้ ผลผลิตข้าวในบางพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

นอกจากความอุดมสมบูรณ์ของดินแล้ว พันธุ์ข้าวก็เป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มผลผลิต ข้าวหอมวารินเป็นข้าวเจ้าหอมคุณภาพดี ให้ผลผลิตสูง ทนแล้ง ทนน้ำท่วมฉับพลัน เมล็ดมีกลิ่นหอมและคุณภาพการหุงต้มคล้ายข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Katengam et al., 2011) ข้าวหอมวารินเป็นข้าวพันธุ์ใหม่ที่มีการพัฒนาพันธุ์

เพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อย่างไรก็ตามพื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินทรายที่มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำ และยังไม่มีการรายงานการศึกษาการตอบสนองของข้าวหอมวารินต่อปุ๋ยโพแทสเซียมในพื้นที่ปลูกข้าวนาดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เพื่อให้ได้ผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของข้าวหอมวารินในดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้จะประโยชน์ต่อการจัดการอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่เหมาะสมในพื้นที่ปลูกข้าวโดยอาศัยน้ำฝนในพื้นที่ดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำต่อไป

วิธีการศึกษา

สถานที่และการวางแผนการทดลอง

ดำเนินการทดลอง ณ แปลงทดลองปลูกข้าว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized complete block design) จำนวน 3 ซ้ำ โดยมีอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ 5 ตำรับทดลอง ประกอบด้วยปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 0, 6, 12, 18 และ 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ซึ่งในแต่ละตำรับทดลองใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส อัตรา 12 และ 8 กิโลกรัม N และ P_2O_5 ต่อไร่ ตามลำดับ

การปลูกข้าวและการดูแลรักษา

ดำเนินการปลูกข้าวหอมวารินในแปลงทดลองย่อยขนาด 15 ตารางเมตร จำนวน 15 แปลง โดยวิธีการปักดำ ใช้ระยะปลูก 25x25 เซนติเมตร และใช้ต้นกล้าอายุ 1 เดือน ในแต่ละแปลงย่อยปลูกข้าว จำนวน 10 แถว แถวละ 18 ต้น (ปลูก 1 ต้นต่อจับ) ดินที่ใช้ปลูกข้าวเป็นชุดดินร่อยเอ็ด ซึ่งมีลักษณะเป็นดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร 46-0-0 ปุ๋ยฟอสฟอรัส สูตร 18-46-0 และปุ๋ยโพแทสเซียม สูตร 0-0-60 ตามที่กำหนดในแต่ละตำรับทดลอง โดยแบ่งใส่ 3 ครั้ง ใส่ปุ๋ยครั้งแรกเมื่อข้าวมีอายุ 15 วันหลังปักดำ จำนวน 40 เปอร์เซ็นต์ของอัตราปุ๋ยทั้งหมด ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยอีก 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อข้าวอยู่ในระยะแตกกอ และครั้งที่ 3 ใส่ปุ๋ยอีก 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อข้าวอยู่ในระยะตั้งท้อง ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะใส่พร้อมกับปุ๋ยโพแทสเซียม และใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (มีปริมาณอินทรีย์วัตถุตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์) พร้อมการใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ กำจัดวัชพืช รักษาน้ำในแปลงไว้ที่ระดับ 5-10 เซนติเมตร ตลอดฤดูการปลูก

การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแต่ละแปลงย่อยตามตำรับทดลอง จำนวน 15 จุด นำดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำดินไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง อัตราส่วนดิน:น้ำ 1:1 โดยใช้เครื่อง pH meter วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยสกัดด้วยน้ำยา Bray II และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer และวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยใช้ 1N NH_4OAc (pH 7) เป็นน้ำยาสกัด และวัดค่าด้วยเครื่อง Flame photometer และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร สำหรับวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ด้วยวิธี Walkley and Black วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยวิธี Kjeldahl method (Ta-oun, 2005; Office of Science for Land Development, 2005)

การเก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตข้าว

สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวในพื้นที่ 2 ตารางเมตร (จำนวน 32 ต้น) เพื่อบันทึกข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตข้าวตามมาตรฐานของกรมการข้าว Rice Department (2007) ประกอบด้วย ความสูง จำนวนต้นตอก

จำนวนรวงต่อกอ ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด น้ำหนักต้นแห้ง (อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง) และผลผลิตข้าว

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตข้าวไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวด้วยวิธี Pearson moment correlation โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป STAR-statistical tool for agricultural research version 2.0.1

ผลการศึกษาและวิจารณ์

คุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนการทดลอง

ดินแปลงทดลองปลูกข้าว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เป็นชุดดินร่อยเอ็ด ซึ่งมีลักษณะเป็นดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Ta-oun, 2005; Office of Science for Land Development, 2005) มีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด (pH=5.23) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำมาก (0.38 เปอร์เซ็นต์) และมีธาตุไนโตรเจนทั้งหมด (0.019 เปอร์เซ็นต์) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (9.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (9.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในระดับต่ำมาก (Table 1)

Table 1 Chemical properties and nutrient content in soil before the experiment and after the experiment.

Treatments	Chemical properties and nutrient contents in soil				
	pH	OM (%)	N (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)
Soil before the experiment	5.23	0.38	0.019	9.59	9.39
Soil after the experiment					
T1 (K ₀)	5.75 ^b	0.41	0.017	8.88	8.66
T2 (K ₆)	5.79 ^b	0.52	0.019	9.94	7.84
T3 (K ₁₂)	5.73 ^b	0.54	0.020	9.99	8.52
T4 (K ₁₈)	6.16 ^a	0.45	0.018	10.15	8.28
T5 (K ₂₄)	5.79 ^b	0.47	0.018	7.88	8.52
F-test ^{1/}	*	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2.22	33.97	32.56	28.61	8.35

Note: ^{1/}* Significant difference at the 0.05 probability level; ns: not significant difference; means with different lowercase superscript letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

คุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินหลังการทดลอง

ผลการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 0, 6, 12, 18 และ 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ไม่มีผลทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินหลังปลูกแตกต่างกัน แต่การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 18 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ส่งผลให้ดินมีค่า pH สูงที่สุด เท่ากับ 6.16 ซึ่งแตกต่างกับการที่ไม่ใส่ปุ๋ย และใส่ปุ๋ยในอัตรา 6, 12, และ 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากความไม่สม่ำเสมอของตัวอย่างดิน โดยดินหลังปลูกมีค่า pH ระหว่าง 5.73-5.79 ซึ่งมีระดับความกรด-ด่างปานกลางถึงกรดอ่อน มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก มีธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอยู่ในระดับที่ต่ำมาก โดยมีค่าระหว่าง 0.41-0.54, เปอร์เซ็นต์, 0.017-0.020 เปอร์เซ็นต์, 7.88-10.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 7.84-8.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าปริมาณปุ๋ยที่ใส่ถูกข้าวนำไปใช้ในการเจริญเติบโตจนไม่เหลือธาตุอาหารตกค้างเหลือในดิน ทั้งนี้เพราะดินแปลงทดลองมีปริมาณธาตุอาหารในระดับต่ำและไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว (Table 1) ดินที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวควรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่า 2.25 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนในดินมากกว่า 0.113 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมากกว่า 45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Department of Agriculture, 2000)

อิทธิพลของปุ๋ยโพแทสเซียมที่มีต่อองค์ประกอบผลผลิตข้าวหอมวาริน

ข้าวหอมวาริน เป็นข้าวพันธุ์ปรับปรุงพันธุ์ใหม่ให้ผลผลิตสูงเหมาะกับพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Katengam et al., 2011) การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราแตกต่างกัน 0, 6, 12, 18 และ 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ มีผลทำให้ความยาวรวงและจำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวหอมวารินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่อัตรา 18 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ส่งผลให้ข้าวหอมวารินมีความยาวรวงเฉลี่ย (29.62 เซนติเมตร) และจำนวนเมล็ดต่อรวงเฉลี่ยสูงสุด (189.42 เมล็ดต่อรวง) แตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม และใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่อัตรา 6 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ให้ความยาวรวงเฉลี่ย 27.93 และ 28.02 เซนติเมตร และจำนวนเมล็ดต่อรวงเฉลี่ย 162.71 และ 161.56 เมล็ดต่อรวง ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 0, 6, 12, 18 และ 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ไม่มีผลทำให้ความสูง จำนวนต้นตอก และจำนวนรวงตอกของข้าวหอมวารินแตกต่างทางสถิติ (Table 2)

Table 2 Effect of potassium fertilizer on growth and yield components of HomWarin rice variety.

Treatments	Height (cm)	No. of tillers/culm	No. of panicles/cul m	Panicle length (cm)	No. of spikelets/panicle
T1 (K_0)	115.27	11.55	11.50	27.93 ^c	162.71 ^c
T2 (K_6)	118.58	11.97	11.89	28.02 ^c	161.56 ^c
T3 (K_{12})	122.52	12.24	12.21	29.20 ^{ab}	178.00 ^b
T4 (K_{18})	122.24	11.98	11.88	29.62 ^a	189.42 ^a
T5 (K_{24})	121.75	12.40	12.31	29.08 ^b	170.67 ^{bc}
F-test ^{1/}	ns	ns	ns	*	*
CV (%)	5.13	7.16	7.38	0.85	3.36

Note: ^{1/}* Significant difference at the 0.05 probability level, ns: not significant difference; means with different lowercase superscript letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

Table 3 Effect of potassium fertilizer on yield components and yield of HomWarin rice variety.

Treatments	Filled grain (%)	Unfilled grain (%)	1,000 Grain weight (g)	Yield (kg/rai)	Straw dry weight (kg/rai)	HI
T1 (K_0)	95.38	4.29	25.74 ^b	849.16	1333.66	0.39
T2 (K_6)	95.49	4.51	25.67 ^b	881.28	1381.95	0.39
T3 (K_{12})	94.50	5.50	27.27 ^a	909.86	1379.73	0.40
T4 (K_{18})	94.94	5.06	27.80 ^a	927.56	1273.63	0.42
T5 (K_{24})	96.07	3.93	27.62 ^a	901.83	1272.71	0.41
F-test ^{1/}	ns	ns	*	ns	ns	ns
CV (%)	1.43	29.93	1.40	10.72	11.58	4.30

Note: ^{1/}* Significant difference at the 0.05 probability level, ns: not significant difference; means with different lowercase superscript letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

อิทธิพลของปุ๋ยโพแทสเซียมที่มีต่อผลผลิตข้าวหอมวาริน

การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่แตกต่างกัน 0, 6, 12, 18 และ 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ไม่มีผลทำให้ผลผลิตของข้าวหอมวารินแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบแนวโน้มว่าเมื่อมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นข้าวหอมวารินมีแนวโน้มให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยให้ผลผลิตมากที่สุด เท่ากับ 927.56 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 18 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ จากนั้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมมากขึ้น อัตรา 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ข้าวหอมวารินจะให้ผลผลิตลดลง ส่วนแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม จะให้ผลผลิตน้อยที่สุด เท่ากับ 849.16 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่อัตรา 18 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ส่งผลให้ข้าวหอมวารินมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มากที่สุด เท่ากับ 27.80 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับแปลงที่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 12 และ 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เท่ากับ 27.27 และ 27.62 กรัม ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) กับแปลงที่ไม่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมและแปลงที่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 6 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เพียง 25.74 และ 25.67 กรัม ตามลำดับ อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและเมล็ดลีบแตกต่างกัน (Table 3)

อิทธิพลของปุ๋ยโพแทสเซียมที่มีต่อผลดัชนีเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวหอมวาริน

ผลการทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราต่างกัน 0, 6, 12, 18 และ 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ไม่มีผลทำให้ดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวหอมวารินแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบแนวโน้มว่าข้าวหอมวารินที่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 18 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ มีดัชนีเก็บเกี่ยวสูงกว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราอื่น ๆ โดยมีค่าดัชนีเก็บเกี่ยว เท่ากับ 42 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 24 และ 12 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยว เท่ากับ 41 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนข้าวหอมวารินที่ได้รับปุ๋ยในอัตรา 6 และ 0 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากัน คือ 39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 3)

สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวหอมวาริน

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวหอมวาริน พบว่า ผลผลิตมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความสูง ($r=0.79$) จำนวนต้นตอก ($r=0.73$) จำนวนรวงตอก ($r=0.70$) และน้ำหนักต้นสด ($r=0.69$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) และมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี ($r=0.62$) และน้ำหนักต้นแห้ง ($r=0.56$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ความสูงมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนต้นตอก ($r=0.63$) จำนวนรวงตอก ($r=0.60$) ความยาวรวง ($r=0.59$) น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ($r=0.55$) และน้ำหนักต้นสด ($r=0.56$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จำนวนต้นตอกมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนรวงตอก ($r=0.99$) น้ำหนักต้นสด ($r=0.64$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี ($r=0.52$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จำนวนรวงตอกมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักต้นสด ($r=0.64$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

ส่วนความยาวรวงมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนเมล็ดต่อรวง ($r=0.88$) น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ($r=0.90$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) จำนวนเมล็ดต่อรวงมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ($r=0.706$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) (Table 4)

Table 4 Correlation between yield and yield components of HomWarin rice variety.

Parameters	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1. GY	1	0.79**	0.73**	0.70**	0.47 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.62*	-0.60*	0.44 ^{ns}	0.69**	0.56*
2. H		1	0.63*	0.60*	0.59*	0.44 ^{ns}	0.32 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	0.55*	0.56*	0.49 ^{ns}
3. TC			1	0.99**	0.30 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.52*	-0.50 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.64**	0.47 ^{ns}
4. PC				1	0.28 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.48 ^{ns}	-0.46 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.64**	0.47 ^{ns}
5. PL					1	0.87**	-0.07 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.90**	0.06 ^{ns}	-0.09 ^{ns}
6. SP						1	-0.12 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.70**	-0.04 ^{ns}	-0.07 ^{ns}
7. FG							1	-0.97**	-0.01 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.31 ^{ns}
8. UG								1	0.05 ^{ns}	-0.46 ^{ns}	-0.35 ^{ns}
9. 1,000 GW									1	0.11 ^{ns}	0.01 ^{ns}
10. FW										1	0.76**
11. DW											1

Note: GY= Grain yield, H= Height (cm.), TC= Number of tillers per culm, PC= Number of panicles per culm, PL= Panicle length (cm.), SP= Number of spikelet per panicles, FG= Filled grain (%), UG= Unfilled grain (%), 1,000 GW= 1,000 Grain weight, FW= Fresh weight, DW= Dry weight.

* Significant difference at the 0.05 probability level, ** significant difference at the 0.01 probability level, ns: not significant difference.

จากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 0, 6, 12, 18 และ 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ มีผลทำให้ปฏิกิริยาดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงขึ้น น่าจะเป็นผลเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ เพราะการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ในระยะยาวทำให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น แต่ไม่มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินหลังปลูกสูงขึ้น ถึงแม้มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มแต่ก็ยังไม่มากพอที่จะเหลือทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินเพิ่มขึ้น (Land Development Department, 2017; Songmuang & Seetanun, 2000) ข้าวหอมวารินที่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่สูงขึ้นมีผล

ทำให้ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มากกว่าและแตกต่างกันจากข้าวหอมวารินที่ไม่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sirimoon et al. (2014)

และ Sitthaphanit et al. (2018) ที่พบว่าอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันมีผลทำให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากโพแทสเซียมมีหน้าที่สำคัญในการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาล (Promnart, 2001) ซึ่งมีส่วนสำคัญในการเพิ่มผลผลิตข้าว ช่วยเพิ่มจำนวนเมล็ด จำนวนเมล็ดต่อนรวง เพิ่มน้ำหนักเมล็ด และคุณภาพผลผลิต (Osotsapa, 2015; Römhild & Kirkby, 2010) และยังช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี เพิ่มน้ำหนัก 1,000 เมล็ด อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมไม่มีผลต่อการแตกกอของข้าว ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Dobermann & Fairhurst, (2000) โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญมีส่วนช่วยให้พืชเจริญเติบโตและพัฒนา รักษาสมดุลของเอนไซม์และควบคุมแรงดันต่าง ๆ ในเซลล์พืช (Marschner, 1995) การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ 3-20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว (Zhang et al., 2010) ข้าวที่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมจะสามารถดูดใช้โพแทสเซียมได้ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเมล็ดสูงขึ้น (Osotsapa, 2015; Yoshida, 1981; Mengel, 2006) และโพแทสเซียมยังมีส่วนช่วยเพิ่มกระบวนการหายใจของต้นพืช ข้าวจึงดูดใช้ธาตุอาหารได้เพิ่มขึ้น (Zain & Ismail, 2016) อย่างไรก็ตาม ถึงโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตข้าว แต่การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในนาข้าวเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตข้าว ต้องคำนึงถึงชนิดของปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใช้ด้วยเสมอ (Saeyang et al., 2021) ผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 18 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ มีผลทำให้น้ำหนักข้าวห่อวารีมีความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อนรวง และผลผลิตสูงสุด สอดคล้องกับการศึกษาประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพข้าวในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำของ Hartati & Purnomo (2018) ที่พบว่าอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0, 8, 16 และ 24 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ มีผลทำให้ความสูง จำนวนต้นตอก น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตข้าว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปุ๋ยโพแทสเซียมที่อัตรา 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด 1,300 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับรายงานของ Islam & Muttaleb (2016) ที่ศึกษาในข้าว Boro พันธุ์ BRRI dhan29 ของประเทศบังกลาเทศ และ Kunathai et al. (1997) ศึกษาในข้าวพันธุ์ กข23 ซึ่งพบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 16 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ส่งผลทำให้น้ำหนักข้าว พันธุ์ BRRI dhan29 และ กข23 ให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม เช่นเดียวกับการศึกษาของ Saeyang et al. (2021) ที่พบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทำให้น้ำหนักข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม

การศึกษานี้พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่แตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้ความสูง จำนวนรวงตอก น้ำหนักต้นแห้ง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ และผลผลิตของข้าวห่อวารีแตกต่างกัน (Table 2) น่าจะเป็นผลเนื่องมาจากความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินแปลงทดลองเป็นชุดดินร่อยเอ็ดซึ่งเป็นดินทรายปนดินร่วนจึงมีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ เนื่องจากดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำและธาตุอาหารได้น้อย ธาตุอาหารหรือปุ๋ยจึงสูญเสียไปกับการชะล้างและไหลบ่าของน้ำได้ง่าย (Land Development Department, 2017) และดินแปลงทดลองยังมีความเป็นกรดปานกลางถึงกรดอ่อนกลาง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก มีธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอยู่ในระดับที่ต่ำมากเช่นกัน ซึ่งบ่งชี้ว่าดินมีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว ดังนั้น การแบ่งใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมช่วยทำให้น้ำข้าวสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahfuza et al. (2010) ซึ่งรายงานว่า การแบ่งใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 10.56 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวน 3 ครั้ง โดยครั้งแรกใส่หลังปักดำ ครั้งที่ 2 ในระยะแตกกอ และ ครั้งที่ 3 ในระยะข้าวตั้งท้อง พบว่า มีผลทำให้น้ำหนักข้าวพันธุ์ BR11 และ Nazersail ให้ผลผลิตมากกว่าการใส่ปุ๋ยครั้งเดียวหลังปักดำ และงานวิจัยของ Manzoor et al. (2008) พบว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 9.92 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวน 2 ครั้ง (ครั้งแรก 50 เปอร์เซ็นต์) โดยใส่ครั้งแรกเมื่อข้าวอายุ 25 วันหลังปักดำ และใส่ครั้งที่ 2 เมื่อข้าวมีอายุ 45 วันหลังปักดำ มีผลทำให้น้ำข้าวบาสนามีความยาวรวงมากที่สุด (28 เซนติเมตร) จำนวนเมล็ดต่อนรวงสูงสุด (103.80 เมล็ด) น้ำหนัก 1,000 เมล็ดสูงสุด (20.91 กรัม) และให้ผลผลิตข้าวบาสนาสูงสุด 530 กิโลกรัมต่อไร่ จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การใส่ปุ๋ย

โพแทสเซียม อัตรา 18 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ โดยแบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งแรกใส่หลังปักดำข้าว ครั้งที่ 2 ในระยะข้าวแตกกอ และครั้งสุดท้ายในระยะข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ข้าวหอมวารินมีความยาวรวงมากที่สุด เท่ากับ 29.62 เซนติเมตร จำนวนเมล็ดต่อรวงสูงสุด เท่ากับ 189.42 เมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากที่สุด เท่ากับ 27.80 กรัม จากองค์ประกอบผลผลิตเหล่านี้ส่งผลให้ข้าวหอมวารินที่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียม อัตรา 18 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงสุด เท่ากับ 927.56 กิโลกรัมต่อไร่

สรุปผลการศึกษา

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทในการพัฒนาเมล็ดข้าว โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 18 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ทำให้ข้าวพันธุ์หอมวารินมีความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด สูงสุด แตกต่างจากตำรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการสร้างปัญญาวิทย์ ผลิตนักเทคโนโลยี (Young Scientist and Technologist Program: YSTP) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ซึ่งมอบให้แก่ นางสาววรรณ คั่นเคย นักศึกษาสาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ (สัญญาทุนเลขที่ SCA-CO-2563-12273-TH) และคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

- Department of Agriculture. (2000). **Rice Knowledge Bank. Fertilizer Recommendations in Paddy and Winter Cereal Crops**. Retrieved from: <http://www.ricethailand.go.th/Rkb/manual/index.php.htm>. (in Thai).
- Dobermann, A. & Fairhurst, T. H. (2000). **Rice nutrient disorders & nutrient management**. England: Oxford Graphic Printers.
- Foiphikun, W. (2005). **Plant Nutrients and Soil Fertility**. Technique and use of soil-fertilizer-water. Surin: Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University. (in Thai).
- Hartati, S. & Purnomo, D. (2018). Effectiveness and efficiency of potassium fertilizer application to increase the production and quality of rice in Entisols. **Earth and Environmental Science**. 142, 1-8.
- Islam, A. & Muttaleb, A. (2016). Effect of potassium fertilization on yield and potassium nutrition of Boro rice in a wetland ecosystem of Bangladesh. **Archives of Agronomy and Soil Science**. 62(11), 1530-1540. doi: 10.1080/03650340.2016.1157259
- Kate-ngam, S., Riabroy, K., Toojinda, T., & Kotchasatit, U. (2011). Conversion of wide adapted rice cultivar IR57514 into Jasmine-like cooking quality through marker assisted backcrossing. In: **BIT's 2nd World DNA and Genome Day-2011, Reopen Bio-Gateway in Green Economy**. (pp. 286). China: Dalian World EXPO Center.
- Kunathai, H., Wattanapayapku, S., Pattayarak, T., & Prasittikhet, J. (1997). The use of different rates of potassium fertilizers in combination with organic fertilizers affecting rice yield and potassium content in rice grains Nakhon Ratchasima Province. In: **Research report on soil fertility and fertilizer for rice and winter cereals**. Year 1988-1992. (pp. 224-241). Soil fertility and winter grain fertilizer research group, Soil Division, Soil Science Division Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai).
- Land Development Department. (2015). **State of Soil and Land Resources of Thailand**. Retrieved from: <https://www.ddd.go.th/www/files/80750.pdf>. (in Thai).
- Land Development Department. (2017). **Characteristics and properties of soil series in the Northeast (Roi Et soil series)**. Retrieved from: http://www.ddd.go.th/thaisoils/museum/pf_desc/northeast/Re.htm. (in Thai).
- Mahfuza, S., Islam, M., Aktar, S., Amin, M., & Islam, M. (2010). Influence of Split Application of Potassium on Yield and Yield Contributing Characters of rice cultivars- BR11 and Nizersail. **The Agriculturists**. 6(1), 84-89.

- Manzoor, Z., Awan, T. H., Ahmad, M., Akhter, M., & Faiz, F. A. (2008). Effect of split application of potash on the yield and yield related traits of Basmati rice. **Animal and Plant Sciences**. 18(4), 119-124.
- Marschner, H. (1995). **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Academic Press San Diego, CA.
- Mengel, K. (2006). Potassium. In: Barker, A. V., and Pilbeam, D. J., **Handbook of Plant Nutrition**. (pp. 91-120). Boca Raton: CRC Press.
- Office of Agricultural Economics. (2021). **Agricultural Production Data**. Retrieved from: <https://www.oae.go.th/view/1/ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร/TH-TH>. (in Thai).
- Office of Science for Land Development. (2005). **Soil sample analysis guide, water, fertilizer, plants, soil amendment and analysis to verify product standards**. 2nd ed. Bangkok: Land Development Department Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Osotsapa, Y. (2015). Nutrient requirements of rice. In: **Soil Nutrients and Fertilizers for Rice**, Yongyut Osotsapa, (pp. 218-345). Bangkok: Soil and Fertilizer Society of Thailand. (in Thai).
- Promnart, P. (2001). The different viewpoint of fertilizer usage for rice production. **Thai Agricultural Research Journal**. 19(3), 236-245. (in Thai).
- Rice Department. (2007). **Native rice genetics of ethnic groups under the Royal Initiative Project**. Rice Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok. (in Thai).
- Römheld, V. & Kirkby, E. A. (2010). Research on potassium in agriculture: Needs and prospects. **Plant and Soil**. 335, 155-180.
- Saeyang, A., Yamuangmorn, S., & Prom-u-Thai, C. (2021). Effects of potassium fertilizer source on grain yield and yield components of Chai Nat 1 grown under flooded and non-flooded conditions. **Khon Kaen Agriculture Journal**. 49(1), 1-11. (in Thai).
- Sirimoon, P., Sittthaphanit, S., Srimongkol, P., & Kanket, W. (2014). Effect of potassium fertilizer on yield and nutrient uptake of rice in saline soil. **Agricultural Science Journal**. 45(2)(Suppl), 637-640. (in Thai).
- Sittthaphanit, S., Srimongkol, P., Kanket, W., & Sirimoon, P. (2018). Effect of potassium fertilizer on yield and yield components of glutinous rice under saline soil condition. **Khon Kaen Agriculture Journal**. 46(4), 739-748. (in Thai).
- Songmuang, P. & Seetanun, W. (2000). Water resources and soil problems in the Northeast. In **Fertilizer Application Technology in Rice Fields**. Rice Research Institute, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai).
- Ta-oun, M. (2005). **Techniques and analyzes in soil, plants, water and fertilizer laboratories**. Food and Agriculture Organization (FAO) Cooperation Project, Department of Land Resources and Environment Faculty of Agriculture Khon Kaen University. (in Thai).
- Techapinyawat, S. (2005). **Plant Physiology**. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai).
- Yoshida, S. & Cock, J. H. (1981). **Fundamentals of Rice Crop Science**. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Zain, N. A. M. & Ismail, M. R. (2016). Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange and biochemical changes in rice (*Oryza sativa*) planted under cyclic water stress. **Agriculture Water Management**. 164, 83-90.
- Zhang, H., Xu, M., Shi, X., Li, Z., Huang, Q., & Wang, X. (2010). Rice yield, potassium uptake and apparent balance under long-term fertilization in rice-based cropping systems in southern China. **Nutrient Cycling Agroecosystem**. 88, 341-349.

วันรับบทความ (Received date) : 16 มี.ค. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 8 ก.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 4 ต.ค. 65

ผลของแหล่งไนโตรเจนต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของ *Spirulina (Arthrospira) platensis*

The Effect of Nitrogen Sources on the Productivity and Biochemical Composition of *Spirulina (Arthrospira) platensis*

เจนติธิดา เกียรติมนตร์^{1*} และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์¹
Janethida Kiatmontri^{1*} and Suneerat Ruangsomborn¹

บทคัดย่อ

การประเมินแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้ได้ผลผลิตชีวมวลและรงควัตถุซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น โดยเพาะเลี้ยง *S. platensis* ที่ได้รับแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน 6 รูปแบบ (โซเดียมไนเตรต, โพแทสเซียมไนเตรต, แอมโมเนียมซัลเฟต, ยูเรีย, แอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมคลอไรด์) โดยทุกชุดการทดลองได้รับปริมาณไนโตรเจนเท่ากัน คือ 0.4 กรัมไนโตรเจนต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่า *S. platensis* ที่ได้รับโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนมีผลผลิตชีวมวล (0.24 ± 0.01 กรัมต่อลิตร) โปรตีน (68.10 ± 2.92 เปอร์เซ็นต์) ไฟโคไซยานิน (198.74 ± 11.11 มิลลิกรัมต่อกรัม) ไฟโคอีริทรินสูงสุด (155.46 ± 9.81 มิลลิกรัมต่อกรัม) และมีแคโรทีนอยด์ 0.0011 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งแคโรทีนอยด์ ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริทรินเป็นรงควัตถุที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ขณะที่ *S. platensis* ที่ได้รับโพแทสเซียมไนเตรตมีไขมันสูงที่สุดเท่ากับ 34.65 ± 1.78 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า *S. platensis* ที่ได้รับแอมโมเนียมไนเตรตมีกรดไขมันชนิดที่มีประโยชน์ที่อยู่ในกลุ่มโอเมก้า-6 สูงที่สุด คือ Gamma-Linolenic acid (GLA) มีค่า 22.08 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยง *S. platensis* เนื่องจากทำให้สาหร่ายมีชีวมวล โปรตีนและสารต้านอนุมูลอิสระสูง

คำสำคัญ: สไปรูลินา แหล่งไนโตรเจน ผลผลิตชีวมวล ไฟโคไซยานิน ไฟโคอีริทริน

Abstract

Assessed an appropriate nitrogen source for *S. platensis* culture to achieve higher biomass yields and pigments. Cultivated *S. platensis* in six different nitrogen sources (sodium nitrate, potassium nitrate, ammonium sulfate, urea, ammonium nitrate, and ammonium chloride). All experiments received the same concentration of nitrogen, 0.4 g nitrogen per liter. The results showed that *S. platensis* cultivated under sodium nitrate as a nitrogen source had the highest biomass yield (0.24 ± 0.01 g/l), protein (68.10 ± 2.92 percent), phycocyanin (198.74 ± 11.11 mg/g), and phycoerythrin (155.46 ± 9.81 mg/g). Carotenoids were also high, 0.0011 ± 0.00 mg/g which carotenoids, phycocyanin and phycoerythrin are important pigments with antioxidant activity. While *S. platensis* fed potassium nitrate had the highest lipid profile, 35.32 ± 7.50 percent, *S. platensis* treated with ammonium nitrate were high in omega-6 beneficial fatty acids. The highest was Gamma-linolenic acid (GLA) at 22.08 percent. This study demonstrates that sodium nitrate is an ideal nitrogen source for *S. platensis*.

Keywords: *Spirulina*, nitrogen source, biomass production, phycocyanin, phycoerythrin

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520

*Corresponding author, Email: 63604025@kmitl.ac.th

คำนำ

Spirulina (Arthrospira) platensis อยู่ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือไซยาโนแบคทีเรียที่สามารถสร้างอาหารคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันได้ โดย *S. platensis* ได้ถูกนำเข้าสู่ตลาดอย่างกว้างขวางในวัตถุประสงค์การใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย เนื่องจากองค์ประกอบที่อุดมไปด้วยโปรตีน 50-70% กรดอะมิโนจำเป็น ได้แก่ Aspartate และ Glutamate ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ กรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-3 และ 6 เช่น Alpha-linolenic acid (ALA), Eicosapentaenoic acid (EPA), Docosahexaenoic acid (DHA), Linoleic acid (LA) และ Gamma linolenic acid (GLA) โดยโอเมก้า-3 มีส่วนช่วยด้านอนุมูลอิสระ ลดคอเลสเตอรอล ควบคุมความดันเลือด มีความจำเป็นต่อการสร้างและซ่อมแซมเซลล์ ในส่วนของโอเมก้า-6 มีส่วนช่วยให้ผิวหนังมีสุขภาพดี สาหร่ายชนิดนี้ยังมีวิตามิน (โดยเฉพาะ บี12) ธาตุเหล็ก ได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิโปรตีน (ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริทริน) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและด้านการอักเสบและมีโพลีฟีนอลที่ประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ มีประโยชน์ในด้านโภชนาการสูง จึงนิยมนำสาหร่ายชนิดนี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง ใช้เป็นส่วนผสมอาหารและสีย้อม เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ นิยมนำมาผสมในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในมนุษย์ อาหารสัตว์ นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตและไขมันจากสาหร่ายสามารถเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้ (Ruangsomboon, 2020)

จากคุณสมบัติของ *S. platensis* ที่ได้รับการยอมรับจาก FAO จึงมีการผลิตเป็นอาหารฟังก์ชัน หรืออาหารพลังงานในด้านอาหารสำหรับนักบินอวกาศ ด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่สูง มีส่วนช่วยให้ระดับพลังงานเพิ่มขึ้น ช่วยในการปลดปล่อยพลังงานและมนุษย์สามารถย่อยโพลีแซคคาไรด์ได้ง่ายเนื่องจาก *S. platensis* ไม่มีผนังเซลล์ที่เป็นเซลลูโลส องค์การ NASA จึงส่งเสริมให้เป็นอาหารแห่งโลกอนาคต ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สะดวกและรวดเร็วในการบริโภค นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในการควบคุมน้ำหนักและสำหรับนักกีฬาที่ออกกำลังกายต้องการอาหารที่ให้พลังงานสูง โดยระหว่างออกกำลังกายย่อมมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นมาก ดังนั้นอาหารที่เหมาะสมสำหรับนักกีฬาคือเป็นอาหารที่มีโปรตีนและสารต้านอนุมูลอิสระสูง ย่อยง่ายให้พลังงานได้รวดเร็ว ซึ่งพบว่า *S. platensis* สามารถเป็นอาหารที่เหมาะสมให้กับนักกีฬาได้ เนื่องจากให้ปริมาณโปรตีนได้สูงและมีสารที่ช่วยกำจัดอนุมูลอิสระได้ โดยมีทั้งไฟโคบิลิโปรตีน คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ วิตามินซี วิตามินอี ฟลาโวนอยด์และดีเอชเอ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในการปรับปรุงระบบภูมิคุ้มกันและลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งได้อีกด้วย (Sudhakar & Premalatha, 2012)

การเพาะเลี้ยง *S. platensis* เพื่อให้ได้ผลผลิตในปริมาณมากและมีคุณภาพตรงตามความต้องการนำไปใช้ประโยชน์มีผลมาจากปัจจัยทั้งกายภาพและเคมี เช่น ธาตุอาหารที่เหมาะสม แสง อุณหภูมิ ความเค็ม pH คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณโปรตีนมากที่สุด คือไนโตรเจน (Costa et al., 2001) โดยไนโตรเจนเป็นสารประกอบของกรดอะมิโนและโปรตีน ซึ่งเป็นสารอาหารหลักของสาหร่ายมีหน้าที่ช่วยในการสังเคราะห์แสง สร้างรงควัตถุและกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ปัจจุบันมีการศึกษาเรื่องการใช้ไนโตรเจนในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้งในรูปแบบอินทรีย์ไนโตรเจนและอนินทรีย์ไนโตรเจนอย่างต่อเนื่อง เช่น กรด อะมิโน ไนเตรต ไนไตรต์และยูเรีย (Shanti et al., 2018) โดยรูปแบบที่เหมาะสมจะส่งผลให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้ดี รวมทั้งสามารถเพิ่มผลผลิต โปรตีนและรงควัตถุที่ต้องการเพิ่มขึ้น เพื่อนำไปใช้ในการผลิตอาหารพลังงานที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

การใช้ชนิด หรือแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันพบว่าส่งผลให้มีการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายแตกต่างกัน โดยในการศึกษาของ Costa et al. (2001) รายงานว่าการใช้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ให้ผลผลิตชีวมวล โปรตีนและคลอโรฟิลล์สูงเมื่อเทียบกับยูเรีย เนื่องจากเซลล์สามารถดูดซับอะตอมได้ง่ายกว่า ต่างกับการศึกษาของ Soletto et al. (2005) ที่รายงานว่ายูเรียทำให้ *S. platensis* มีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าแอมโมเนียมคลอไรด์และแอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมกับ *S. platensis* นั้นแตกต่างกันในสาหร่ายที่ต่างสายพันธุ์ (strain) กัน ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายสูงที่สุดในการเพาะเลี้ยง จึงควรทราบแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อสายพันธุ์สาหร่ายนั้นๆ

การศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของ *S. platensis* สายพันธุ์ KMITL

วิธีการศึกษา

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

เตรียมหัวเชื้อ *S. platensis* สายพันธุ์ KMITL ที่เพาะเลี้ยงแบบปลอดเชื้อในห้องปฏิบัติการด้วยอาหารสูตร Zarrouk's medium (Zarrouk, 1966) จนเข้าสู่ระยะปลายการเจริญเติบโตเต็มที่ จากนั้นนำไปเป็นหัวเชื้อสำหรับทดลองเพาะเลี้ยงในอาหารผิวน้ำแหล่งไนโตรเจน โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD แบ่งออกเป็น 6 ชุดการทดลอง ดำเนินการทดลอง 4 ซ้ำ ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยอาหารสูตร Zarrouk's medium ที่ปรับให้มีแหล่งไนโตรเจนที่ต่างกัน ประกอบด้วยโพแทสเซียมไนเตรด (KNO_3), แอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), ยูเรีย ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}_{16}$), แอมโมเนียมไนเตรด (NH_4NO_3), แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และโซเดียมไนเตรด (NaNO_3) (ชุดควบคุม) ปริมาณ 2.9, 1.9, 0.86, 1.14, 1.5 และ 2.5 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (เทียบกับไนโตรเจน 0.4 กรัมต่อลิตร ทุกชุดการทดลอง) โดยคำนวณจากการหาคำนวณน้ำหนักของเลขวอลอะตอมโดยใช้ปริมาณของไนโตรเจนจากสูตร Zarrouk's medium เป็นเกณฑ์ เพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 14 วัน ในฟลาสก์แก้วขนาด 1 ลิตร ให้แสงโดยหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ระดับความเข้มแสง 5600 ลักซ์ (ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์จำนวน 2 หลอด) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีด 12 ชั่วโมงต่อวัน อุณหภูมิที่ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ให้พองอากาศเพื่อให้มีการหมุนเวียนของสาหร่ายต่อเนื่องตลอดเวลา ทำการเก็บข้อมูลเวลา 09.00 น. ทุก 2 วัน และสิ้นสุดการทดลอง

การบันทึกผลการทดลอง

วิเคราะห์น้ำหนักแห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง (Ruangsomboon, 2020) วิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธี Lowry's method ทำการย่อยและทำให้เกิดสีด้วย Folin-Ciocalteu และวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร (Lowry et al., 1951) วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตด้วยวิธี Phenol Sulphuric acid method โดยการย่อยด้วย H_2SO_4 และวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 485 นาโนเมตร (Becker, 1994) วิเคราะห์คลอโรฟิลล์โดยสกัดด้วยเมทานอล และวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 655 นาโนเมตร (Becker, 1994) วิเคราะห์แคโรทีนอยด์โดยสกัดด้วยอะซิโตนและวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 480 นาโนเมตร (Becker, 1994) วิเคราะห์ฟิโคไซยานินโดยสกัดด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์และนำไปแช่เย็น 24 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 545 และ 620 นาโนเมตรตามวิธีของ Becker (1994) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการวิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยสกัดด้วยคลอโรฟอร์มเมทานอล (Bligh & Dyer, 1959) และวิเคราะห์กรดไขมันโดยการฉีดตัวอย่างด้วยเครื่อง GC (Gas Chromatography) (Ruangsomboon, 2020)

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลจากผลการศึกษาไปคำนวณและวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี ANOVA : One way (Turkey's (HSD)) และวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. แหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis*

การเพาะเลี้ยง *S. platensis* โดยแหล่งไนโตรเจนที่ต่างกัน 6 รูปแบบ ได้แก่ โพแทสเซียมไนเตรด, แอมโมเนียมซัลเฟต, ยูเรีย, แอมโมเนียมไนเตรด, แอมโมเนียมคลอไรด์และโซเดียมไนเตรด พบว่าที่สิ้นสุดการทดลองชุดการทดลองที่ได้รับโซเดียมไนเตรดเป็นแหล่งไนโตรเจนมีผลผลิตชีวมวลสูงที่สุด คือ 0.24 ± 0.01 กรัมต่อลิตร (Figure 1) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ได้รับแอมโมเนียมไนเตรดและแอมโมเนียมซัลเฟต

เนื่องจากแหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ *S. platensis* มีการเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดย Costa et al. (2001) กล่าวว่าเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถดูดซึมไนเตรตและแอมโมเนียมไอออนได้รวดเร็วจึงอาจส่งผลให้ *S. platensis* ดูดซึมธาตุอาหารแอมโมเนียมหมดเร็วกว่าชุดการทดลองอื่น ส่วนชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นที่ 0.01 M อาจทำให้เป็นพิษต่อ *S. platensis* จึงทำให้ *S. platensis* มีการเจริญเติบโตที่ไม่ดี สอดคล้องกับการศึกษาของ Chasoy et al. (2022) พบว่าโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.80 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการเพาะเลี้ยง ส่งผลให้เอ็นไซม์ไนเตรรีดักเตสทำงานได้อย่างเต็มที่ ขณะที่แอมโมเนียมซัลเฟตให้อัตราการเจริญเติบโตที่ไม่ดีเนื่องจาก *S. platensis* เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่เป็นด่างที่ pH อยู่ในช่วง 9 - 11 (El-Sheekh et al., 2021) ขณะที่แอมโมเนียมซัลเฟตสามารถแตกตัวที่ pH 5 - 6 (Mirhosseini et al., 2021b) เมื่อแอมโมเนียมอยู่ในสภาวะที่เป็นด่างจะทำให้เป็นพิษต่อเซลล์และยับยั้งเอ็นไซม์ไนเตรรีดักเตสที่ทำหน้าที่ดูดซึมแอมโมเนียมเพื่อใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม

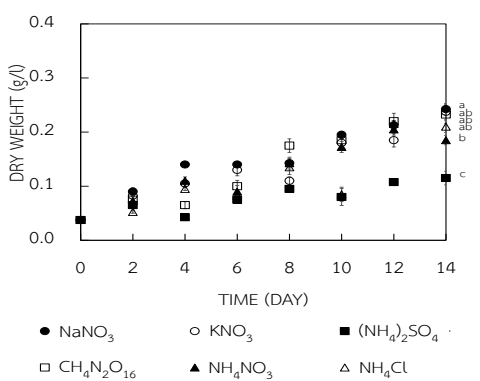


Figure 1 Biomass of *S. platensis* cultivated under different nitrogen sources. Different small letters on the lines indicate a significant difference ($p < 0.05$). Error bars represent $\pm$ S.D. of four replicates.

2. แหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันต่อตรงควัตถุของสาหร่าย *Spirulina platensis*

2.1 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

ที่สิ้นสุดการทดลองชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟตมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุด คือ 4.58 ± 0.48 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย (Figure 2A) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้ยูเรียและแอมโมเนียมคลอไรด์ ไนเตรตไอออนมีความสามารถในการละลายได้ง่ายที่ pH 9.5 - 10 (Mirhosseini et al., 2021a) *S. platensis* จึงสามารถดูดซึมได้อย่างรวดเร็วส่งผลให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น (Uddin et al., 2020) ต่างกับการศึกษาของ Danesi et al. (2011) พบว่าชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตมีค่าคลอโรฟิลล์สูง 12.30 มิลลิกรัมต่อกรัมเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ให้ยูเรียทุกระดับความเข้มข้น 10.00 - 11.70 มิลลิกรัมต่อกรัม

ชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟตมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุดในวันที่ 10 และที่สิ้นสุดของการเพาะเลี้ยง คือ 0.0049 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 0.0015 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Figure 2B) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรต ยูเรียและแอมโมเนียมคลอไรด์ เมื่อสาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีส่งผลให้สาหร่ายเกิดความเครียดและสะสมแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันเซลล์เสื่อมสภาพในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม สอดคล้องกับการศึกษาของ Santos et al. (2019) ซึ่งศึกษารูปแบบไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อ *S. platensis* พบว่าชุดการทดลองที่จำกัดไนโตรเจนให้ปริมาณแคโรทีนอยด์สูงกว่าชุดควบคุมโดยมีค่าเท่ากับ 3.6 และ 2.5 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ รูปแบบไนโตรเจนที่ไม่เหมาะสมต่อ *S. platensis* ทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้เอ็นไซม์ไม่สมดุลกัน รวมถึงส่งผลให้มีการผลิตแคโรทีนอยด์ลดลง ส่วนการศึกษาของ Ajayan et al. (2012) พบว่าชุดการทดลองที่ให้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงเมื่อ

เทียบกับชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรต 3.12 ± 0.01 และ 2.90 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยแคโรทีนอยด์มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ สามารถขบออกซิเจนโมเลกุลเดี่ยวและอนุมูลเปอร์ออกไซด์ในร่างกายมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และพบว่ามีประสิทธิภาพต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าปริมาณฟีนอล หรือฟลาโวนอยด์จากสารสกัด และสามารถเพิ่มการตอบสนองของภูมิคุ้มกันและป้องกันโรคต่างๆ เช่น มะเร็ง ซึ่ง *S. platensis* มีเบต้าแคโรทีนสูงมากกว่าแคโรทีนถึง 10 เท่า เป็นหนึ่งในสารที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง (Asghari et al., 2016) เหมาะสำหรับการใช้เป็นส่วนผสมในโปรตีนบาร์ซึ่งต้องการสารต้านอนุมูลอิสระสูง

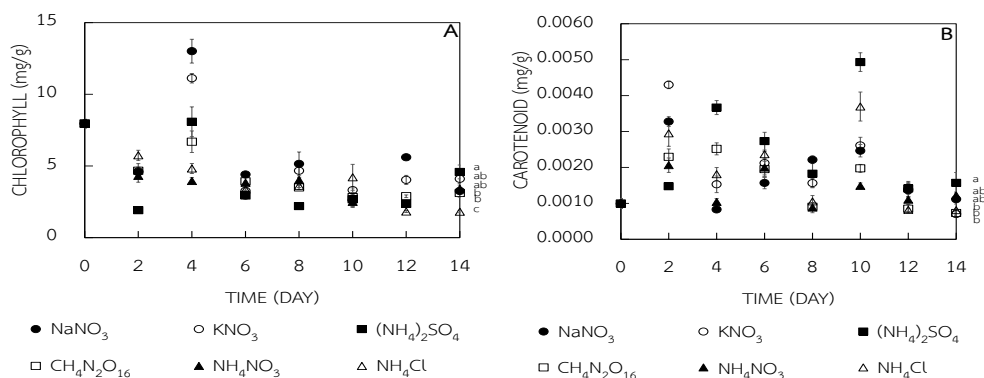


Figure 2 Chlorophyll (A) and Carotenoid (B) content of *S. platensis* cultivated under different nitrogen sources. Different small letters on the lines indicate a significant difference ($p < 0.05$). Error bars represent $\pm$ S.D. of four replicates.

2.2 ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริทริน

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง *S. platensis* ที่ได้รับโซเดียมไนเตรตมีปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุดเท่ากับ 198.74 ± 11.11 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย (Figure 3A) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่น ส่วน Mirhosseini et al. (2021a) ศึกษาเปรียบเทียบแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อ *Arthrospira maxima* พบว่าชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตมีปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุดเท่ากับ 0.074 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟตส่งผลให้ปริมาณไฟโคไซยานินลดลงอย่างรวดเร็ว โดยไฟโคไซยานินจะแปรผันตามแหล่งไนโตรเจน ซึ่ง *S. platensis* มีความสามารถในการเก็บสะสมธาตุอาหารและถ่ายโอนเป็นอะไลไฟโคไซยานินภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (Ajayan et al., 2012) ซึ่งไฟโคบิลิโปรตีนเป็นชีวโมเลกุลประเภทโปรตีน โดยมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ (Ruangsomboon, 2020)

ที่สิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตมีปริมาณไฟโคอีริทรินสูงที่สุดคือ 155.46 ± 9.81 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย (Figure 3B) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่น เมื่อความหนาแน่นของการเพาะเลี้ยง หรือการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสูงขึ้นจะส่งผลให้สาหร่ายสังเคราะห์กลุ่มรงควัตถุไฟโคบิลิโปรตีน (ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริทริน) ที่ทำหน้าที่ในการรับแสงจะเพิ่มขึ้น (Ajayan et al., 2012) โดยรงควัตถุในกลุ่มไฟโคบิลิโปรตีนมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เพิ่มภูมิคุ้มกันและมีหน้าที่ในการปกป้องเซลล์จากความเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งไฟโคไซยานินมีความสามารถในการต้านการอักเสบของเซลล์ สามารถกำจัดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลและอนุมูลอิสระออกซิเจนได้ จากการศึกษาของ Hirata et al. (2000) รายงานว่าไฟโคบิลิโปรตีนมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับ α -tocopherol และ caffeic acid ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบ โดยไฟโคบิลิโปรตีนสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารปลังงานที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงสำหรับนักกีฬา (โปรตีนบาร์)

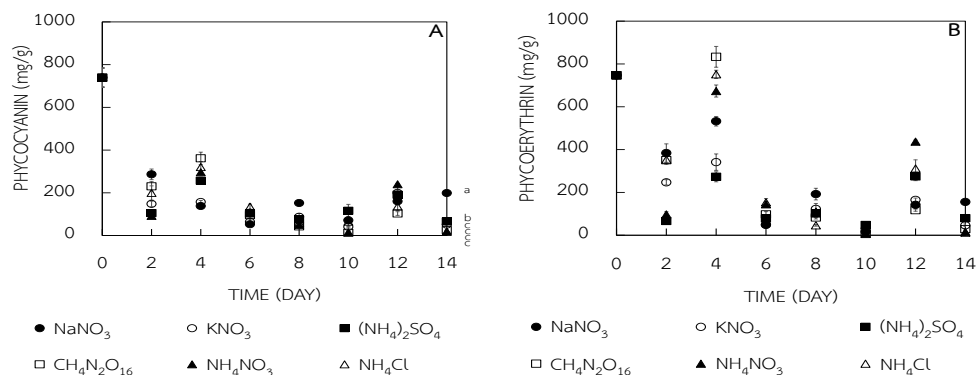


Figure 3 Phycocyanin (A) and Phycoerythrin (B) content of *S. platensis* cultivated under different nitrogen sources. Different small letters on the lines indicate a significant difference ($p < 0.05$). Error bars represent $\pm$ S.D. of four replicates.

3. ผลของแหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันต่อโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันของสาหร่าย *Spirulina platensis*

3.1 โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง *S. platensis* ที่ได้รับโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนมีผลผลิตโปรตีนสูงสุด คือ 68.10 ± 2.92 % ต่อน้ำหนักสาหร่าย (Figure 4A) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรต ยูเรีย แอมโมเนียมไนเตรต และแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณโปรตีนและมีบทบาทในการสังเคราะห์กรดอะมิโนซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีน *S. platensis* อาจดูดซึมโซเดียมไนเตรตเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและสังเคราะห์โปรตีนได้ง่ายและโซเดียมไนเตรตมีส่วนช่วยในการทำงานของเอ็นไซม์รีดักเตส (Costa et al., 2018) ซึ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีความต้องการโซเดียมมากกว่าชนิดอื่นๆ (Ruangsomboon, 2020) ในส่วนของการศึกษาของ Madkour et al. (2012) ทำการผันแปรแหล่งไนโตรเจน โดยมีโซเดียมไนเตรต แอมโมเนียมไนเตรตและยูเรียพบว่าโซเดียมไนเตรตให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งไนโตรเจนอื่น คือ 52.62 % โดยโปรตีนเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถเทียบเท่าคาร์โบไฮเดรต ซึ่งใน 1 กรัม ให้พลังงานโดยประมาณ 4 กิโลแคลอรี และโปรตีนทำหน้าที่ในการซ่อมแซมและเสริมสร้างส่วนที่สึกหรอของร่างกาย เนื่องจากโปรตีนในร่างกายมีการย่อยสลายและสร้างใหม่อยู่ตลอดเวลา ร่างกายมนุษย์จึงต้องการกรดอะมิโนเพื่อใช้ในการผลิตโปรตีน การบริโภคโปรตีนจากพืช หรือสาหร่ายขนาดเล็กเป็นหนึ่งในทางเลือกในการควบคุมการได้รับพลังงานจากไขมันส่วนเกินจากเนื้อสัตว์และยังได้รับกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายอีกด้วย ซึ่งนักกีฬาต้องการโปรตีน 1.7 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม การเสริมโปรตีนเพื่อเร่งการฟื้นตัวของนักกีฬาจากการออกกำลังกาย หรือร่างกายจากภาวะเหนื่อยล้าจึงเป็นวิธีที่เหมาะสม นอกจากนี้โปรตีนยังมีหน้าที่ในการผลิตสารแอนติบอดี หรือภูมิคุ้มกันในร่างกาย (Anonymous, 2020) การใช้ *S. platensis* ที่มีโปรตีนสูงผสมในโปรตีนบาร์จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม

สาหร่าย *S. platensis* ที่ได้รับโพแทสเซียมไนเตรตมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดที่สิ้นสุดการทดลอง คือ 16.26 ± 1.87 % (Figure 4B) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมไนเตรต โดยคาร์โบไฮเดรตจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนพบว่าชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมันสูง ขณะที่โปรตีนมีค่าต่ำ เนื่องจากธาตุอาหารอาจไม่เพียงพอ *S. platensis* จึงสร้างสารประกอบคาร์บอนขึ้นมาทดแทน ซึ่งจะทำให้เซลล์มีการสะสมแป้งและไขมันมากกว่าปกติ โดยต่างกับการศึกษาของ Madkour et al. (2012) เมื่อผันแปรแหล่งไนโตรเจนระหว่างโซเดียมไนเตรต แอมโมเนียมไนเตรตและยูเรียพบว่าชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมไนเตรตมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าชุดการทดลองอื่นในทุกๆระดับความเข้มข้นไนโตรเจนเท่ากับ 16.30 - 24.50 % ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษานี้

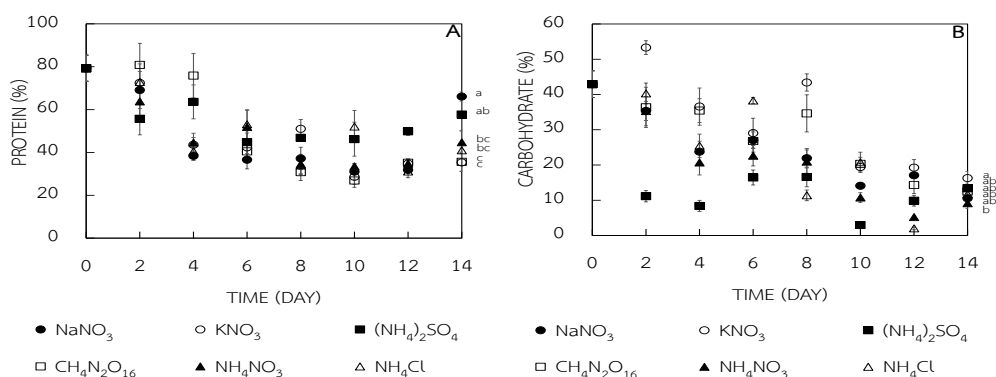


Figure 4 Protein content (A) and Carbohydrate content (B) of *S. platensis* cultivated under different nitrogen sources. Different small letters on the lines indicate a significant difference ($p < 0.05$). Error bars represent $\pm$ S.D. of four replicates.

3.2 ไขมัน

จากการศึกษาพบว่าโซเดียมไนเตรต โพแทสเซียมไนเตรต แอมโมเนียมซัลเฟต ยูเรีย แอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมคลอไรด์ให้ปริมาณไขมันเท่ากับ 25.39 ± 0.84 , 34.65 ± 1.78 , 26.30 ± 1.71 , 26.22 ± 1.27 , 22.95 ± 0.55 และ 27.47 ± 0.93 % ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตมีปริมาณไขมันสูงที่สุด โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดการทดลอง ซึ่งสัมพันธ์กับผลของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต เมื่อโปรตีนมีค่าต่ำจะส่งผลให้ *S. platensis* มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมันเพิ่มขึ้น เนื่องจากแหล่งไนโตรเจนที่มีธาตุอาหารไม่เพียงพอ หรือในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย สาหร่ายมักจะสะสมลิพิดในสภาวะเหล่านี้ (Ruangsomboon, 2020) ขณะที่การศึกษาของ Madkour et al. (2012) พบว่าชุดการทดลองที่ให้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนมีปริมาณไขมันสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น คือ 15.39 ± 1.31 %

ตารางที่ 1 (Table 1) แสดงการเปรียบเทียบแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการผลิตสารชีวโมเลกุลแต่ละชนิด เปรียบเทียบกับการศึกษาที่มีรายงานก่อนหน้านี้ พบว่าค่าโปรตีนและไขมันในการศึกษานี้มีค่าสูงกว่าการทดลองอื่นๆ ในส่วนของคาร์โบไฮเดรตพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ Madkour et al. (2012) ขณะที่ผลผลิตชีวมวลคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์และไฟโคไซยานินมีค่าต่ำกว่าการทดลองอื่นๆ

Table 1 Comparison of biomass and biochemical composition of *S. platensis* (*A. platensis*) and *A. maxima* cultivated under different nitrogen sources.

	Maximum Productivity	References
Biomass (g/l)	0.24 ± 0.01 and 0.24 ± 0.01 (NaNO_3 and KNO_3)	This study
	0.80 (NaNO_3)	Chasoy et al. (2022)
Chlorophyll (mg/g)	4.58 ± 0.48 ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	This study
	12.30 (KNO_3)	Danesi et al. (2011)
Carotenoid (mg/g)	0.0015 ± 0.00 ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	This study
	2.5 (NaNO_3)	Santos et al. (2019)

Table 1 (continued)

	Maximum Productivity	References
	3.12 ± 0.01 (Urea)	Ajayan et al. (2012)
	2.90 ± 0.01 (KNO ₃)	Ajayan et al. (2012)
Phycocyanin (mg/ml)	47.93 ± 1.64 (NaNO ₃)	This study
	<i>A. maxima</i> - 74 (NaNO ₃)	Mirhosseini et al. (2021)
Phycoerythrin (mg/ml)	37.44 ± 1.40 (NaNO ₃)	This study
Protein (%)	68.10 ± 2.92 (NaNO ₃)	This study
	52.62 (NaNO ₃)	Madkour et al. (2012)
Carbohydrate (%)	16.26 ± 1.87 (KNO ₃)	This study
	16.30 (NH ₄ NO ₃)	Madkour et al. (2012)
Lipid (%)	34.65 ± 1.78 (KNO ₃)	This study
	15.39 ± 1.31 (Urea)	Madkour et al. (2012)

4. ผลของแหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันต่อชนิดกรดไขมันของสาหร่าย *Spirulina platensis*

จากการศึกษาพบว่า *S. platensis* ที่ได้รับแหล่งไนโตรเจนทุกรูปแบบมีกรดไขมัน C16:0 เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 24.08 - 74.64 % (Table 2) กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) มีค่าอยู่ในช่วง 48.90 - 81.71 % โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดพบใน *S. platensis* ที่ได้รับแอมโมเนียมไนเตรตและโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจน ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) มีค่าอยู่ในช่วง 18.29 - 51.10 % โดยแบ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid) อยู่ในช่วง 1.16 - 13.67 % และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid) 15.13 - 37.43 % โดยกรดไขมันชนิดที่พบมากที่สุด ใน *S. platensis* คือ C16:0 หรือ Palmitic acid และพบว่าชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมไนเตรตมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์สูงสุด ซึ่งพบว่าเป็นชนิดที่อยู่ในกลุ่มโอเมก้า-6 สูงที่สุด คือ C18:2n6c หรือ Linoleic acid (LA) และ C18:3n6 หรือ γ -linolenic acid (GLA) มีค่า 3.42 และ 22.09 % ตามลำดับ ขณะที่ชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟตมีกรดไขมันชนิด C18:1n9c หรือ Oleic acid สูงที่สุด คือ 2.46 % และชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตพบกรดไขมันชนิด C18:3n3 หรือ Linolenic acid สูงที่สุด ซึ่งอยู่ในกลุ่มโอเมก้า-3 คือ 2.22 %

Table 2 Fatty acid profiles (% of dry weight basis) of *S. platensis* cultivated under different nitrogen Sources (data shown only C16-C18).

Fatty acid	NaNO ₃	KNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	CH ₄ N ₂ O ₁₆	NH ₄ NO ₃	NH ₄ Cl
C16:0	72.35	37.77	74.64	40.05	24.08	39.48
C18:1n9t	0.06	0.00	0.07	0.24	0.01	0.00
C18:1n9c	2.10	0.93	2.46	0.87	1.69	1.07
C18:2n6c	2.58	2.14	2.42	1.53	3.42	2.06
C18:3n3	2.22	0.00	1.78	0.00	1.33	0.00
C18:3n6	1.05	19.34	6.57	19.46	22.09	19.47

Table 2 (continued)

Fatty acid	NaNO ₃	KNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	CH ₄ N ₂ O ₁₆	NH ₄ NO ₃	NH ₄ Cl
SFA	81.71	73.06	79.83	74.81	48.90	74.11
UFA	18.29	26.94	20.17	25.19	51.10	25.89
MUFA	3.16	3.36	3.51	3.66	13.67	1.16
PUFA	15.13	23.58	16.66	21.53	37.43	24.74

SFA-Saturated fatty acid, UFA-Unsaturated fatty acid, MUFA-Monounsaturated fatty acid, PUFA-Polyunsaturated fatty acid, TFA-Total fatty acid.

สรุปผลการศึกษา

แหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* สายพันธุ์ KMITL คือโซเดียมไนเตรด เนื่องจากให้ผลผลิตชีวมวล โปรตีน ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริทรินสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.24 ± 0.01 กรัมต่อลิตร, 68.10 ± 2.92 เปอร์เซ็นต์, 198.74 ± 11.11 มิลลิกรัมต่อกรัม, 155.46 ± 9.81 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 68.10 ± 2.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งโซเดียมไนเตรดให้แคโรทีนอยด์สูงเช่นเดียวกัน 0.0011 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งแคโรทีนอยด์ ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริทรินเป็นรงควัตถุที่สำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง จึงเหมาะสมในการใช้เป็นวัตถุดิบผลิตโปรตีนบาร์อาหารเพื่อสุขภาพต่อมนุษย์

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการวิจัยโรงไฟฟ้าบางปะกง และจากครอบครัว

เอกสารอ้างอิง

- Ajayan, K. V., Selvaraju, M., & K. Thirugnanamoorthy. (2012). Enrichment of chlorophyll and phycobiliproteins in *Spirulina platensis* by the use of reflector light and nitrogen sources: An in-vitro study. *Biomass and Bioenergy* 47, 436-441.
- Asghari, A., Fazilati, M., Latifi, A. Salavati, M. H., & A. Chooapani. (2016). A review on antioxidant properties of *Spirulina*. *Journal of Applied Biotechnology Reports* 3, 345-351.
- Becker, E. W. (1994) *Microalgae Biotechnology and Microbiology*. Great Britain: Cambridge University Press.
- Bligh, E. G. & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. 37, 911-917.
- Chasoy, G. R., Jasso, R. M. R., Aguilar, C. N., Buitron, G., Chairez, I., & Ruiz, H. A. (2022). Growth kinetics and quantification of carbohydrate, protein, lipids, and chlorophyll of *Spirulina platensis* under aqueous conditions using different carbon and nitrogen sources. *Bioresource Technology*. 346, 1-6.
- Costa, J. A. V., Cozza, K. L. Oliveira, L., & G. Magagnin. (2001). Different nitrogen sources and growth responses of *Spirulina platensis* in microenvironments. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 17, 439-442.
- Costa, S. S., Miranda, A. L., Andrade, B. B., Assis, D. J., Souza, C. O., Morais, M. G., Costa, J. A. V., & Druzian J. I. (2018). Influence of nitrogen on growth, biomass composition, production, and properties of polyhydroxyalkanoates (PHAs) by microalgae. *International Journal of Biological Macromolecules*. 116, 552-562
- Danesi, E. D. G., Yagui, C. O. R., Sato, S., & Carvalho, J. C. M. (2011). Growth and content of *Spirulina platensis* biomass chlorophyll cultivated at different values of light intensity and temperature using different nitrogen sources. *Brazilian Journal of Microbiology*. 42, 362-373.

- El-Sheekh, M. M., Hassan, L. H. S., & H. H. Morsi. (2021). Growth enhancement of *Spirulina platensis* through Optimization of media and nitrogen sources. **Egyptian Journal of Botany**. 61(1), 61-69.
- Hirata, T., Tanaka, M. Ooike, T., & Sakaguchi, M. (2000). Antioxidant activities of phycocyanobilin prepared from *Spirulina platensis*. **Journal of Applied Phycology** 12, 435-439.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with folin phenol reagent. **Journal of Biological Chemistry**. 193(1), 265-275.
- Madkour, F. F., Kamil, A. E., & H. S. Nasr. (2012). Production and nutritive value of *Spirulina platensis* in reduced cost media. **Egyptian Journal of Aquatic Research**. 38, 51-57.
- Mirhosseini, N., Davarnejad, R., Hallajisani, A., Europa, E. C., Tavakoli, O., Franco, M. C., & Valdivia, V. B. (2021a). Cultivations of *Arthrospira maxima* (Spirulina) using ammonium sulfate and sodium nitrate as an alternative nitrogen sources. **Iranian Journal of Fisheries Sciences**. 20(2), 475-489.
- Mirhosseini, N., Davarnejad, R., Hallajisani, A., Tavakoli, O., & Europa, E. C. (2021b). Nitrogen Starvation effect versus its excess on the performance of *Arthrospira maxima* in Zarrouk's medium. **International Journal of Engineering**. 34(7), 1557-1568.
- Ruangsomboon, S. (2020). **Microalgae Cultivation and Utilizations**. Bangkok: Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Santos, R. R., Correa, P. S., Dantas, F. M. L., & Teixeira, C. M. L. (2019). Evaluation of the co-production of total carotenoids, C-phycocyanin and polyhydroxyalkanoates by *Arthrospira platensis*. **Bioresource Technology Reports**. 7, 1-9.
- Shanti, G., Premalatha, M., & Anantharaman, N. (2018). Effects of l-amino acids as organic nitrogen source on the growth rate, biochemical composition and polyphenol content of *Spirulina platensis*. **Algal Research**. 35, 471-478.
- Soletto, D., Binaghi, L., Lodi, A., Carvalho, J. C. M., & Converti, A. (2005). Batch and fed batch cultivations of *Spirulina platensis* using ammonium sulfate and urea as nitrogen sources. **Aquaculture**. 243, 217-224.
- Sudhakar, K. & Premalatha, M. (2012). Micro-algal technology for sustainable energy production: State of the art. **Journal of Sustainable Energy & Environment**. 3, 59-62.
- Uddin, A. J., Ifaz, M. I., Husna, M. A., Sakib, I., & Rakibuzzaman, M. (2020). Comparative growth analysis of *Spirulina platensis* using urea as a nitrogen substitute for NaNO₃. **International Journal of Business, Social and Scientific Research**. 8, 76-80.
- Zarrouk, C. (1966). Contribution to the study of a cyanophyceae. Influence of various physical and chemical factors on the growth and photosynthesis of *Spirulina maxima*. Paris: University of Paris.

วันรับบทความ (Received date) : 30 พ.ค. 65

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 28 ต.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 10 พ.ย. 65

RESEARCH ARTICLES:

PAGE

■ Effects of 6-Benzyladenine with Silver Thiosulfate on Growth Traits and Flowering Induction in Cassava	Thanapon Prangkratok, Chalermpol Phumichai and Pasajee Kongsil	1
■ Efficacy of Antagonistic Fungi, <i>Trichoderma asperellum</i> in The Control of Fungal Diseases on Leaves of Oil Palm Seedlings	Paweenut Bunjong, Prattana Attamanee, Nantawat Warintharawet and Warin Intana	9
■ Effect of Mixed Organic Acids and Multivitamins Supplementation Program in Drinking Water of Broilers Raised under Opened House Conditions	Paweenisaras Khenjan and Ananthaya Sansawat	20
■ Surveillance of Nitrofurantoin Metabolite Residue in Pacific White Shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>) at Local Market in Bangkok	Nutchamon Wangwibulkit, Aphacha Jindaprasert, Soraya Kerdpiroon and Adison Swetwiwathana	31
■ Development of Creative Products for Strengthening the Community Economy through Products from Vetiver Grass Mixed Reed Fiber in Udon Thani Province	Kallayane Kullachai, Peerachai Kullachai, Kokhanest Rungsanthia and Pasatorn Dechsiriudom	41
■ Genetic Purity Test of Thai Hom Mali Rice Using SSR Molecular Markers	Hathairat Uairong, Kittaporn Rumjuankiat, Kanthawut Boonmee, Tanassorn Tawinchure and Sudarat Sinchai	51
■ Effects of Cold Plasma on Mortality of Adult of Rice Weevil (<i>Sitophilus oryzae</i>)	Supaphorn Morncharn, Tinnakorn Lamchoo, Jirapong Sornsakdanuphap and Eak-artit Ritdachyeng	62
■ Algae Diversity as Water Quality Indicator in the Main Water Sources, Nakhon Si Thammarat	Manthaka Weeraphong, Supawadee Ramasoot and Damrongphun Jaihowweerapong	70
■ The Effect of Ammonia Accumulation on Growth and Survival of African Catfish Fingerlings	Sarawut Yeneng and Arpapong Changjan	81
■ Effect of Potassium Fertilizer on Yield and Yield Components of HomWarin Rice Variety in Low Fertility Sandy Soil	Woranan Khonkhoei, Nopamas Namdang, Chantamart Chueakaew, Theerayut Toojinda and Sureeporn Katengam	92
■ The Effect of Nitrogen Sources on the Productivity and Biochemical Composition of <i>Spirulina (Arthrospira) platensis</i>	Janethida Kiatmontri and Suneerat Ruangsomboon	102