

วารสารเกษตรพระจอมเกล้า

ขอบเขตการตีพิมพ์

วารสารฯ เผยแพร่บทความวิจัย และบทความวิชาการ ทางด้านเกษตรศาสตร์ เช่น พืชศาสตร์ ปฐพีศาสตร์ สัตวศาสตร์ วิทยาศาสตร์การประมง อารักขาพืช เทคโนโลยีหลังเก็บเกี่ยว วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (เนื้อสัตว์) เศรษฐศาสตร์เกษตร และธุรกิจเกษตร การทำฟาร์มอัจฉริยะ (Smart Farm) ส่งเสริมและพัฒนากิจการเกษตร นิเทศศาสตร์เกษตร และสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ความก้าวหน้าของวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร
2. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือและแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดเห็นระหว่างผู้ที่อยู่ในวงการเกษตรหรือสถาบันต่าง ๆ

สำนักงาน

งานวารสารเกษตรพระจอมเกล้า
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์/โทรสาร : 0-2329-8524
E-mail : ajournal@kmitl.ac.th
www.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal/index

กำหนดการตีพิมพ์ : วารสารเกษตร

พระจอมเกล้า กำหนดตีพิมพ์ปีละ 3 ฉบับ

- ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน
- ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม
- ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม

ที่ปรึกษา

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
ศ. ดร. มยุภา สุนัยวีระ
รศ. ดร. ปัญญา หมั่นเก็บ
รศ. ดร. จารุณ เล้าสินวัฒนา

บรรณาธิการ

รศ. ดร. ผุสดี ตั้งวัชรินทร์

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รศ. ดร. กัญจนา แซ่เตียว
ผศ. ดร. อัจฉรี เรืองเดช
ผศ. ดร. ภัทรารัตน์ เทียมเก่า
ผศ. ดร. พัชรา เอี่ยมกิจการ สบายใจ
ดร. บัทยา นิตไธสง
ดร. มัทธนา ต้นชัย
ดร. เอกพล ทองแก้ว

จัดทำรูปเล่ม

นางสาวมณีนิจฐา วงศ์สง่า

ผู้ดูแลระบบ

นายปิยวัฒน์ ศรีสวัสดิ์

กองบรรณาธิการ

ศ. ดร. บัญชา สมบูรณ์สุข
ศ. ดร. สุตฤดี ประเทืองวงศ์
ศ. ดร. อังคณาภรณ์ จันทร์ปัด
ศ. ดร. ฉลอง วชิราภากร
ศ. ดร. ยุพา หารบุญทรง
ศ. ดร. เนาวนิตย์ สงคราม
ศ. ดร. อนุชิตา มุ่งงาม
ศ. ดร. วรเดช จันทร์สร
รศ. ดร. กานต์ สุขสุแพทย์
รศ. ดร. กำจร หลุยยะพงศ์
รศ. ดร. จินดา ขลิบทอง
รศ. ดร. จุฬารัตน์ เศรษฐกุล
รศ. ดร. ชุทธิ หะยีสามา
รศ. ดร. ไกรเลิศ ทวีกุล
รศ. ดร. ปรมศ บันเทิง
รศ. ดร. วรวิภา เทพาคู
รศ. ดร. ศิริชัย กัลยาณรัตน์
รศ. ดร. สนิชชัย จันทร์เปรม
ผศ. ดร. จักรมาส เลหาพนิช
ผศ. ดร. พิศสุวรรณ เจริญสมบัติ
ผศ. ดร. เขียวรัตน์ ศรีวรรณ
ผศ. ดร. วัชร จินตโกวิท
ผศ. ดร. วีระณีย์ ทองศรี
ผศ. ดร. เสาวคนธ์ เหมวงษ์
คุณอัญชลี สุวจิตตานนท์
ผศ. ดร. อนุญญา เจริญพรนิพัทธ์
ผศ. ดร. นฤกุล ถวิลถิ่ง
รศ. ดร. คำรณวิทย์ ทัพย์มณี
รศ. ดร. พรหมมาศ คุณากาญจน์
รศ. ดร. สุนีพร สุวรรณมณีพงศ์
รศ. ดร. ศุภลักษณ์ สรภักดิ์
ผศ. ดร. ลำแพน ขวัญพูล
ผศ. ดร. ดวงกมล ปานรศทิพ ธรรมาธิวัฒน์
ผศ. ดร. ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล
ผศ. ดร. จำลอง มิตรชาวยุทธ
ผศ. ดร. มัลลิกา กิลลาไส
ดร. ธนัท สมณคุปต์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านเมืองทองธานี)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านสุขุมวิท 81)
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านชลลดา-สุวรรณภูมิ)
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ข้าราชการบำนาญ (หมู่บ้านตำบลคลองเกลือ)
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กรมส่งเสริมการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เจ้าหน้าที่วารสาร

นางสาวกฤติดา ทรัพย์น้อย

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ที่

กองบรรณาธิการวารสารเกษตรพระจอมเกล้า
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 7146
E-mail : ajournal@kmitl.ac.th

สำนักพิมพ์ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

ข้อความและบทความในวารสารนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนโดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหาและข้อคิดเห็นนั้น ๆ แต่อย่างใด

บรรณาธิการแถลง (Editor's Note)

วารสารเกษตรพระจอมเกล้าปีที่ 43 ฉบับที่ 3 ประจำเดือนกันยายน - ธันวาคม 2568 ฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัยจำนวน 18 บทความ ประกอบด้วย สาขาส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร 6 บทความ พืชศาสตร์ด้านพืชไร่ 5 บทความ วิทยาศาสตร์การประมง 3 บทความ พืชศาสตร์ด้านพืชสวน 2 บทความ ปฐพีศาสตร์ 1 บทความ และนิเทศศาสตร์เกษตร 1 บทความ บทความทุกอย่างนอกจากมีความน่าสนใจในเนื้อหาให้ได้เรียนรู้และต่อยอดต่อไปแล้ว ยังได้ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) ทั้งที่มาจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อยกระดับคุณภาพของงานวิจัยและมีมาตรฐานทางวิชาโดยได้ผลิตและเผยแพร่แบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (E-Journal) ทั้งนี้ วารสารฯ ได้เริ่มใช้การระบุ DOI (ตัวระบุวัตถุดิจิทัล) ตั้งแต่วารสารปีที่ 41 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยในการค้นหาการเข้าถึง และเชื่อมโยงการเข้าถึงสารสนเทศดิจิทัลสำหรับผู้ที่สนใจจะส่งบทความวิจัยหรือบทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal> หรือติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่อีเมล ajournal@kmitl.ac.th

รองศาสตราจารย์ ดร.ผุสดี ตั้งวัชรินทร์
บรรณาธิการวารสารเกษตรพระจอมเกล้า

แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนกับผลผลิตข้าวโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่าง

Modeling the Relationship between Extreme Values of Rainfall and Rice Yields using Machine Learning in the Lower Northern Provinces

ศรัณญา ทองสุข^{1*} และณัฐธินี ดีแท้¹Saranya Thongsook^{1*} and Natthinee Deetae¹

Received date: 30 พ.ย. 66 Revised date: 10 ก.ย. 67 Accepted date: 2 ต.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.16.001>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนกับผลผลิตข้าวในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่าง ข้อมูลผลผลิตข้าวนาปีรายปีและปริมาณน้ำฝนรวมรายปีในช่วงปี 2533 ถึง ปี 2562 ของ 6 จังหวัดภาคเหนือตอนล่าง ซึ่งประกอบด้วย นครสวรรค์ พิจิตร พิษณุโลก กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ และสุโขทัย ถูกนำมาใช้สำหรับพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์สำหรับ 6 จังหวัดภาคเหนือตอนล่างดังกล่าว โดยใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง 3 วิธี ประกอบด้วย วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ วิธีป่าสุ่ม และวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน สำหรับประสิทธิภาพของแบบจำลองแต่ละแบบในแต่ละจังหวัดถูกประเมินจากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE), ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error : RMSE), ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error : MSE) และค่าอาร์กำลังสอง (R-squared) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีป่าสุ่มและมีตัวแปรอิสระเป็นค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนเป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณและวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนโดยเฉพาะในจังหวัดนครสวรรค์, จังหวัดพิจิตร, จังหวัดพิษณุโลกและจังหวัดกำแพงเพชร โดยพิจารณาจากค่าอาร์กำลังสองที่มีค่าสูงกว่าวิธีอื่น ๆ และค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่มีค่าต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ นอกจากนี้พบว่าการใช้ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน เป็นตัวแปรนำเข้าสำหรับการสร้างแบบจำลองให้ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ดีกว่าการใช้ปริมาณน้ำฝนรวมรายปี ซึ่งค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนสามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตข้าวในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่างดังกล่าวได้ถึง 64-79%

คำสำคัญ: ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน การเรียนรู้ของเครื่อง ผลผลิตข้าว จังหวัดภาคเหนือตอนล่าง

Abstract

This research presents the development of a model for the relationship between extreme values of rainfall and rice yield in the lower northern provinces. Data on annual rice yield and total annual rainfall from 1990 to 2019 of six lower northern provinces which included Nakhonsawan, Phichit, Phitsanulok, Kamphaengphet, Phetchabun and Sukhotha were used to develop a relationship model for the six lower northern provinces. Three machine learning methods were used for the development of a model. The methods comprised multiple regression analysis, random forest and support vector machine. In this research, the performance of each model in each province was evaluated from the mean absolute error (MAE), the root mean square error (RMSE), the mean square error (MSE) and R-squared value. The results showed that a model created using the random forest method, with extreme rainfall values as independent variable, outperformed the models built using the multiple regression analysis and support vector matching methods. This was particularly true in the provinces of Nakhon Sawan, Phichit, Phitsanulok, and Kamphaeng Phet, where it had both higher R-squared values and lower root mean squared error values. In addition, it was found that using the extreme values of rainfall as an input variable for modeling, the model performance is better than using total annual rainfall. The extreme values of rainfall can explain 64-79% of the variation in rice yield in the lower northern provinces.

Keywords: extreme values of rainfall, machine learning, rice yield, the lower northern provinces

¹ สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Department of Data Science and Statistics, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok 65000

*corresponding author e-mail: saranya.tho@psru.ac.th

คำนำ

การประมาณผลผลิตทางการเกษตรก่อนการเก็บเกี่ยวถือเป็นประเด็นสำคัญและจำเป็นสำหรับภาคการเกษตร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตทางการเกษตรในแต่ละปีจะมีอิทธิพลต่อธุรกิจระหว่างประเทศ การจัดหาอาหารและราคาในตลาดโลก นอกจากนี้การคาดการณ์ผลผลิตทางการเกษตรล่วงหน้าถือเป็นการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องสำหรับการวางแผนการใช้ที่ดินและนโยบายเศรษฐกิจอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ทั้งนี้หากการคาดการณ์ตามสภาพอากาศมีความแม่นยำมากขึ้นเกษตรกรจะได้รับการแจ้งเตือนล่วงหน้าอย่างดีเพื่อลดการสูญเสียครั้งใหญ่ ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ซึ่งแหล่งปลูกข้าวในประเทศไทยพบได้กระจายทั่วทุกภาคของประเทศไทย ข้าวจึงเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญสร้างรายได้ให้กับประเทศ ดังนั้นการศึกษาวិธีการประมาณผลผลิตข้าวจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นกับประเทศไทยอย่างยิ่ง

สภาพภูมิอากาศเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่สำคัญสำหรับประมาณผลผลิตทางการเกษตร ดังนั้นจึงมีงานวิจัยสำหรับทำการศึกษาศึกษาเพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางภูมิอากาศและผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ โดยงานวิจัยต่าง ๆ ดังกล่าวใช้ปัจจัยทางภูมิอากาศหลาย ๆ ปัจจัยสำหรับการประยุกต์วิธีการทางสถิติและเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อให้ได้แบบจำลองความสัมพันธ์ที่มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเกษตรอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปี 2561 งานวิจัยของเครน-ดรอเอสซ์ (Crane-Droesch, 2018) ชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อผลผลิตข้าวโพด อีกทั้งงานวิจัยของเฉินและคณะ (Chen et al., 2019) ชี้ให้เห็นว่าค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศทำให้ผลผลิตมวลรวมลดลง 2.8% ต่อปีในประเทศจีนตลอดช่วงสามทศวรรษที่ผ่านมา ดังนั้นจึงมีงานวิจัยในต่างประเทศมากมายที่ทำการศึกษามลกระทบหรือความสัมพันธ์ของค่าสุดขีดของข้อมูลสภาพภูมิอากาศกับปริมาณผลผลิตทางการเกษตร อริดูสและคณะ (Alidoost et al., 2019) ศึกษาการสร้างแบบจำลองระหว่างดัชนีค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศกับปริมาณผลผลิต ต้นทุนและราคาของมันฝรั่งในประเทศเนเธอร์แลนด์โดยวิธีการประยุกต์โคปุลาพบว่าวิธีการประยุกต์ใช้โคปุลาเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับสร้างแบบจำลองผลกระทบของดัชนีค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อตัวแปรตามโดยเฉพาะในกรณีที่มีตัวแปรตามหลายตัว โวเกิลและคณะ (Vogel et al., 2019) ศึกษาผลกระทบของค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อความผิดปกติของผลผลิตของข้าวโพด ถั่วเหลือง ข้าว และข้าวสาลีฤดูใบไม้ผลิโดยใช้ข้อมูลผลผลิตในประเทศต่างๆ โดยใช้วิธีป่าสุ่ม (Random Forest Regression) พบว่าค่าสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยและค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศสามารถอธิบายความผันแปรของความผิดปกติของผลผลิตได้ 20% - 49% โดย 18% - 43% ของความผันแปรที่อธิบายมีสาเหตุมาจากค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศโดยขึ้นอยู่กับชนิดของผลผลิต คอนดურიและคณะ (Konduri et al., 2020) ศึกษาความสัมพันธ์และแบบจำลองการพยากรณ์ของดัชนีค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศกับปริมาณผลผลิตข้าวโพดโดยใช้วิธีการถดถอยแบบส่วนประกอบหลัก (Principal Component Regression) วิธีการถดถอยแบบบริดจ์ (Ridge Regression) วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกสชัน (Support Vector Regression : SVR) และวิธีป่าสุ่ม (Random Forest Regression) พบว่าวิธีป่าสุ่มเป็นวิธีที่ดีที่สุดและให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดสำหรับการพยากรณ์ในข้อมูลชุดทดสอบในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตข้าวโพดกับดัชนีค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศ แฟนและคณะ (Fan et al., 2020) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนกับผลผลิตข้าวและผลผลิตข้าวโพดของมณฑลเสฉวนประเทศจีนโดยประยุกต์ใช้ค่า Z-index ของพาล์มเมอร์และวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) พบว่าค่าผลรวมของ Z-index สามารถใช้จับเหตุการณ์ที่มีความแห้งแล้งและมีความชื้นมากๆ ได้อย่างแม่นยำ และวิธีป่าสุ่มเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการสร้างแบบจำลองในการประเมินผลกระทบของค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อผลผลิตพืช จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเหตุการณ์ที่สภาพภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงมีผลกระทบกับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่างๆ จึงคาดการณ์ได้ว่าผลกระทบของค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อระบบเกษตรกรรมจะเพิ่มขึ้นในอนาคต (Harrison et al., 2016) ซึ่งสามค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศที่พบว่ามีผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญคือ ค่าสุดขีดของความแห้งแล้ง ค่าสุดขีดของอุณหภูมิ และค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (Rotter et al., 2018)

สำหรับในประเทศไทยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับศึกษาผลกระทบของค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อปริมาณผลผลิตทางการเกษตรยังมีไม่มากนัก ด้วยเหตุผลดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยเฉพาะค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนที่มีต่อผลผลิตข้าวในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่าง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนกับผลผลิตข้าวในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่างและเพื่อหาเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือสำหรับแบบจำลองดังกล่าว

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิรายเดือนของผลผลิตข้าวนาปีสำหรับ 6 จังหวัดภาคเหนือตอนล่าง ประกอบด้วย นครสวรรค์ พิจิตร พิษณุโลก กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ และสุโขทัยซึ่งเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่การปลูกข้าวนาปีมากกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่การปลูกข้าวของจังหวัดภาคเหนือตอนล่างจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร และข้อมูลทุติยภูมิรายเดือนของปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี 2533 ถึง ปี 2562 รวมทั้งสิ้น 30 ปี ซึ่งข้อมูลทุติยภูมิจากทั้งสองแหล่งข้อมูลเป็นข้อมูลแบบมีโครงสร้าง โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลตามรายละเอียดดังนี้

กำหนดตัวแปรสำหรับงานวิจัย

ตัวแปรสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ตัวแปรนำเข้า (ตัวแปรอิสระ) คือ ค่าปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน และตัวแปรผลลัพธ์ (ตัวแปรตาม) คือ ผลผลิตข้าวนาปีของพื้นที่เป้าหมายในแต่ละปี สำหรับค่าปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยาจะถูกทำความสะอาดข้อมูล (Cleaning data) โดยการตัดค่าที่เป็น NA ซึ่งหมายถึงการวัดค่าปริมาณน้ำฝนไม่ได้ในแต่ละวันออกก่อนแล้วจึงนำค่าที่เหลือมาคำนวณค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนต่อไป สำหรับการคำนวณค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนในงานวิจัยนี้ใช้การประยุกต์ใช้วิธีดัชนีภัยแล้งรุนแรงของพาลเมอร์ (Palmer Z-index) เช่นเดียวกับงานวิจัยของฟิงและคณะ (Feng et al., 2019) ซึ่งจะได้ค่าดัชนีดัชนีอุทกภัยหรือภัยแล้ง (Z-index) โดยคำนวณได้จากสมการที่ (1)-(3)

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{6} \phi_i + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (1)$$

ซึ่ง C_s และ ϕ_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความเบ้และตัวแปรปริมาณน้ำฝนที่ถูกทำให้เป็นปกติตามลำดับ โดย i คือตัวแปรปริมาณน้ำฝนที่ถูกทำให้เป็นปกติในเดือนที่ i จากค่า X_i สำหรับค่าทั้งสองค่าสามารถหาได้จากสมการที่ (2) และ (3)

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{n\sigma^3} \quad (2)$$

$$\phi_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (3)$$

ซึ่ง X_i , \bar{X} และ σ คือ ผลรวมของปริมาณน้ำฝนรายเดือนหรือผลรวมของปริมาณน้ำฝนรายเดือน ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลรวมของปริมาณน้ำฝนรายเดือนหรือผลรวมของปริมาณน้ำฝนรายเดือนตามลำดับ

เมื่อกำหนดค่าดัชนีอุทกภัยหรือภัยแล้ง (Z-index) เรียบร้อยแล้วคณะผู้วิจัยจะได้ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนโดยคำนวณจากผลรวมของค่า Z-index ที่ตกอยู่ในทุกกลุ่มยกเว้นกลุ่มปกติ ซึ่งพิจารณาจากค่า Z-index ดังแสดงใน Table 1

การแบ่งข้อมูล (split data)

สำหรับการแบ่งข้อมูลจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใช้สำหรับสร้างสมการ (train data) และส่วนที่สองใช้สำหรับทดสอบสมการ (test data) สำหรับการศึกษานี้แบ่งข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลอง (train data) คิดเป็น 80% ของข้อมูลทั้งหมด (ตามขนาดของชุดข้อมูล) ตามลำดับ และข้อมูลทดสอบสำหรับทดสอบแบบจำลอง (test data) คิดเป็น 20% ของข้อมูลทั้งหมดตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดของจำนวนหน้าในวารสารและจำนวนข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละจังหวัดจึงได้ใช้การแบ่งข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลอง-สำหรับทดสอบแบบจำลองเป็น 80-20%

Table 1 The z-index of precipitation and temperature extremes

Category	Value Range	Quantile	Category	Value Range	Quantile
Extreme dry	$Z \leq -1.65$	less than 5%	Moderate wet	$0.52 \leq Z \leq 1.04$	70% - 85%
Severe dry	$-1.65 \leq Z \leq -1.04$	5% - 15%	Severe wet	$1.04 \leq Z \leq 1.65$	85% - 95%
Moderate dry	$-1.04 \leq Z \leq -0.52$	15% - 30%	Extreme wet	$Z \geq 1.65$	greater than 95%
Normal	$-0.52 \leq Z \leq 0.52$	30% - 70%			

สร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ โดยใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning algorithms)

งานวิจัยนี้เลือกใช้ทั้งวิธีตัวแบบเชิงเส้นซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression : MLR) และตัวแบบไม่เชิงเส้นซึ่งได้แก่ วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) และวิธีป่าสุ่ม (Random Forest: RF) สำหรับทำนายผลผลิตข้าวปลอดภัยในจังหวัดพิษณุโลกโดยใช้โปรแกรมอาร์ (R Program) เวอร์ชัน 4.3.1 ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดโดยย่อ ดังนี้

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ หลายตัวกับตัวแปรตาม 1 ตัว เพื่อศึกษาว่ามีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่ร่วมกันทำนายหรือพยากรณ์ หรืออธิบายการผันแปรของตัวแปรตามได้ โดยเขียนความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการที่ (4)

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p + e \quad (4)$$

โดยที่ Y_i คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable) X_1, \dots, X_p คือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable), β_0 คือ จุดตัดแกน Y หรือค่าของ Y เมื่อ $X = 0$, β_1, \dots, β_p คือ ความชัน (Slope) ของเส้นตรงเป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนไป 1 หน่วย, e คือ ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (Random Error) เมื่อ $i = 1, \dots, p$

วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) สำหรับการวิเคราะห์การถดถอย เป็นแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลแบบเชิงเส้น (Linear) และไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ทั้งแบบการจำแนกประเภท (Classification) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ซึ่งเหมาะกับข้อมูลที่มีขนาดเล็กไปจนถึงขนาดกลาง SVM สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ได้ดังสมการที่ (5)

$$\text{ฟังก์ชันวัตถุประสงค์} : \min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\epsilon_i + \epsilon_i^*) \quad (5)$$

โดยมีเงื่อนไข : $y_i - (w, x_i) - b \leq \epsilon + \epsilon_i$, $(w, x_i) + b - y_i \leq \epsilon + \epsilon_i$, $\epsilon_i, \epsilon_i^* \geq 0$

เมื่อ w คือ เวกเตอร์น้ำหนัก, b คือ ค่าสัมประสิทธิ์, ϵ_i คือ ตัวแปรส่วนขาด

โดยเป้าหมายในการฝึกแบบจำลองคือ การหาฟังก์ชันการตัดสินใจที่ y_i ไม่เกินค่า ϵ สำหรับทุก ๆ x_i ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$|\epsilon|_\epsilon = \begin{cases} 0 & \text{if } |\epsilon| \leq \epsilon \\ |\epsilon| - \epsilon & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

วิธีป่าสุ่ม (Random Forest: RF) สำหรับการวิเคราะห์การถดถอย เป็นหนึ่งในอัลกอริทึมพื้นฐานของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และถือได้ว่าเป็นเครื่องมือทางสถิติที่มีประสิทธิภาพสำหรับการทำนายอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งวิธีป่าสุ่มสามารถใช้ได้ทั้งในงานการจำแนกประเภทและการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งเกิดจากการทำงานร่วมกันของวิธีการจำแนกประเภทแบบพิเศษและวิธีการเรกเรชันทรี (Regression Trees : CART) วิธีป่าสุ่มเป็นวิธีการที่ใช้การคาดการณ์โดยการรวมการคาดการณ์จากต้นไม้การตัดสินใจหลายๆ แบบโดยใช้เทคนิคการรวบรวม Bootstrap หรือที่เรียกว่า Bagging สำหรับการทำนายขั้นสุดท้ายของวิธีป่าสุ่มทำโดยการหาค่าเฉลี่ยจากต้นไม้แต่ละต้นวิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมกับข้อมูลเชิงปริมาณและเหมาะสมสำหรับแบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้นสำหรับค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีป่าสุ่ม เช่น จำนวนต้นไม้ ความลึกสูงสุดของต้นไม้ จำนวนสูงสุดในการแบ่งกลุ่มแต่ละครั้ง และจำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุดในการแบ่งกลุ่มแต่ละครั้งจะถูกกำหนดโดยการค้นหาแบบกริด ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีป่าสุ่มสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยผ่านแพ็คเกจชื่อว่า randomForest ในโปรแกรมอาร์โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้เท่ากับค่าเริ่มต้น

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Model Evaluation)

การตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยวิธี Train/Test split จากนั้นจะคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE), ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error : RMSE), ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error : MSE), ค่าอาร์กำลังสอง (R-squared) และอาร์กำลังสองที่ปรับค่าแล้ว (Adjusted R-squared) เพื่อใช้สำหรับพิจารณาประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 3 วิธี ซึ่งสามารถสรุปเป็นกรอบแนวคิดสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนกับผลผลิตข้าวในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่าง แสดงไว้ดัง Figure 1

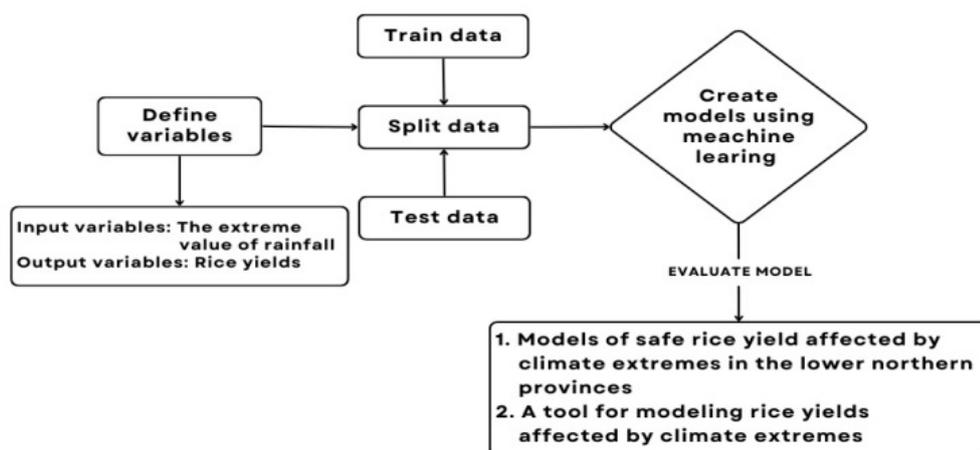


Figure 1 Research conceptual framework

สำหรับการวิจัยนี้จะใช้ค่าขีดสุดของปริมาณน้ำฝนและค่าขีดสุดของอุณหภูมิเป็นตัวแปรนำเข้า (ตัวแปรอิสระ) ในขณะที่ผลผลิตข้าวปลอดภัยของแต่ละปีถูกใช้เป็นตัวแปรผลลัพธ์ (ตัวแปรตาม) และเพื่อการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองชุดข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนแบบสุ่ม โดยส่วนหนึ่งสำหรับสร้างแบบจำลอง (Training) และอีกส่วนหนึ่งสำหรับทดสอบแบบจำลอง (Testing) ในอัตราส่วน 80-20% ของชุดข้อมูลทั้งหมดตามลำดับ และเมื่อได้แบบจำลองแล้วจะทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้โดยคำนวณค่า r-squared และรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error (RMSE))

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดสุดของปริมาณน้ำฝนกับผลผลิตข้าวในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่างโดยใช้วิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ Multiple Linear Regression : MLR), ป่าสุ่ม (Random Forest : RF) และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM) และใช้ตัวแปรนำเข้า(ตัวแปรอิสระ) คือ ค่าขีดสุดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และค่าปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation) ซึ่งได้แบบจำลอง 6 แบบจำลอง สำหรับการวิเคราะห์ดังนี้ แบบจำลองที่ 1 (MLE+zindex_prec) คือ แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (MLR) โดยมีตัวแปรอิสระเป็นค่าขีดสุดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec), แบบจำลองที่ 2 (RF+zindex_prec) คือ แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีป่าสุ่ม (RF) โดยมีตัวแปรอิสระเป็นค่าขีดสุดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec), แบบจำลองที่ 3 (SVM+zindex_prec) คือ แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) โดยมีตัวแปรอิสระเป็นค่าขีดสุดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec), แบบจำลองที่ 4 (MLE+ Precipitation) คือ แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (MLR) โดยมีตัวแปรอิสระเป็นค่าปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation), แบบจำลองที่ 5 (RF+ Precipitation) คือ แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีป่าสุ่ม (RF) โดยมีตัวแปรอิสระเป็นค่าปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation) และแบบจำลองที่ 6 (SVM+ Precipitation) คือ แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) โดยมีตัวแปรอิสระเป็นค่าปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation)

Table 2 แสดงค่าอาร์กกำลังสองของแบบจำลองที่มีค่าขีดสุดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation) เป็นตัวแปรอิสระสำหรับชุดข้อมูลสร้างแบบจำลอง-ทดสอบแบบจำลอง (Training- Testing) 80-20% ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองที่ 2 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ค่าขีดสุดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และถูกสร้างโดยวิธีป่าสุ่มเป็นแบบจำลองที่มีค่าอาร์กกำลังสองสูงสุดในจังหวัดพิจิตร, พิษณุโลก, กำแพงเพชรและสุโขทัย โดยมีค่าเท่ากับ 0.62, 0.73, 0.64 และ 0.77 ตามลำดับ สำหรับจังหวัดนครสวรรค์และเพชรบูรณ์พบว่า แบบจำลองที่ 5 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation) และถูกสร้างโดยวิธีป่าสุ่มเป็นแบบจำลองที่มีค่าอาร์กกำลังสองสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.82 และ 0.77 ตามลำดับ

Table 2 The R-squared of models for the z-index of rainfall and the total annual rainfall

Model	provinces					
	Nakhonsawan	Phichit	Phitsanulok	Kampaengphet	Phetchabun	Sukhothai
1. MLE + zindex_prec	0.6394	0.0559	0.0611	0.0340	0.0177	0.0011
2. RF + zindex_prec	0.7852	0.6196	0.7260	0.6396	0.6110	0.7741
3. SVM + zindex_prec	0.5382	0.1551	0.3382	-0.0203	0.0450	0.3144
4. MLE + Precipitation	0.6675	0.1031	0.2498	0.0345	0.0006	0.0153
5. RF + Precipitation	0.8209	0.5947	0.6543	0.6280	0.7691	0.7313
6. SVM + Precipitation	0.6160	0.2405	0.2469	-0.0151	0.2166	0.0224

zindex_prec is z-index of rainfall and Precipitation is the total annual rainfall

Table 3 แสดงค่าอาร์กำลังสองที่ปรับค่าแล้วของแบบจำลองที่มีค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation) เป็นตัวแปรอิสระสำหรับชุดข้อมูลสร้างแบบจำลอง-ทดสอบแบบจำลอง (Training- Testing) 80-20% ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองที่ 2 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และถูกสร้างโดยวิธีป่าสุ่ม เป็นแบบจำลองที่มีค่าอาร์กำลังสองที่ปรับค่าแล้วสูงสุดในจังหวัดพิจิตร, พิษณุโลก, กำแพงเพชรและสุโขทัย โดยมีค่าเท่ากับ 0.60, 0.71, 0.62 และ 0.76 ตามลำดับ สำหรับจังหวัดนครสวรรค์และเพชรบูรณ์พบว่า แบบจำลองที่ 5 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation) และแบบจำลองถูกสร้างโดยวิธีป่าสุ่มเป็นแบบจำลองที่มีค่าอาร์กำลังสองที่ปรับค่าแล้วสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.80 และ 0.76 ตามลำดับ

Table 3 The Adjusted R-squared of models for the z-index of rainfall and the total annual rainfall

Model	provinces					
	Nakhonsawan	Phichit	Phitsanulok	Kampaengphet	Phetchabun	Sukhothai
1. MLE + zindex_prec	0.5943	-0.0031	0.0117	-0.0197	-0.0269	-0.0443
2. RF + zindex_prec	0.7584	0.5958	0.7116	0.6196	0.5934	0.7638
3. SVM + zindex_prec	0.4804	0.1023	0.3034	-0.0770	0.0016	0.2832
4. MLE + Precipitation	0.6260	0.0471	0.2103	-0.0191	-0.0448	-0.0276
5. RF + Precipitation	0.7985	0.5694	0.6361	0.6074	0.7586	0.7196
6. SVM + Precipitation	0.5680	0.1930	0.2073	-0.0715	0.1810	-0.0201

zindex_prec is z-index of rainfall and Precipitation is the total annual rainfall

Table 4 Efficiency of models for the z-index of rainfall and the total annual rainfall

Provinces	Models	Efficiency of models			Provinces	Models	Efficiency of models		
		MAE	MSE ($\times 10^5$)	RMSE			MAE	MSE ($\times 10^5$)	RMSE
Nakhonsawan	1	164.07	377.49	194.29	Kampaengphet	1	162.99	290.80	170.53
	2	160.18	341.69	184.85		2	160.33	314.02	177.21
	3	165.69	377.19	194.21		3	124.72	180.69	134.42
	4	194.59	463.55	215.30		4	163.24	291.78	170.82
	5	209.86	504.87	224.07		5	162.23	324.02	180.01
	6	190.26	447.17	211.46		6	125.64	183.00	135.28
Phichit	1	58.14	76.51	87.47	Phetchabun	1	41.90	22.85	47.80
	2	100.07	105.16	102.55		2	114.21	169.74	130.28
	3	94.69	146.13	120.88		3	44.14	22.38	47.31
	4	72.24	123.73	111.24		4	43.93	26.49	51.35
	5	171.21	435.77	208.75		5	45.47	33.57	57.94
	6	102.19	207.37	144.01		6	30.71	14.92	38.62
Phitsanulok	1	120.86	158.31	125.82	Sukhothai	1	96.34	140.10	118.36
	2	101.13	156.27	125.01		2	151.73	370.53	192.49
	3	101.19	124.14	111.42		3	97.23	104.60	102.27
	4	136.84	214.40	146.43		4	103.48	145.20	120.50
	5	136.63	223.57	149.52		5	134.55	242.37	152.59
	6	133.47	200.63	141.64		6	98.29	141.11	118.20

zindex_prec is z-index of rainfall and Precipitation is the total annual rainfall

สำหรับค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE), ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของแบบจำลองที่มีค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation) เป็นตัวแปรอิสระสำหรับชุดข้อมูลสร้างแบบจำลอง-ทดสอบแบบจำลอง (Training- Testing) 80-20% ตามลำดับ ดังแสดงไว้ใน Table 4 ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองที่ 2 ของจังหวัดนครสวรรค์ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และถูกสร้างโดยวิธีป่าสุ่มเป็นแบบจำลองที่มีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 3 ค่าต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 160.18 ต้น/ไร่, 341.69×10^5 ต้น/ไร่ และ 184.85 ต้น/ไร่ ตามลำดับ สำหรับจังหวัดพิจิตรพบว่า แบบจำลองที่ 1 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และถูกสร้างโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเป็นแบบจำลองที่มีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 3 ค่าต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 58.14 ต้น/ไร่, 76.51×10^5 ต้น/ไร่ และ 87.47 ต้น/ไร่ ตามลำดับ สำหรับจังหวัดพิษณุโลกพบว่า แบบจำลองที่ 3 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และถูกสร้างโดยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซึนเป็นแบบจำลองที่มีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 2 ค่าต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 124.14×10^5 ต้น/ไร่ และ 111.42 ต้น/ไร่ ตามลำดับ สำหรับจังหวัดกำแพงเพชรพบว่า แบบจำลองที่ 3 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และถูกสร้างโดยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซึนเป็นแบบจำลองที่มีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 3 ค่าต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 124.72 ต้น/ไร่, 180.69×10^5 ต้น/ไร่ และ 134.42 ต้น/ไร่ ตามลำดับ สำหรับจังหวัดเพชรบูรณ์พบว่า แบบจำลองที่ 6 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation) และถูกสร้างโดยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซึนเป็นแบบจำลองที่มีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 3 ค่าต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 30.71 ต้น/ไร่, 14.92×10^5 ต้น/ไร่ และ 38.62 ต้น/ไร่ ตามลำดับ และสำหรับจังหวัดสุโขทัยพบว่า แบบจำลองที่ 3 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และถูกสร้างโดยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซึนเป็นแบบจำลองที่มีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 2 ค่าต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 104.60×10^5 ต้น/ไร่, และ 102.27 ต้น/ไร่ ตามลำดับ

สำหรับการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติของปริมาณน้ำฝนกับผลผลิตข้าวในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่าง,หา เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือสำหรับแบบจำลองผลผลิตข้าวในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่างที่ได้รับผลกระทบ จากค่าสถิติของปริมาณน้ำฝน จะพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE), ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง เฉลี่ย (RMSE), ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ซึ่งควรมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ และค่าอาร์กำลังสอง (R-squared) ซึ่งควรมีค่ามากกว่า 0.5 ในเวลาเดียวกัน สำหรับแบบจำลองทั้ง 6 แบบจำลอง ของแต่ละจังหวัด ดังแสดงใน Figure 2-7

Figure 2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE), ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE), ค่า ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าอาร์กำลังสองสำหรับแบบจำลองทั้ง 6 แบบจำลองของจังหวัดนครสวรรค์ พบว่า แบบจำลองที่มีอาร์กำลังสองสูงสุดและในขณะเดียวกันก็มีค่าประสิทธิภาพทั้ง 3 ค่าต่ำสุด คือ แบบจำลองที่ 2 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ค่าสถิติของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และถูกสร้างโดยวิธีป่าสุ่ม โดยมีค่าเท่ากับ 160.18 ตัน/ไร่, 184.85 ตัน/ไร่, 341.69 x 10⁵ ตัน/ไร่ และ 0.79 ตามลำดับ

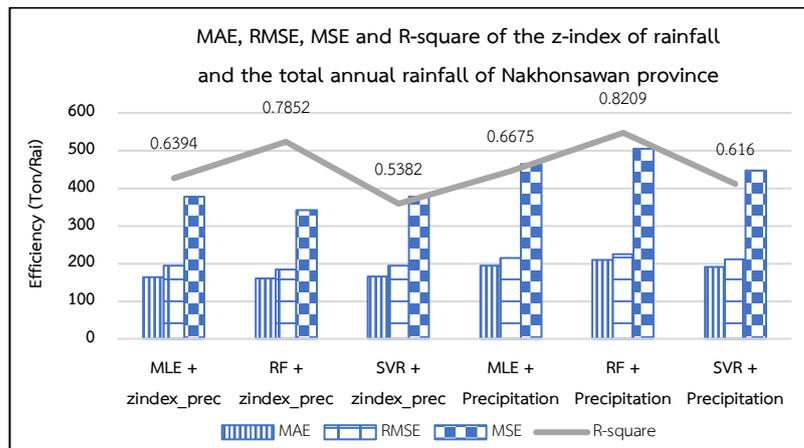


Figure 2 Efficiency of models for Nakhonsawan province

Figure 3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE), ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE), ค่า ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าอาร์กำลังสองสำหรับแบบจำลองทั้ง 6 แบบจำลองของจังหวัดพิจิตร พบว่า แบบจำลองที่มีอาร์กำลังสองมากกว่า 0.50 คือ แบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 5 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพ ทั้ง 3 ค่ารวมด้วย ซึ่งค่าประสิทธิภาพควรมีต่ำสุดพบว่า แบบจำลองที่ 2 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ค่าสถิติของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และถูกสร้างโดยวิธีป่าสุ่ม โดยมีค่าเท่ากับ 100.07 ตัน/ไร่, 102.55 ตัน/ไร่, 105.16 x 10⁵ ตัน/ไร่ และ 0.62 ตามลำดับ

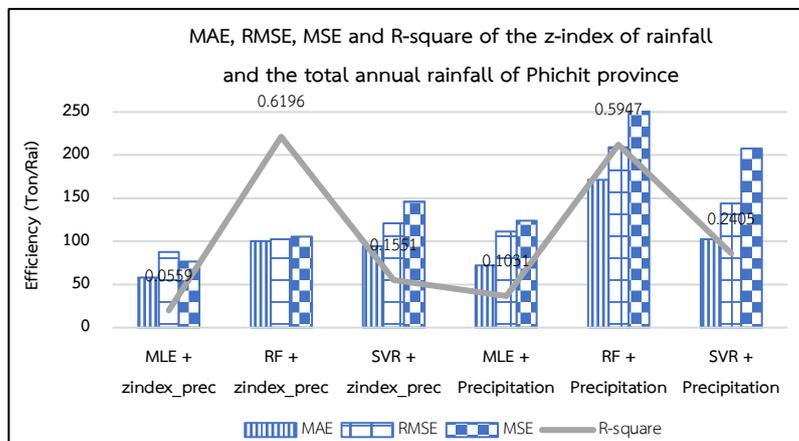


Figure 3 Efficiency of models for Phichit province

Figure 4 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE), ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE), ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าอาร์กำลังสองสำหรับแบบจำลองทั้ง 6 แบบจำลองของจังหวัดพิษณุโลก พบว่าแบบจำลองที่มีอาร์กำลังสองมากกว่า 0.50 คือ แบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 5 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพทั้ง 3 ค่ารวมด้วย ซึ่งค่าประสิทธิภาพควรมีต่ำสุดพบว่า แบบจำลองที่ 2 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และถูกสร้างโดยวิธีป่าสุ่ม โดยมีค่าเท่ากับ 101.13 ตัน/ไร่, 125.01 ตัน/ไร่, 156.27×10^5 ตัน/ไร่ และ 0.73 ตามลำดับ

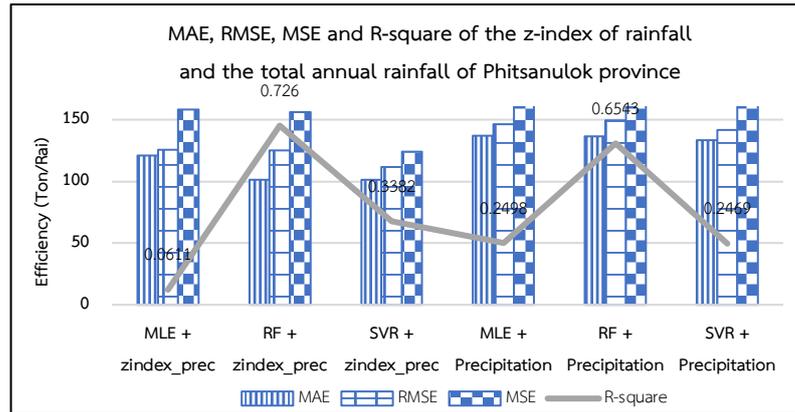


Figure 4 Efficiency of models for Phitsanulok province

Figure 5 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE), ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE), ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าอาร์กำลังสองสำหรับแบบจำลองทั้ง 6 แบบจำลองของจังหวัดกำแพงเพชร พบว่าแบบจำลองที่มีอาร์กำลังสองมากกว่า 0.50 คือ แบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 5 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพทั้ง 3 ค่ารวมด้วย ซึ่งค่าประสิทธิภาพควรมีต่ำสุดพบว่า แบบจำลองที่ 2 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) และถูกสร้างโดยวิธีป่าสุ่ม โดยมีค่าเท่ากับ 160.33 ตัน/ไร่, 177.21 ตัน/ไร่, 314.02×10^5 ตัน/ไร่ และ 0.64 ตามลำดับ

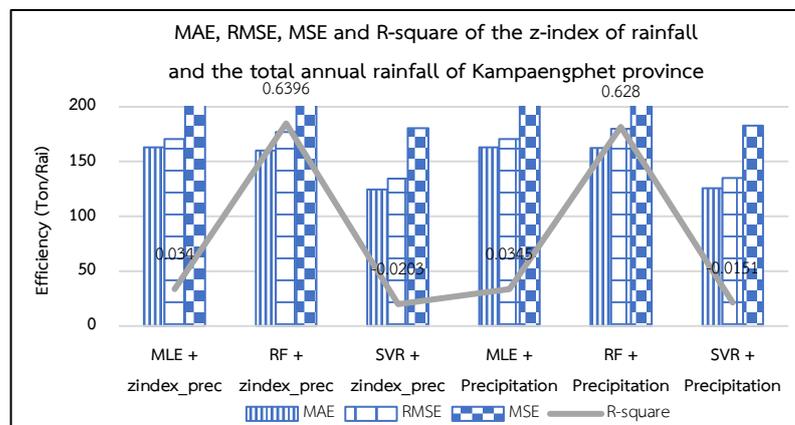


Figure 5 Efficiency of models for Kampaengphet province

Figure 6 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE), ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE), ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าอาร์กำลังสองสำหรับแบบจำลองทั้ง 6 แบบจำลองของจังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่าแบบจำลองที่มีอาร์กำลังสองมากกว่า 0.50 คือ แบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 5 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพทั้ง 3 ค่ารวมด้วย ซึ่งค่าประสิทธิภาพควรมีต่ำสุดพบว่า แบบจำลองที่ 5 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation) และถูกสร้างโดยวิธีป่าสุ่ม โดยมีค่าเท่ากับ 45.47 ตัน/ไร่, 57.94 ตัน/ไร่, 33.57×10^5 ตัน/ไร่ และ 0.77 ตามลำดับ

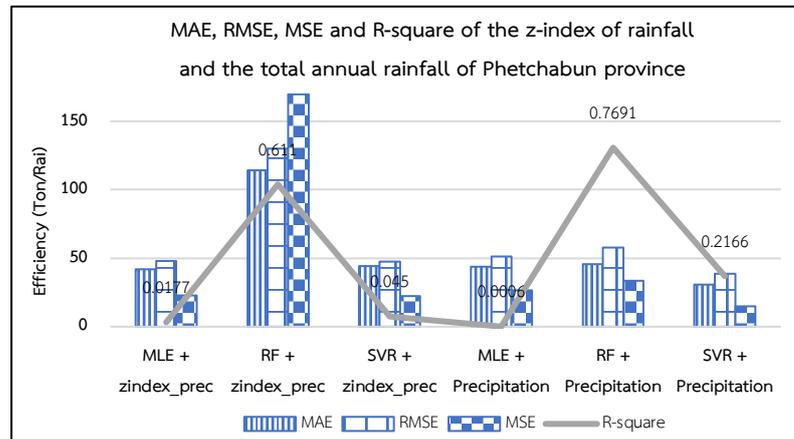


Figure 6 Efficiency of models for Phetchabun province

Figure 7 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE), ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE), ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าอาร์กำลังสองสำหรับแบบจำลองทั้ง 6 แบบจำลองของจังหวัดสุโขทัย พบว่าแบบจำลองที่มีอาร์กำลังสองมากกว่า 0.50 คือ แบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 5 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพทั้ง 3 ค่ารวมด้วย ซึ่งค่าประสิทธิภาพควรมีต่ำสุดพบว่า แบบจำลองที่ 5 ซึ่งมีตัวแปรอิสระคือ ปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation) และถูกสร้างโดยวิธีป่าสุ่ม โดยมีค่าเท่ากับ 134.55 ตัน/ไร่, 152.59 ตัน/ไร่, 242.37×10^5 ตัน/ไร่ และ 0.73 ตามลำดับ

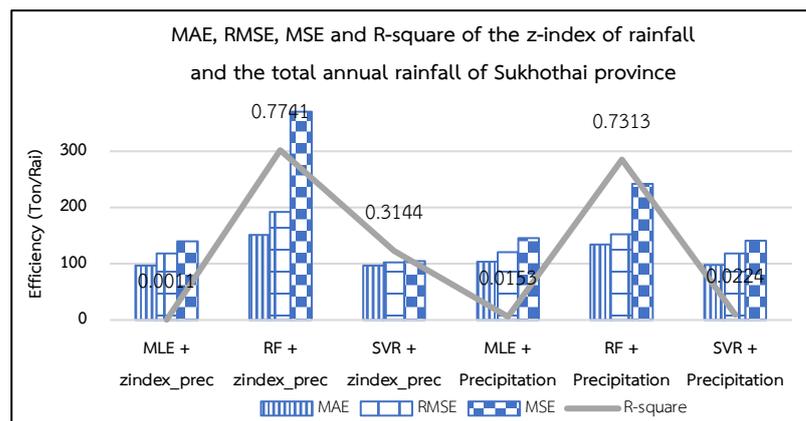


Figure 7 Efficiency of models for Sukhothai province

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนกับผลผลิตข้าวในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่างแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีป่าสุ่มและมีตัวแปรอิสระเป็นค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (RF+zindex_prec) เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (MLE) และวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) โดยเฉพาะในจังหวัดนครสวรรค์, จังหวัดพิจิตร, จังหวัดพิษณุโลกและจังหวัดกำแพงเพชร ทั้งนี้เนื่องจากค่าอาร์กำลังสองที่ค่อนข้างสูงและมีค่าความคลาดเคลื่อนอย่างน้อย 2 วิธี ต่ำที่สุด นอกจากนี้ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) เป็นตัวแปรนำเข้าสำหรับการสร้างแบบจำลองให้ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ดีกว่าการใช้ปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation) เนื่องจากค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนสามารถอธิบายได้ทั้งความแห้งแล้งและน้ำท่วม ในขณะที่ปริมาณฝนสะสมอาจละเลยเหตุการณ์บางอย่างเนื่องจากการกระจายตัวของฝนไม่สม่ำเสมอ (Fan et al., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jeong et al. (2016) ที่แสดงให้เห็นว่าวิธีป่าสุ่มเป็นวิธีการเรียนรู้ของเครื่องที่มีประสิทธิภาพและมีประโยชน์สำหรับการคาดการณ์ผลผลิตพืชผลในระดับภูมิภาคและระดับโลก เนื่องจากมีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูง ใช้งานง่าย และมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล อีกทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของแฟนและคณะ (Fan et al., 2020) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีป่าสุ่มและมีตัวแปรอิสระเป็นค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการสร้างแบบจำลองในการประเมินผลกระทบของค่าสุดขีดของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อผลผลิตพืช สำหรับงานวิจัยนี้ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนสามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตข้าวในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่างสำหรับบางจังหวัดได้ถึง 64-79% แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Precipitation) เป็นตัวแปรนำเข้าสำหรับการสร้างแบบจำลองให้ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ดีกว่าการใช้ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝน (zindex_prec) ในบางจังหวัดได้แก่ จังหวัดเพชรบูรณ์และจังหวัดสุโขทัย รายละเอียดดังสรุปไว้ใน Table 5

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีป่าสุ่มและมีตัวแปรอิสระเป็นค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนเป็นวิธีที่ง่ายตายและสามารถใช้งานได้จริงสำหรับผู้บริหารเพื่อการตัดสินใจและผู้ปฏิบัติงานในระดับจังหวัดเพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวกับค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนและเพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับเฝ้าระวังและติดตามปริมาณผลผลิตข้าวตลอดช่วงระยะเวลาการผลิตสำหรับผู้ใช้งาน, ผู้สนใจหรือหน่วยงานที่ต้องการทราบปริมาณผลผลิตข้าวในพื้นที่ต่างๆ ในช่วงระยะเวลาการผลิตในปัจจุบันและในอนาคตต่อไป นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ทางอ้อมต่อหน่วยงานภาครัฐซึ่งเป็นผู้กำหนดนโยบายต่าง ๆ ทางภาคการเกษตรและเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ผลิตข้าวในแง่ของการตัดสินใจ แต่อย่างไรก็ตามการใช้ค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนสำหรับการสร้างแบบจำลองผลผลิตข้าวอาจไม่เหมาะสมสำหรับบางจังหวัด ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตควรทำการศึกษาหาวิธีวัดค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนด้วยวิธีอื่น ๆ เพื่อใช้สำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวกับค่าสุดขีดของปริมาณน้ำฝนด้วยวิธีอื่นๆ เพื่อให้เหมาะสมสำหรับทุก ๆ จังหวัดต่อไป

Table 5 The summary of the best method for the relationship between the extreme values of rainfall and the rice yields in the lower northern provinces

Provinces	Method	R-squared		Efficiency (Ton/Rai) for zp			Efficiency (Ton/Rai) for pr		
		zp	pr	MAE	RMSE	MSE (x10 ⁵)	MAE	RMSE	MSE (x10 ⁵)
Nakhonsawan	RF	0.79	0.82	160.18	184.85	341.69	209.86	224.07	504.87
Phichit	RF	0.62	0.60	100.07	102.55	105.16	171.21	208.75	435.77
Phitsanulok	RF	0.73	0.65	101.13	125.01	156.27	136.63	149.52	223.57
Kamphaengphet	RF	0.64	0.63	160.33	177.21	314.02	162.23	180.01	324.02
Phetchabun	RF	0.61	0.77	114.21	169.74	130.28	45.47	57.94	33.57
Sukhothai	RF	0.77	0.73	151.73	370.53	192.49	134.55	152.59	242.37

zp is the model that zindex_prec is independent variable, pr is the model that precipitation is independent variable

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงโดยได้รับความอนุเคราะห์และเงินสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ) ประจำปีงบประมาณ 2565 และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม สมมติฐาน: ศรัณญา ทองสุข. วิธีการเก็บข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: ศรัณญา ทองสุข, ญัฐินี ดีแท้. การสรุปผล การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบข้อสรุป: ศรัณญา ทองสุข. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ศรัณญา ทองสุข.

เอกสารอ้างอิง

- Alidoost, F., Su, Z., & Stein, A. (2019). Evaluating the effects of climate extremes on crop yield, production and price using multivariate distributions: A new copula application. *Weather and Climate Extremes*, 26(1), 1-9.
- Chen, W. Z., Zhu, D., Huang, C. J., & Ciais, P. (2019). Negative extreme events in gross primary productivity and their drivers in China during the past three decades. *Agricultural and Forest Meteorology*, 275(1), 47-58.
- Crane-Droesch, A. (2018). Machine learning methods for crop yield prediction and climate change impact assessment in agriculture. *Environmental Research Letter*, 13(1), 114003.
- Fan, J., Jintrawet, A., & Sangchyoswat, C. (2020). The relationships between extreme precipitation and rice and maize yields using machine learning in Sichuan province, China. *Current Applied Science and Technology*, 20(3), 453-469.
- Feng, S. F., Hao, Z. C., Zhang, X., & Hao, F. H. (2019). Probabilistic evaluation of the impact of compound dry-hot events on global maize yields. *Science of the Total Environment*, 689(1), 1228-1234.
- Harrison, M. T., Cullen, B. R., & Rawnsley, R. P. (2016). Modelling the sensitivity of agricultural systems to climate change and extreme climatic events. *Agricultural Systems*, 148(1), 135-148.
- Konduri, V. S., Vandal, T. J., Ganguly, S., & Ganguly, A. R. (2020). Data science for weather impacts on crop yield. *Frontiers in Sustainable Food System*, 52(4), 1-11.
- Jeong, J. H., Resop, J. P., Mueller, N. D., & Fleisher, D. H. (2016). Random forests for global and regional crop yield predictions. *Plos One*, 11(6), e0156571. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156571>
- Rotter, R. P., Appiah, M., Fichtler, E., & Kersebaum, K. C. (2018). Linking modelling and experimentation to better capture crop impacts of agroclimatic extremes-A review. *Field Crops Research*, 221(1), 142-156.
- Vogel, E., Donat, M. G., Alexander, L. V., Meinshausen, M., Ray, D. K., Karoly, D., Meinshausen, N., & Frieler, K. (2019). The effects of climate extremes on global agricultural yields. *Environmental Research Letter*, 14(5), 054010.

การตรวจสอบลักษณะความหอมและคุณภาพการหุงต้มของข้าวเจ้าหอม สายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลัน

Validation of Grain Aroma and Cooking Quality Characters of Improved Aromatic Rice Lines Resistance to Blast Disease and Tolerance to Submergence

ลดารัตน์ ทันที¹, ฉันทมาศ เชื้อแก้ว¹, ศักดา คงสีลา¹, อุไรวรรณ คชสถิตย์² และสุรีพร เกตุงาม^{1*}
Ladarut Tunttee¹, Chantamart Chueakaew¹, Sakda Kongsila¹, Uraiwan Kotchasatit² and Sureeporn Kate-ngam^{1*}

Received date: 26 ม.ค. 67 Revised date: 22 ส.ค. 67 Accepted date: 2 ต.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.16.002>

บทคัดย่อ

ความหอมและคุณภาพการหุงต้ม ถือเป็นลักษณะเป้าหมายสำคัญหนึ่งของการพัฒนาพันธุ์ข้าวเจ้าหอมพื้นนุ่ม ซึ่งได้รับความนิยมสูงจากผู้บริโภค งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบลักษณะความหอมและคุณภาพการหุงต้มของข้าวเจ้าสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลัน จำนวน 7 สายพันธุ์ ซึ่งได้จากการปรับปรุงพันธุ์แบบผสมกลับและใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอช่วยคัดเลือกระหว่างพันธุ์หอมวาริน (พันธุ์รับซึ่งมีลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลัน) และ กข 75 (พันธุ์ให้ยีนต้านทานโรคไหม้) ยืนยันการคงอยู่ของยีน *badh2*, *Wx^b* และ *SSIIa-TT* ควบคุมลักษณะความหอม ปริมาณอะไมโลสต่ำ และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ โดยใช้เครื่องหมาย Aromarker, Waxy และ SNP2340-41 ตามลำดับ ประเมินความหอมและคุณภาพการหุงต้ม ประกอบด้วย ปริมาณอะไมโลส ความคงตัวของแป้งสุก และอุณหภูมิแป้งสุก โดยวิธีดมกลิ่น วิเคราะห์ colorimetric การวัดระยะทางการไหลของแป้งสุก และการทดสอบการสลายตัวของเมล็ดข้าว ในสารละลายต่าง ตามลำดับ ผลจากการประเมิน พบว่าข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลัน ทั้ง 7 สายพันธุ์ เมล็ดมีกลิ่นหอม ปริมาณอะไมโลสต่ำ (15.60-16.32 เปอร์เซ็นต์) ความคงตัวแป้งสุกอ่อน (91.33-120.67 มิลลิเมตร) และมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (ASV เท่ากับ 6.7-7.0) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพันธุ์เปรียบเทียบ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลันดังกล่าวเป็นข้าวเจ้าหอมปริมาณอะไมโลสต่ำแป้งสุกอ่อนนุ่มและอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงเหล่านี้จะนำเข้าสู่ขั้นตอนการศึกษาพันธุ์ การประเมินศักยภาพและเสถียรภาพการให้ผลผลิตในระดับสถานี ระหว่างสถานี และแปลงเกษตรกร ต่อไป

คำสำคัญ: การปรับปรุงพันธุ์ข้าว การใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอช่วยคัดเลือก ความหอม คุณภาพการหุงต้ม

Abstract

Fragrance and cooking quality are pivotal traits in the development of aromatic and soft-textured rice varieties, which are highly favored by consumers. This study aimed to validate these attributes in seven improved rice lines that were developed for resistance to blast disease and tolerance to submergence. These lines were derived from a cross between HomWarin, a recipient variety conferring submergence tolerance, and RD75, a donor variety for blast resistance, through marker-assisted backcrossing. The presence of the *badh2*, *Wx^b*, and *SSIIa-TT* genes, associated with grain fragrance, low amylose content, and low gelatinization temperature, was confirmed using Aromarker, Waxy, and SNP2340-41 markers, respectively. The grain fragrance and cooking qualities,

¹ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

² ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34000

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

² Ubon Ratchathani Rice Research Center, Ubon Ratchathani 34000

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

including amylose content, gel consistency, and gelatinization temperature of the seven improved lines, were evaluated through sensory testing, colorimetric analysis, gel consistency measurements, and alkali tests, respectively. The results demonstrated that these lines exhibited notable grain fragrance, low amylose content (15.60–16.32%), soft gel consistency (91.33–120.67 mm), and low gelatinization temperature (alkali spreading value [ASV] 6.7–7.0). Furthermore, these improved lines, which are resistant to blast and tolerant to submergence, were comparable to the widely cultivated KDML105 variety. These aromatic, soft-textured, and low gelatinization temperature rice lines will undergo further selection for superior agronomic traits, and evaluate for yield performance and stability in intra-, inter-, and farmer-level trials.

Keywords: rice breeding, marker-assisted selection (MAS), grain fragrance, cooking qualities

คำนำ

ความหอมและคุณภาพการหุงต้มถือเป็นลักษณะสำคัญที่ใช้กำหนดคุณภาพและราคาของข้าว และมีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อข้าวของผู้บริโภค ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีกลิ่นหอมที่แตกต่างกันไปตามพันธุกรรมของข้าวพันธุ์นั้น ๆ เช่น ข้าวหอมมะลิ (ขาวดอกมะลิ 105 และ กข15) เป็นข้าวคุณภาพพรีเมียมของประเทศไทยมีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย ซึ่งเกิดจากการผสมผสานของสารหอมระเหยมากมายหลายชนิด โดยมีสาร 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) เป็นสารหลักของกลิ่นหอมดังกล่าว โดยจะถูกเก็บสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวโดยเฉพาะในเมล็ด ส่วนข้าวบาสมาดซึ่งเป็นข้าวหอมของประเทศอินเดียนั้นมีกลิ่นหอมคล้ายถั่วหอม เป็นต้น (Riabroy et al., 2013)

เมล็ดข้าวมีคาร์โบไฮเดรตที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบเคมีหลักร้อยละ 95 รองลงมาเป็นโปรตีน ไขมัน ในอาหาร และเถ้า (Hori and Sun, 2022; Naivikul, 2007) ซึ่งองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูก แป้งข้าวเป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่อยู่ในรูปของ anhydroglucose unit (AGU) เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวในรูปของเม็ดแป้ง (starch granule) ซึ่งน้ำตาล AGU จัดเรียงโมเลกุลในลักษณะเส้นตรงเรียกว่า อะไมโลส (amylose) และโมเลกุลเชิงกิ่ง เรียกว่า อะไมโลเพคติน (amylopectin) สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินจะแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ชนิดและพันธุ์ข้าว ซึ่งปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินนี้เองที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพการหุงต้มและรับประทานที่แตกต่างกัน (Naivikul, 2007) คุณภาพการหุงต้มของข้าวเป็นลักษณะทางเคมีของแป้งในเอนโดสเปิร์มที่ถูกควบคุมด้วยลักษณะที่สำคัญ 3 ลักษณะ คือ ปริมาณอะไมโลส (amylose content, AC) อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature, GT) และความคงตัวแป้งสุก (gel consistency, GC) โดยที่ปริมาณอะไมโลสเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดความนุ่มเหนียวของข้าว โดยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำเมื่อหุงสุกจะได้ข้าวที่มีลักษณะนุ่มเหนียว ในขณะที่ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงข้าวสุกจะมีลักษณะแข็งและร่วนฟูขึ้นหมี อุณหภูมิแป้งสุกเป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งข้าวเปลี่ยนเป็นเจลมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการหุงต้ม ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะใช้ระยะเวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (Fitzgerald et al., 2009; Naivikul, 2007; Waters et al., 2006) และความคงตัวแป้งสุกเป็นลักษณะที่ใช้คาดคะเนว่าข้าวสุกเมื่อเย็นแล้วจะมีแนวโน้มที่เนื้อสัมผัสจะแข็งมากหรือน้อย ซึ่งมีผลต่อความนุ่มเหนียวและแข็งกระด้างของข้าวเมื่ออุณหภูมิลดลง ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็งเมื่อหุงสุกจะได้ข้าวที่แข็งกระด้างมากกว่าข้าวที่มีความคงตัวแป้งสุกอ่อน (Kuntawong et al., 2015; Naivikul, 2007) ทั้งนี้เกิดจากการคืนตัวของแป้งข้าว (retrogradation) ซึ่งเป็นผลจากคุณสมบัติการคืนตัวของแป้งอะไมโลสที่สุกแล้วจะทำให้ข้าวมีความเหนียวนุ่มลดลง โดยที่คุณสมบัติของแป้งเมื่อหุงสุกและเกิดเป็นเจล (gelatinization) จะขึ้นกับสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่มีอยู่ในแป้งข้าว อะไมโลสเมื่อเกิดเป็นเจลจะมีความแข็งแรงมากกว่าอะไมโลเพคตินที่มีเจลอ่อน มีผลทำให้เกิดการคืนตัวของแป้งได้ง่ายกว่าอะไมโลเพคติน (Cuevas and Fitzgerald, 2012; Wang et al., 2015) ดังนั้นคุณภาพการหุงต้มของข้าวในแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะสำคัญสามลักษณะดังกล่าว

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอที่มีความเฉพาะเจาะจงกับยีนควบคุมลักษณะความหอมและคุณภาพการหุงต้ม ได้แก่ เครื่องหมาย Aromarker ซึ่งจำเพาะเจาะจงกับยีน *badh2* ซึ่งมีตำแหน่งบนโครโมโซมที่ 8 ควบคุมลักษณะความหอม เครื่องหมาย Waxy พัฒนาให้มีความจำเพาะกับแอลลิล Wx^b ของยีน *Waxy* ซึ่งมีตำแหน่งบนโครโมโซมที่ 6 ควบคุมลักษณะปริมาณอะไมโลสต่ำ และเครื่องหมาย SNP2340-41 ซึ่งพัฒนาให้มีความจำเพาะกับยีน *SSIIa-TT* มีตำแหน่งบนโครโมโซมที่ 6 ควบคุมลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (Bao et al., 2006; Jantaboon et al., 2011; Kate-ngam et al., 2008) ซึ่งเครื่องหมายดีเอ็นเอดังกล่าวถูกนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยคัดเลือกในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความหอมและคุณภาพการหุงต้มได้ตามเป้าประสงค์ของนักปรับปรุงพันธุ์ได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากการคัดเลือกที่ยีนควบคุมลักษณะเป้าหมายดังกล่าว ทำให้การปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความหอมและคุณภาพการหุงต้มตามความต้องการของผู้บริโภคสามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็วในปัจจุบัน (Kate-ngam, 2003; 2014)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญของประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกคิดเป็นร้อยละ 60 ของพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 38 ล้านไร่ จากทั้งประเทศประมาณ 62 ล้านไร่ (Office of agricultural economics, 2023) ส่วนใหญ่เกษตรกรปลูกข้าวหอมมะลิ (ข้าวดอกมะลิ 105 และ กข15) ไร่ชายและปลูกข้าวเหนียวไว้บริโภคในครัวเรือน ข้าวหอมมะลิ จัดเป็นข้าวคุณภาพสูง (high premium) ข้าวเมื่อหุงสุกจะมีความหอมและนุ่มเหนียวได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศ อย่างไรก็ตามข้าวหอมมะลิให้ผลผลิตต่ำและอ่อนแอต่อศัตรูข้าวโดยเฉพาะโรคไหม้ ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นที่จะปรับปรุงพันธุ์ข้าวใหม่ให้มีความหอมและคุณภาพการหุงต้มคล้ายข้าวข้าวดอกมะลิ 105 และมีลักษณะต้านทานโรคไหม้ รวมถึงลักษณะทนทานต่อสภาพแวดล้อมวิกฤต เช่น หนแล้ง และทนน้ำท่วมฉับพลัน เป็นต้น

ข้าวหอมวารินเป็นข้าวเจ้าหอมพื้นนุ่มที่มีการพัฒนามาจากข้าวสายพันธุ์ทนแล้ง IR57514 ผลผลิตสูง ปรับตัวได้ดีในพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนในลุ่มแม่น้ำโขง (Kate-ngam et al., 2011) สามารถทนน้ำท่วมฉับพลันและให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 750 กิโลกรัมต่อไร่ในพื้นที่ปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ต่อมามีการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยเพิ่มลักษณะต้านทานโรคไหม้เข้าไปยังข้าวเจ้าหอมวาริน โดยใช้หอมวารินเป็นพันธุ์รับและ กข75 เป็นพันธุ์ให้ยีนต้านทานโรคไหม้ ใช้วิธีปรับปรุงพันธุ์แบบผสมกลับจนได้ต้นแบบข้าวเจ้าหอมสายพันธุ์ปรับปรุงที่มียีนต้านทานโรคไหม้ (*qB1* และ *qB11*) และยีนทนน้ำท่วมฉับพลัน (*Sub1*) อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำเข้าสู่ขั้นตอนการศึกษาพันธุ์ การประเมินศักยภาพและเสถียรภาพการให้ผลผลิต จำเป็นต้องมีการตรวจสอบลักษณะสำคัญของสายพันธุ์ดังกล่าว ซึ่งลักษณะความหอมและคุณภาพการหุงต้มก็เป็นลักษณะประจำพันธุ์ที่สำคัญของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้ และทนน้ำท่วมฉับพลัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและประเมินลักษณะความหอมและคุณภาพการหุงต้มในต้นแบบข้าวเจ้าสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลันซึ่งถูกควบคุมโดยยีน *badh2*, Wx^b และ *SSIIa-TT* ข้อมูลความหอมและคุณภาพการหุงต้มซึ่งเป็นลักษณะประจำพันธุ์ของสายพันธุ์ข้าวเหล่านี้จะนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจคัดเลือกสายพันธุ์ดีเด่น ต่อไป

วิธีการศึกษา

ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลัน

ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลัน (BC₂F₄) จำนวน 7 สายพันธุ์ พัฒนามาจากคู่ผสมระหว่างข้าวพันธุ์หอมวาริน (พันธุ์รับซึ่งมียีน *Sub1* ควบคุมลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลัน) และกข75 (พันธุ์ให้ยีนต้านทานโรคไหม้ *qB1* และ *qB11*) ปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีผสมกลับและใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอช่วยคัดเลือก (Kate-ngam et al., 2014)

การตรวจสอบยีนควบคุมลักษณะความหอม ปริมาณอะไมโลสต่ำ และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ

สกัดดีเอ็นเอจากใบอ่อนข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลัน โดยใช้ Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) based method ซึ่งประยุกต์มาจากวิธีการสกัดดีเอ็นเอของ Doyle

and Doyle (1990) จากนั้นนำมาตรวจสอบยีน *badh2* และยีน *Waxy (Wx^b)* โดยใช้เครื่องหมาย Aromarker และ *Waxy* (Table 1) ตามวิธีการของ Jantaboon et al. (2011) ส่วนยีน *SSIIa-TT* ที่ควบคุมลักษณะอุณหภูมิแป้งสุก ตรวจสอบโดยใช้เครื่องหมาย SNP2340-41 (Table 1) ตามวิธีการของ Kate-ngam et al. (2008)

Table 1 DNA markers for grain fragrance, low amylose content, and low gelatinization temperature in improved rice lines resistance to blast disease and tolerance to submergence

Markers	Traits	Genes/QTLs	Chr.	Target allele size (bp)	References
1. Aromarker	Grain aroma	<i>badh2</i>	8	392	Jantaboon et al. (2011)
2. Waxy	Low amylose content	<i>Wx^b</i>	6	325	Jantaboon et al. (2011)
3. SNP2340-41	Low gelatinization temperature	<i>SSIIa-TT</i>	6	500, 458	Kate-ngam et al. (2008)

การประเมินความหอม และคุณภาพการหุงต้มของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลัน

ประเมินลักษณะความหอม ปริมาณอะไมโลส ความคงตัวแป้งสุก และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ในข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง จำนวน 7 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับพันธุ์แม่ (หอมวาริน) พันธุ์พ่อ (กข75) และพันธุ์เปรียบเทียบ ข้าวดอกมะลิ 105 (positive check variety) และ IR57514 (negative check variety) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

การประเมินความหอมด้วยการดมกลิ่น (sensory test) ตามวิธีการของ Sood and Siddiq (1978) โดยนำเมล็ดข้าวกล่อมมาทำการผ่าครึ่งเมล็ดจำนวน 5 เมล็ด จากนั้นใส่ในหลอดทดลองขนาด 1.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 200 ไมโครลิตร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นให้ผู้ทดสอบดมกลิ่น แล้วบันทึกคะแนนความหอมที่ได้กลิ่นตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยคะแนน 0 คือ ข้าวไม่มีกลิ่นหอม และ 1 คือ ข้าวมีกลิ่นหอม

การประเมินปริมาณอะไมโลสด้วยวิธี colorimetric ตามวิธีการของ Juliano et al. (1981) โดยชั่งแป้งข้าว 0.1000 กรัม เติมน้ำ 95% เอทานอล 1 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลายแล้วเติมสารละลาย 1N NaOH 9 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือด 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นปรับปริมาตรโดยใช้น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ตูดสารละลายน้ำแป้ง 5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากันแล้วนำวัดปริมาณอะไมโลส โดยวัดความสามารถในการดูดกลืนช่วงแสงที่ 620 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง spectrophotometer เปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐาน กำหนดค่าปริมาณอะไมโลส ดังนี้ คือ ปริมาณอะไมโลส 10-20 เปอร์เซ็นต์ เป็นข้าวอะไมโลสต่ำ, 20-25 เปอร์เซ็นต์ เป็นข้าวอะไมโลสปานกลาง และ มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นข้าวอะไมโลสสูง (Graham, 2002; Naivikul, 2007)

การประเมินความคงตัวแป้งสุกโดยวัดจากระยะทางการไหลของแป้งสุกตามวิธีการของ Cagampang et al. (1973) โดยชั่งแป้งข้าว 0.1 กรัม ใส่หลอดทดลองขนาด 11x100 มิลลิลิตร เติมน้ำ 0.025% thymol blue ethanol 0.21 มิลลิลิตร และเติม 0.2 N KOH 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 8 นาที นำไปแช่ในน้ำเย็น นาน 20 นาที จากนั้นนำไปวางบนจานกระดาษกราฟนาน 30 นาที แล้วบันทึกผลโดยวัดระยะทางที่แป้งสุกไหล เป็นมิลลิเมตร การแบ่งความคงตัวของแป้งสุกข้าวเมื่อเย็นตัวลงโดยใช้ระยะทางการไหลของแป้งสุกเป็นเกณฑ์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมาตรฐาน สามารถแบ่งข้าวได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ เจลแข็ง (hard gel) มีระยะทางการไหลของแป้งสุกเท่ากับ 26-40 มิลลิเมตร เจลนุ่มปานกลาง (medium gel) มีระยะทางการไหลเท่ากับ 41-60 มิลลิเมตร และเจลอ่อน (soft gel) มีระยะทางการไหลมากกว่า 60 มิลลิเมตร (Graham, 2002; Naivikul, 2007)

การประเมินอุณหภูมิแป้งสุกโดยประเมินจากค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.7 เปอร์เซ็นต์ (alkali spreading value, ASV) ตามวิธีการของ Little et al. (1958) โดยสุ่มเมล็ดข้าวจำนวน 10 เมล็ด วางลงในจานแก้วที่มีฝาปิด (petri dish) แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.7 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยให้เมล็ดข้าวจมในสารละลาย จากนั้นปิดฝาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 23 ชั่วโมง บันทึกผลการสลายตัวของเมล็ดข้าวโดยมีเกณฑ์การให้คะแนน ตั้งแต่ 1 ถึง 7 (International Rice Research Institute, 2013) โดยคะแนน 1 หมายถึง เมล็ดข้าวยังสมบูรณ์, 2 หมายถึง เมล็ดข้าวเริ่มพองตัว, 3 หมายถึง เมล็ดข้าวพองตัว และมีโครงสร้างอยู่บ้าง, 4 หมายถึง เมล็ดข้าวพองตัวเต็มที่ และไม่เห็นโครงสร้างเมล็ด, 5 หมายถึง เมล็ดข้าวแยกจากกัน, 6 หมายถึง เมล็ดข้าวสลายตัวแต่ยังเห็นเนื้อเมล็ดข้าว และ 7 หมายถึง เมล็ดข้าวสลายตัวหมดโดยไม่เห็นลักษณะเมล็ดข้าวเหลืออยู่ ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวสามารถนำมาจัดกลุ่มลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวได้ โดยข้าวที่มีค่า ASV ตั้งแต่ 1-3 หมายถึง ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูง (74.5-80 องศาเซลเซียส), ข้าวที่มีค่า ASV ตั้งแต่ 4-5 หมายถึง ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง (70-74 องศาเซลเซียส) และ ข้าวที่มีค่า ASV ตั้งแต่ 6-7 หมายถึง ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (น้อยกว่า 70 องศาเซลเซียส) (Graham, 2002; Naivikul, 2007)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของผลการประเมินลักษณะความหอม ปริมาณอะไมโลส ความคงตัวแป้งสุก และอุณหภูมิแป้งสุก ด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significance Difference (LSD) โดยใช้โปรแกรม STAR statistical tool for agricultural research (version 2.0.1)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การตรวจสอบยีนควบคุมลักษณะความหอม ปริมาณอะไมโลส และอุณหภูมิแป้งสุก

จากการตรวจสอบยีน *badh2* Wx^b และ *SSIIa-TT* ควบคุมลักษณะความหอม ปริมาณอะไมโลสต่ำ และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ โดยใช้เครื่องหมาย Aromarker Waxy และ SNP2340-41 ตามลำดับ (Table 1) ในข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลัน พบว่าข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงทั้ง 7 สายพันธุ์ ปรากฏแถบแอลลีลของยีน *badh2* ขนาด 398 bp แถบแอลลีล Wx^b ขนาด 325 bp และ แถบแอลลีลของ *SSIIa-TT* (ที่ตำแหน่ง 2340-2341) ขนาด 550, 458 bp ตามลำดับ เช่นเดียวกับแอลลีลของยีนดังกล่าวในพันธุ์พ่อและแม่ (กข75 และ หอมวาริน) และพันธุ์เปรียบเทียบกับวอดกมะลิ 105 ซึ่งบ่งชี้ว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงดังกล่าวทั้ง 7 สายพันธุ์เป็นสายพันธุ์ข้าวที่เมล็ดมีกลิ่นหอม ปริมาณอะไมโลสต่ำ และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ เช่นเดียวกับพันธุ์แม่ (หอมวาริน) พันธุ์พ่อ (กข75) และพันธุ์ข้าววอดกมะลิ 105 แตกต่างจาก IR57514 ซึ่งปรากฏแถบแอลลีลของ *Badh2* ขนาด 400 bp แอลลีลของ Wx^a ขนาด 310 bp แถบแอลลีลของ *SSIIa-GC* ขนาด 550, 126 bp ซึ่งบ่งชี้ว่า IR57514 เป็นสายพันธุ์ข้าวที่เมล็ดไม่มีความหอม ปริมาณอะไมโลสสูง และมีอุณหภูมิแป้งสุกสูง ตามลำดับ (Figure 1)

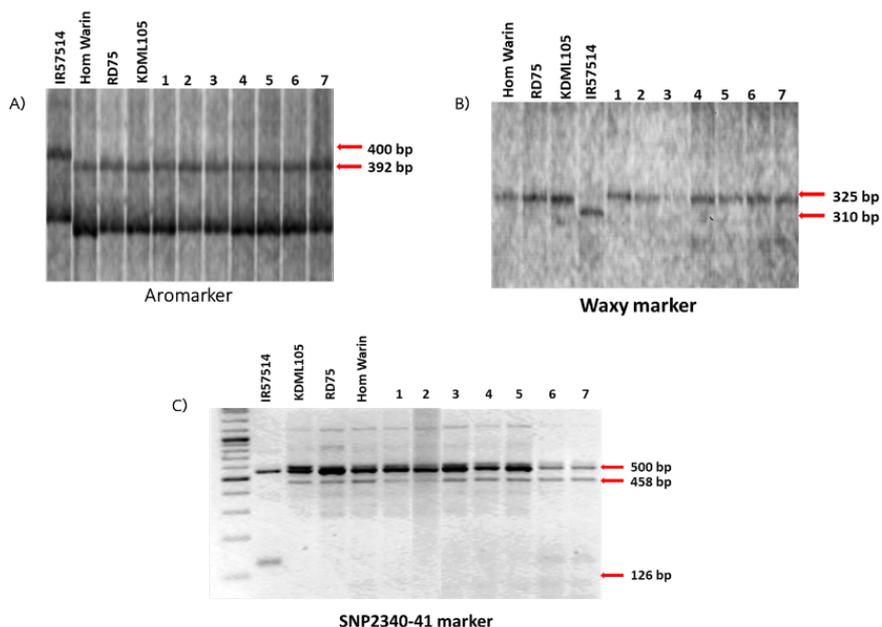


Figure 1 A), B) Polyacrylamide gel electrophoresis and C) Agarose gel electrophoresis of PCR amplification products in seven improve rice lines resistance to blast and tolerance to submergence (number 1-7), female parent (HomWarin), male parent (RD75), KDML105 (positive check variety) and IR57514 (negative check variety) using Aromarker, Waxy marker and SNP2340-41

การประเมินลักษณะความหอมและคุณภาพการหุงต้มของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลัน

การประเมินลักษณะความหอม ปริมาณอะไมโลส ความคงตัวแป้งสุก และอุณหภูมิแป้งสุก ดำเนินการในข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลัน จำนวน 7 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับพันธุ์แม่ (หอมวาริน) พันธุ์พ่อ (กข75) ข้าวดอกมะลิ 105 พันธุ์เปรียบเทียบกับซึ่งมีความหอม ปริมาณอะไมโลสต่ำ ความคงตัวแป้งสุกอ่อน และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ และ IR57514 เป็นสายพันธุ์เปรียบเทียบกับซึ่งมีลักษณะไม่หอม ปริมาณอะไมโลสสูง ความคงตัวแป้งสุกปานกลาง และอุณหภูมิแป้งสุกสูง

จากการประเมินลักษณะความหอมที่ควบคุมด้วยยีน *badh2* ในข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงฯ จำนวน 7 สายพันธุ์ โดยวิธีการดมกลิ่น (sensory test) พบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงดังกล่าวมีค่าคะแนนความหอมเฉลี่ยเท่ากับ 1 เช่นเดียวกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 กข75 และหอมวาริน บ่งชี้ว่าข้าวพันธุ์/สายพันธุ์ดังกล่าวเป็นข้าวที่มีกลิ่นหอม ส่วนข้าว IR57514 มีค่าคะแนนความหอมเท่ากับ 0 บ่งชี้ว่าเป็นข้าวที่ไม่มีกลิ่นหอม ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้ทั้ง 7 สายพันธุ์ (Table 2) ผลการประเมินความหอมโดยวิธีการดมกลิ่นให้ผลสอดคล้องกับการตรวจสอบยีน *badh2* . โดยใช้เครื่องหมาย Aromarker (Figure 1A)

Table 2 Amylose content, gel consistency, and gelatinization temperature of seven improved rice lines resistance to blast and tolerance to submergence derived from a cross between HomWarin and RD75

Lines/varieties	Cooking quality traits			
	AC (%)	GT (ASV)	GC (mm.)	Aroma
1. UBN14008-811-1	15.95	6.7	99.67	1
2. UBN14008-858-1	15.71	6.7	94.00	1
3. UBN14008-886-2	15.60	6.7	104.67	1
4. UBN14008-922-1	16.05	6.7	110.00	1
5. UBN14008-928-2	15.83	6.7	120.67	1
6. UBN14008-936-2	16.32	6.7	91.33	1
7. UBN14008-942-1	15.61	7.0	99.33	1
8. HomWarin (recipient female parent)	15.95	6.7	104.67	1
9. RD75 (donor male parent)	15.67	6.7	109.33	1
10. IR57514 (negative check)	30.22	2.7	57.33	0
11. KDML105 (positive check)	15.71	7.0	65.67	1
F-test	*	*	*	-
LSD 0.05	0.90	0.48	6.27	-
Mean ^{1/}	15.87	6.71	102.81	1
CV (%)	3.1	4.4	3.8	-

AC = amylose content, GT = gelatinization temperature (ASV = alkaline spreading value); GC = gel consistency

*= Significance at 0.05 probability level

^{1/} Mean of seven improved rice lines resistance to blast and tolerance to submergence

ลักษณะความหอมถูกควบคุมด้วยยีนด้วย *badh2* (betaine aldehyde dehydrogenase homologue 2) มีตำแหน่งบนโครโมโซม 8 (Riabroy et al., 2013; Vanavichit et al., 2005; Wanchana et al., 2005) โดยทั่วไปยีน *Badh2* (*Os2AP*) ทำหน้าที่สังเคราะห์เอนไซม์ Betaine aldehyde dehydrogenase (BADH) หรือเอนไซม์ amino aldehyde dehydrogenase (AMADH) ซึ่งจะเปลี่ยนสาร γ -aminobutyraldehyde (GABald) ไปเป็นสาร γ -aminobutyric acid (GABA) มีผลทำให้ข้าวไม่มีกลิ่นหอม เมื่อเกิดการกลายพันธุ์จากยีนเด่น *Badh2* ไปเป็นยีนด้อย *badh2* โดยมีการขาดหายไปของนิวคลีโอไทด์จำนวน 8 นิวคลีโอไทป์ในบริเวณเอกซอน 7 ในยีน *Badh2* มีผลทำให้การแปลรหัสหยุดก่อนกำหนด (premature stop codon) ทำให้ข้าวพันธุ์ดังกล่าวไม่สามารถสังเคราะห์เอนไซม์ BADH เพื่อไปเปลี่ยนสาร GABald ไปเป็นสาร GABA ได้ แต่จะมีการสร้างสาร 2-Acetyl-1-Pyrroline (2AP) ขึ้นแทน ส่งผลทำให้ข้าวมีกลิ่นหอม (Riabroy et al., 2013; Vanavichit et al., 2005) เครื่องหมาย Aromarker มีความจำเพาะเจาะจงกับยีนที่ควบคุมลักษณะความหอม (gene specific marker) สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการคัดเลือก (marker-assisted selection) ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความหอมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องหมายดังกล่าวถูกนำไปใช้ในงานปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความหอมทั้งในประเทศและต่างประเทศอย่างกว้างขวาง (Jantaboon et al., 2011; Kate-ngam et al., 2011; Khanthong et al., 2018; Oo et al., 2015; Yi et al., 2009) ตัวอย่างเช่น การปรับปรุงสายพันธุ์ข้าว IR57514 ให้มีความหอมและมีคุณภาพการหุงต้มคล้ายข้าวขาวดอกมะลิ 105 จนได้ข้าวพันธุ์ใหม่ “หอมวาริน” (Kate-ngam et al., 2011) และการปรับปรุงพันธุ์ Manawthukha ของพม่า ซึ่งเป็นข้าวไม่มีกลิ่นหอม และมีปริมาณอะไมโลสสูงให้เป็นข้าว Manawthukha สายพันธุ์ปรับปรุงที่มีกลิ่นหอมและมีปริมาณอะไมโลสปานกลางคล้ายข้าวบาสมาดิ (Yi et al., 2009) เป็นต้น การปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความหอมจะช่วยยกระดับราคาข้าวให้กับ

เกษตรกรได้ อย่างไรก็ตามนอกจากเกษตรกรจะเลือกปลูกข้าวที่เป็นพันธุ์ข้าวหอมแล้วยังต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหอมของข้าวอีกด้วย หากข้าวได้รับอุณหภูมิต่ำในขณะที่ข้าวสร้างรวงอ่อน ออกดอก และสร้างเมล็ด จะทำให้ข้าวสามารถสร้างสารหอมได้มากกว่าในสภาพอุณหภูมิสูง โดยข้าวที่ได้รับอุณหภูมิต่ำในระยะเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะในระยะพลับพลึง (ข้าวออกดอกแล้ว 28-30 วัน) และมีการจัดการระบายน้ำออกจากแปลง สามารถช่วยลดการสูญเสียสารหอม 2AP ในช่วงเก็บเกี่ยวได้ (Itani et al., 2004)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลันโดยใช้วิธี colorimetric วัดการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานแป้งที่ทราบปริมาณอะไมโลส และกราฟมาตรฐานที่มีค่า Correlation coefficient (R^2) เท่ากับ 1.000 ที่ได้จากค่าดูดกลืนแสงของข้าวพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105, กข21, กข23, ชัยนาท 1 และ กข6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส พบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงทั้ง 7 สายพันธุ์ มีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วง 15.60-16.32 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างสถิติกับปริมาณอะไมโลสของข้าวขาวดอกมะลิ 105 (15.71 เปอร์เซ็นต์) กข75 (15.67 เปอร์เซ็นต์) และหอมวาริน (15.95 เปอร์เซ็นต์) แต่แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับปริมาณอะไมโลสของข้าวสายพันธุ์ IR57514 ซึ่งเป็นพันธุ์ตรวจสอบที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (30.22 เปอร์เซ็นต์) (Table 2) ผลการประเมินปริมาณอะไมโลสให้ผลสอดคล้องกับการตรวจสอบยีน Wx^b โดยใช้เครื่องหมาย *Waxy* (Figure 1B) ลักษณะปริมาณอะไมโลสต่ำ ถูกควบคุมด้วยแอลลีล Wx^b ของยีน *Waxy* ซึ่งมีตำแหน่งบนโครโมโซมที่ 6 ทำหน้าที่สังเคราะห์เอนไซม์ granule bound starch synthase (GBSS) ในการสังเคราะห์อะไมโลส โดยยีน *Waxy* มี 3 แอลลีล ประกอบด้วย แอลลีล Wx^a ส่วนใหญ่พบในข้าวเจ้าอินดิกาที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลางถึงสูง ส่วนแอลลีล Wx^b พบในข้าวเจ้าอินดิกาที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำและข้าวจาปอนิกา และแอลลีลด้อย wx พบในข้าวเหนียว Wanchana et al. (2003) รายงานการเพิ่มขึ้นของนิวคลีโอไทป์ใน exon 2 ของยีน *Waxy* จำนวน 23 นิวคลีโอไทป์ (23 bp duplication) ทำให้เกิดการแปลรหัสหยุดก่อนกำหนด ส่งผลให้ข้าวสังเคราะห์อะไมโลสได้น้อยลงหรือสร้างไม่ได้เลย ตัวอย่างเช่น ข้าวเหนียว กข6 ส่วนข้าวที่มีแอลลีล Wx^a จะมีลำดับนิวคลีโอไทด์ AGGTATA ที่ตำแหน่ง 5' splice site ใน intron 1 ของยีน *Waxy* เป็นการแสดงออกของยีนแบบปกติ (common allele) ส่งผลให้ข้าวสร้างเอนไซม์ GBSS ที่สมบูรณ์ ทำให้สามารถสังเคราะห์อะไมโลสได้ในปริมาณสูง โดยพบว่าปริมาณอะไมโลสสูงกว่าข้าวที่มีแอลลีล Wx^b ถึง 10 เท่า (Sano, 1984) เช่น ข้าวพันธุ์เส้าไห้ มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 27-28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าวที่มีแอลลีล Wx^b เป็นผลมาจากการแทนที่ของนิวคลีโอไทด์ ตรงตำแหน่ง 5' splice site ใน intron 1 จากนิวคลีโอไทป์ G ไปเป็น T (AIGTATA) [G-T polymorphism] ทำให้มีการสังเคราะห์เอนไซม์ GBSS ลดลง ส่งผลให้ข้าวมีปริมาณอะไมโลสในปริมาณต่ำ (Ayes et al., 1997; Hirano et al., 1998) เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสประมาณ 13-18 เปอร์เซ็นต์ ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำเมื่อหุงสุกจะมีความนุ่มเหนียวมากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลางถึงสูง อย่างไรก็ตามข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสเท่ากันก็ยังมีมีความนุ่มของข้าวสุกที่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจจะเกี่ยวข้องกับความคงตัวของแป้งสุกและอุณหภูมิแป้งสุกซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อลักษณะคุณภาพการหุงต้มของข้าวในแต่ละพันธุ์ด้วย (Tan et al., 1999) การปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อการบริโภคและส่งออกในปัจจุบันนิยมพันธุ์ข้าวหอมพื้นนุ่มที่มีคุณภาพการหุงต้มคล้ายกับข้าวดอกมะลิ 105 เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสายพันธุ์ข้าวปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลันจากงานวิจัยนี้ก็มีลักษณะสำคัญดังกล่าวเช่นกัน

จากผลการประเมินลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวโดยใช้ค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (KOH) ความเข้มข้น 1.7 เปอร์เซ็นต์ (ASV) (Table 2 และ Figure 2) พบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงต้านทานโรคไหม้และทนน้ำท่วมฉับพลันทั้ง 7 สายพันธุ์ มีค่า ASV อยู่ในช่วง 6.7-7.0 ไม่แตกต่างทางสถิติกับค่า ASV ของพันธุ์พ่อ (กข75, ASV=6.7) พันธุ์แม่ (หอมวาริน, ASV=6.7) และพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพันธุ์ตรวจสอบอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (ASV=7.0) บ่งชี้ว่าข้าวพันธุ์/สายพันธุ์ดังกล่าวมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ แต่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่างของ IR57514 (ASV=2.7) ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ตรวจสอบที่มีอุณหภูมิแป้งสุก

สูง ค่า ASV มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ทำให้แป้งข้าวกลายเป็นเจล ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการประเมินระยะเวลาในการหุงต้มข้าวได้ โดยข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ เช่น ข้าวดอกมะลิ 105 นั้นพบว่าอุณหภูมิที่ทำให้แป้งข้าวเปลี่ยนเป็นเจลนั้นใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 69 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้สำหรับหุงข้าวให้สุก ประมาณ 12-17 นาที ส่วนข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ IR57514 ซึ่งเป็นสายพันธุ์แม่ของหอมวาริน เป็นพันธุ์ตรวจสอบที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูง พบว่า อุณหภูมิที่ทำให้แป้งข้าวของ IR57514 เปลี่ยนเป็นเจลนั้นต้องใช้อุณหภูมิมากกว่า 75 องศาเซลเซียส โดยจะใช้เวลาในการหุงต้มมากกว่า 24 นาที (Department of Agriculture, 2004) ซึ่งผลการประเมินอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงดังกล่าวให้ผลสอดคล้องกับการตรวจสอบยีน *SSIIa-TT* โดยใช้เครื่องหมาย SNP2340-41 (Figure 1C)

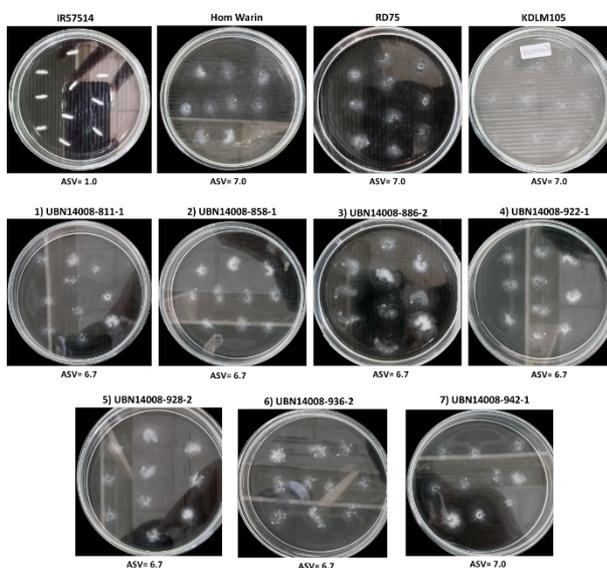


Figure 2 Assessment of alkali digestion and spreading in rice seeds of seven improve rice lines resistance to blast and tolerance to submergence (number 1-7), female parent (HomWarin), male parent (RD75), KDML105 (positive check variety) and IR57514 (negative check variety) using 1.7% KOH solution

ลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกต่ำถูกควบคุมด้วยยีน *SSIIa-TT* มีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซม 6 ทำหน้าที่สังเคราะห์เอนไซม์ *soluble starch synthase II a (SSIIa)* (Bao et al., 2006; Kate-ngam et al., 2008; Siangliw et al., 2000; Tian et al., 2005) มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์อะไมโลเพคติน การแทนที่ของนิวคลีโอไทป์จาก GC ไปเป็น TT (dinucleotide SNP) ที่ตำแหน่ง 2340-41 ใน exon 8 ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนจากลิวซีน (leucine) ในข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลางถึงสูง ไปเป็นฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) ในข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ โดยข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (แอลลีล *SSIIa-TT*) จะสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ทำให้แป้งข้าวสุกได้เร็วกว่าข้าวอุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง-สูง (แอลลีล *SSIIa-GC*) จากความแตกต่างดังกล่าว Kate-ngam et al. (2008) ได้พัฒนาเครื่องหมาย SNP2340-41 เพื่อใช้ในการติดตามลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวได้ เครื่องหมาย SNP2340-41 ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำอย่างกว้างขวางในประเทศไทย (Kate-ngam et al., 2011; Oo et al., 2015; Win et al., 2013; Yi et al., 2009) สอดคล้องกับ Jin et al. (2010) ซึ่งรายงานการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวให้มีลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกต่ำและปริมาณอะไมโลสต่ำ โดยใช้เครื่องหมาย *SSIIa-TT* และเครื่องหมาย *Waxy* ที่

ตามลำดับ โดยนำไปคัดเลือกในประชากรลูกผสมกลับระหว่างข้าวพันธุ์ II-32B (พันธุ์รับ) และพันธุ์ Yixiang B (พันธุ์ให้) นำต้นที่ผ่านการคัดเลือกมาวิเคราะห์คุณภาพการหุงต้มโดยวิธีการทางเคมี พบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุง BC₂F₄ ที่คัดเลือกได้มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำโดยมีค่า pasting temperature อยู่ในช่วง 71.7-73.9 องศาเซลเซียส และมีปริมาณอะไมโลสต่ำเฉลี่ยตั้งแต่ 14.4-15.5 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับข้าว Yixiang B ที่มีลักษณะอะไมโลสต่ำและอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ

นอกเหนือจากลักษณะปริมาณอะไมโลสและอุณหภูมิแป้งสุกแล้ว ความคงตัวแป้งสุกเป็นอีกหนึ่งลักษณะสำคัญที่ใช้ประเมินคุณภาพการหุงต้มของข้าว ถึงแม้ลักษณะดังกล่าวจะยังไม่มีการนำเครื่องหมายดีเอ็นเอมาใช้คัดเลือก แต่การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวให้มีคุณภาพการหุงต้มตามเป้าประสงค์ก็จำเป็นต้องมีการประเมินลักษณะความคงตัวแป้งสุกเพื่อใช้เป็นข้อมูลประจำสายพันธุ์ข้าวที่มีการพัฒนาขึ้นมาด้วย จากผลการประเมินลักษณะความคงตัวแป้งสุกโดยใช้ค่าระยะทางการไหลของแป้งสุก พบว่า ระยะทางการไหลแป้งสุกของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงด้านทานโรคใหม่และทนน้ำท่วมฉับพลันทั้ง 7 สายพันธุ์ มีความผันแปรตั้งแต่ 91.33 มิลลิเมตร (UBN14008-936-2) ถึง 120.67 มิลลิเมตร (UBN14008-928-2) (Table 2) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับพันธุ์แม่ (หอมวาริน , 104.67 มิลลิเมตร) พันธุ์พ่อ (กข75, 109.33 มิลลิเมตร) และข้าวดอกมะลิ 105 (65.67 มิลลิเมตร) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีความคงตัวแป้งสุกอ่อน โดยมีระยะการไหลของแป้งสุกมากกว่า 60 มิลลิเมตร (Graham, 2002; Naivikul, 2007) ถึงแม้จะมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญก็ตาม ($p>0.05$) (Table 2) ส่วน IR57514 ซึ่งใช้ในพันธุ์ตรวจสอบความคงตัวแป้งสุกนุ่มปานกลาง พบว่ามีระยะทางการไหลแป้งสุกเท่ากับ 57.33 มิลลิเมตร ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับระยะทางการไหลของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงฯ ทั้ง 7 สายพันธุ์ ลักษณะความคงตัวแป้งสุกเป็นอีกหนึ่งลักษณะที่มีความสำคัญต่อคุณภาพการหุงต้มของข้าวถูกควบคุมด้วยยีนหลัก *Waxy* บนโครโมโซม 6 และยีนรองบนโครโมโซม 1, 2, 7 (Lanceras et al., 2000; Tian et al., 2005; Zhang et al., 2012) ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกันพบว่าจะมีคุณภาพการรับประทาน (eating quality) แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากความแตกต่างของความคงตัวแป้งสุกและอุณหภูมิแป้งสุกของข้าว พันธุ์ดังกล่าว ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมรับประทานข้าวที่มีความคงตัวแป้งสุกอ่อน (soft gel consistency) ตัวอย่างเช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข15 ดังนั้น ยีน *Waxy* นอกจากจะมีบทบาทสำคัญต่อลักษณะปริมาณอะไมโลสแล้วยังมีบทบาทต่อลักษณะความคงตัวแป้งสุกอีกด้วย Bao et al. (2006) รายงานว่าจากการแทนที่ของนิวคลีโอไทป์ที่ exon 10 ของยีน *Waxy* จาก C ไปเป็น T ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนจากซีรีน (serine) ในข้าวที่มีความคงตัวแป้งสุกแข็งไปเป็นโพรลีน (proline) ส่งผลให้ข้าวมีความคงตัวแป้งสุกอ่อน นอกจากนั้นยังมีอิทธิพลของยีน *SSIIa* ที่ควบคุมลักษณะอุณหภูมิแป้งสุกเข้ามาเกี่ยวข้องอีกด้วย (Waters et al., 2006) ปัจจุบันนักปรับปรุงพันธุ์ข้าวส่วนใหญ่ของไทยให้ความสำคัญต่อลักษณะปริมาณอะไมโลสต่ำและความคงตัวแป้งสุกอ่อนเพื่อปรับปรุงคุณภาพการรับประทานและการหุงต้ม (eating and cooking qualities) ของข้าวพันธุ์ใหม่ให้มีลักษณะนุ่มเหนียวคล้ายข้าวดอกมะลิ 105

จากการประเมินความหอมและคุณภาพการหุงต้มของข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงด้านทานโรคใหม่และทนน้ำท่วมฉับพลัน พบว่า ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงฯ ทั้ง 7 สายพันธุ์ เมล็ดมีกลิ่นหอม มีปริมาณอะไมโลสต่ำ และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ เช่นเดียวกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์แม่ (หอมวาริน) และพันธุ์พ่อ (กข75) ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการนำเครื่องหมาย Aromarker *Waxy* และ SNP2340-41 ที่จำเพาะกับยีน *badh2 Wx^b* และ *SSIIa-TT* มาใช้เป็นเครื่องมือช่วยตรวจสอบยีนควบคุมลักษณะความหอม ปริมาณอะไมโลสต่ำ และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ตามลำดับ ในสายพันธุ์ปรับปรุงด้านทานโรคใหม่และทนน้ำท่วมฉับพลัน เครื่องหมายดีเอ็นเอดังกล่าวจัดเป็นเครื่องหมายที่มีความจำเพาะกับยีนควบคุมลักษณะเป้าหมาย (gene specific markers) สามารถคัดเลือกที่ตำแหน่งของยีนได้โดยตรง ไม่มีอิทธิพลของสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงมีความแม่นยำสูง การนำเครื่องหมายดีเอ็นเอมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยติดตามยีนเป้าหมายหรือช่วยคัดเลือกสามารถช่วยย่นระยะเวลาและลดค่าใช้จ่ายในการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวได้ เนื่องจากการคัดเลือกลักษณะดังกล่าวต้องรอให้ข้าวสุกแก่เก็บเกี่ยวแล้วจึงนำมาประเมินคุณภาพการหุงต้มตามวิธีการประเมินลักษณะต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น การปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความหอมและคุณภาพการหุงต้มโดยใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบมาตรฐาน (conventional breeding) จึงใช้ระยะเวลานานไม่ต่ำกว่า 8-10 ปี รวมทั้งเสีย

ค่าใช้จ่ายในการดูแลต้นข้าวตลอดอายุการเจริญเติบโต อีกทั้งกรณีของลักษณะความหอมซึ่งถูกควบคุมด้วยยีนด้อย ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความหอมโดยใช้การปรับปรุงแบบผสมกลับนั้น ในทุกรอบของการผสมกลับจำเป็นต้องมีการผสมตัวเองเพื่อให้อินทรีย์แสดงลักษณะดังกล่าวออกมา จึงจะคัดเลือกลักษณะความหอมได้ ขณะที่การใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอช่วยคัดเลือกสามารถคัดเลือกยีนความหอม (*badh2*) ซึ่งเป็นยีนด้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพตั้งแต่ต้นข้าวมีอายุเพียง 2-3 สัปดาห์ ไม่ทำลายต้นข้าว และที่สำคัญสามารถคัดเลือกลักษณะเป้าหมายได้หลายลักษณะพร้อม ๆ กัน (Kate-ngam, 2014) ดังนั้นการใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอจึงเข้ามามีบทบาทในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความหอมและคุณภาพการหุงต้มตามเป้าประสงค์ของผู้บริโภคและอุตสาหกรรม ข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงด้านทานโรคใหม่และทนน้ำท่วมฉับพลันที่มีการยืนยันลักษณะความหอม ปริมาณอะไมโลสต่ำ ความคงตัวแป้งสุกอ่อน และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ จะถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนการศึกษาพันธุ์ การประเมินศักยภาพและเสถียรภาพการให้ผลผลิตในระดับสถานี ระหว่างสถานี และแปลงเกษตรกรต่อไป

สรุปผลการศึกษา

การตรวจสอบยีน *badh2 Wx^b* และ *SSIIa-TT* ในข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงด้านทานโรคใหม่และทนน้ำท่วมฉับพลันทั้ง 7 สายพันธุ์ ให้ผลสอดคล้องกับการประเมินลักษณะความหอม ปริมาณอะไมโลส และอุณหภูมิแป้งสุก สายพันธุ์ข้าวปรับปรุงดังกล่าวมีลักษณะความหอม ปริมาณอะไมโลสต่ำ ความคงตัวแป้งสุกอ่อนนุ่ม และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ เช่นเดียวกับพันธุ์แม่ (หอมวาริน) พันธุ์พ่อ (กข75) และข้าวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพันธุ์เปรียบเทียบมาตรฐาน ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงถึงประสิทธิภาพการใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอในการตรวจสอบลักษณะความหอมและคุณภาพการหุงต้มในสายพันธุ์ข้าวปรับปรุงด้านทานโรคใหม่และทนน้ำท่วมฉับพลัน

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความวิจัยนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (สวก.) และคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานีที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวในการประเมินคุณภาพการหุงต้มในงานวิจัยนี้

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: สุรีพร เกตุงาม. การออกแบบการทดลอง และ criteria: สุรีพร เกตุงาม. การปฏิบัติการวิจัยและการเก็บข้อมูล: ลดารัตน์ ทันทิ, ศักดา คงสีลา. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปรผล: ลดารัตน์ ทันทิ, สุรีพร เกตุงาม, ฉันทมาศ เชื้อแก้ว. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: ลดารัตน์ ทันทิ สุรีพร เกตุงาม. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ลดารัตน์ ทันทิ, ฉันทมาศ เชื้อแก้ว. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ทรัพยากร: สุรีพร เกตุงาม, อุไรวรรณ คชสถิตย์. การแก้ไขและปรับปรุงบทความวิจัย: สุรีพร เกตุงาม, ฉันทมาศ เชื้อแก้ว. การจัดทำภาพประกอบและตารางข้อมูล: ฉันทมาศ เชื้อแก้ว.

เอกสารอ้างอิง

- Ayres, N. M., McClung, A. M., Larkin, P. D., Bligh, H. F. J., Jones, C. A., & Park, W. D. (1997). Microsatellites and a single-nucleotide polymorphism differentiate apparent amylose classes in an extended pedigree of US rice germplasm. **Theoretical and Applied Genetics**, 94(6), 773–781.
- Bao, J. S., Corke, H., & Sun, M. (2006). Nucleotide diversity in *starch synthase IIa* and validation of single nucleotide polymorphisms in relation to starch gelatinization temperature and other physicochemical properties in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, 113(7), 1171–1183.
- Cağampang, G. B., Perez, C. M., & Juliano, B. O. (1973). A gel consistency test for eating quality of rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 24(1), 1589–1594.
- Cuevas, R. P., & Fitzgerald, M. A. (2012). **Genetic Diversity in Plants-Genetic Diversity of Rice Grain Quality**. Retrieved from: <http://www.intechopen.com/books/genetic-diversity-in-plants/genetics-of-grain-quality>.
- Department of Agriculture. (2004). **Quality of Rice and Testing for the Detection of Contaminants in Thai Hom Mali Rice**. Jirawat Express Co., Ltd. (in Thai).
- Doyle, J. J., & Doyle, J. L. (1990). Isolation of plant DNA from fresh tissue. **Focus**, 12(1), 13-15.
- Fitzgerald, M. A., McCouch, S. R., & Hall, R. D. (2009). Not just a grain of rice: the quest for quality. **Trends in Plant Science**, 14(3), 133-139.
- Graham, R. (2002). **A Proposal for IRRI to Establish a Grain Quality and Nutrition Research Center**. International Rice Research Institute.
- Hirano, H. Y., Eiguchi, M., & Sano, Y. (1998). A single base change altered the regulation of the waxy gene at the posttranscriptional level during the domestication of rice. **Molecular Biology and Evolution**, 15(8), 978–987.
- Hori, K., & Sun, J. (2022). Rice grain size and quality. **Rice**, 15(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s12284-022-00579-z>.
- International Rice Research Institute. (2013). **SES Standard Evaluation System for Rice**. International Rice Research Institute.
- Itani, T., Tamaki, M., Hayata, Y., Fushimi, T., & Hashizume, K. (2004). Variation of 2-acetyl-1-pyrroline concentration in aromatic rice grains collected in the same region in Japan and factors affecting its concentration. **Plant Production Science**, 7(2), 178–183.
- Jantaboon, J., Siangliw, M., Im-mark, S., Jamboonsri, W., Vanavichit, A., & Toojinda, T. (2011). Ideotype breeding for submergence tolerance and cooking quality by marker-assisted selection in rice. **Field Crops Research**. 123(3), 206–213.
- Jin, L., Lu, Y., Shao, Y., Zhang, G., Xiao, P., Shen, S., Corke, H., & Bao, J. (2010). Molecular marker assisted selection for improvement of the eating, cooking and sensory quality of rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Cereal Science**, 51(1), 159–164.
- Juliano, B. O., Perez, C. M., Blakeney, A. B., Castillo, T., Kongseeree, N., Laignelet, B., Lapis, E. T., Murty, V. V. S., Paule, C. M. & Webb, B. D. (1981). International cooperative testing on the amylose content of milled rice. **Starch-Stärke**, 33(5), 157–162.
- Kate-ngam, S. (2003). DNA markers in plant breeding. **Journal of Ubon Ratchathani University**, 5(2), 37-58. (in Thai).
- Kate-ngam, S. (2014). **Molecular Plant Breeding**. Ubon Ratchathani University Press. (in Thai).
- Kate-ngam, S., Kimchaiyong, W., Wanchana, S., & Toojinda, T. (2008). Association analysis and functional marker development of *soluble starch synthase IIa (SSIIa)* and gelatinization properties in Thai rice. In **Proceeding of the 5th International Crop Science Congress & exhibition: Recognizing Past Achievements, Meeting Future Needs**, pp. 1-4. Jeju International Convention Center.
- Kate-ngam, S., Kotchasatit, U., Jairin, J., Kongsila, S., Tuntee, L., & Lakote, P. 2014. Molecular breeding for the development of blast and brown planthopper resistance in Jasmine IR57514 rice line. In **The 4th International Rice Congress (IRC2014)**, pp. 107. International Trade and Exhibition Centre (BITEC).
- 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 **Proceeding of BIT's 2nd World DNA and Genome Day 2011: Reopen Bio-Gateway to Green Economy Era**, pp. 286. Dalian World EXPO Center.

- Khanthong, S., Kate-ngam, S., Riabroy, K., Lanceras-Siangliw, J., & Toojinda, T. (2018). Development of aromatic glutinous rice for rainfed lowland areas by marker assisted selection. **Chiang Mai Journal of Science**, 45(6), 2312-2321.
- Kuntawong, W., Jamjod, S., Yimyam, N., & Prom-u-thai, C. T. (2015). Genotypic variation of cooking qualities in local rice varieties from Chiang Mai, Chiang Rai and Mae Hong Son provinces. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 43(4), 687-698. (in Thai).
- Lanceras, J. C., Huang, Z. L., Naivikul, O., Vanavichit, A., Ruanjaichon, V., & Tragoonrun, S. (2000). Mapping of genes for cooking and eating qualities in Thai jasmine rice (KDML105). **DNA Research**, 7(2), 93-101.
- Little, R. R., Hilder, G. B., & Dawson, E. H. (1958). Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. **Cereal Chemistry**, 35(2), 111-126.
- Naivikul, O., (2007). **Rice: Science and Technology**. 2nd Ed. Kasetsart University Press. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics. (2023). **Agricultural Economic Information**. Retrieved from: <https://oae.go.th/uploads/files/2025/05/16/ddfa8a4b80299884.pdf>. (in Thai).
- Oo, K. S., Kongjaimun, A., Khanthong, S., Yi, M., Myint, T. T., Korinsak, S., Siangliw, J. L., Myint, K. M., Vanavichit, A., Malumpong, C., & Toojinda, T. (2015). Characterization of Myanmar Paw San Hmwe accessions using functional genetic markers. **Rice Science**, 22(2), 53-64.
- Riabroy, K., Khanthong, S., Toojinda, T., & Kate-ngam, S. (2013). Fragrance gene and molecular basis of fragrant rice. **Thai Journal of Genetics**, 6(2), 93-114. (in Thai).
- Sano, Y. (1984). Differential regulation of *waxy* gene expression in rice endosperm. **Theoretical and Applied Genetics**, 68(5), 467-473.
- Siangliw, J., Huang, Z. L., Naivikul, O., Vanavichit, A., Ruanjaichon, V., & Tragoonrun, S. (2000). Mapping of genes for cooking and eating qualities in Thai jasmine rice (KDML105). **DNA Research**, 7(2), 93-101.
- Sood, B. C., & Siddiq, E. A. (1978). A rapid technique for scent determination in rice [India]. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, 38(2), 268-271.
- Tan, Y., Li, J., Yu, S., Xing, Y., Xu, C., & Zhang, Q. (1999). The three important traits for cooking and eating quality of rice grains are controlled by a single locus in an elite rice hybrid, Shanyou 63. **Theoretical and Applied Genetics**, 99(1), 642-648.
- Tian, R., Jiang, G. H., Shen, L. H., Wang, L. Q. & He, Y. Q. (2005). Mapping quantitative trait loci underlying the cooking and eating quality of rice using a DH population. **Molecular Breeding**, 15(2), 117-124.
- Vanavichit, A., Yoshihashi, T., Wanchana, S., Areekit, S., Saengsraku, D., Kamolsukyonyong, W. J., Lanceras, J., Toojinda, T., & Tragoonrun, S. (2005). Positional cloning of *Os2AP*, the aromatic gene controlling the biosynthetic switch of 2-acetyl-1-pyrroline and gamma-aminobutyric acid (GABA). In **5th International Rice Genetics Symposium**, pp. 44. International Rice Research Institute.
- Wanchana, S., Kamolsukyonyong, W., Ruengphayak, S., Toojinda, T., Tragoonrun, S., & Vanavichit, A. (2005). A rapid construction of a physical contig across a 4.5 cm region for rice grain aroma facilitates marker enrichment for positional cloning. **ScienceAsia**, 31(3), 299-306.
- Wanchana, S., Toojinda, T., Tragoonrun, S., & Vanavichit, A. (2003). Duplicated coding sequence in the *waxy* allele of tropical glutinous rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Science**, 165(6), 1193-1199.
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch retrogradation: a comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 14(5), 568-585.
- Waters, D. L. E., Henry, R. J., Reinke, R. F., & Fitzgerald, M. A. (2006). Gelatinization temperature of rice explained by polymorphisms in starch synthase. **Plant Biotechnology Journal**, 4(1), 115-122.
- Win, K. M., Korinsak, S., Sirithunya, P., Lanceras-Siangliw, J., Jamboonsri, W., Da, T., Patarapuwadol, S., & Toojinda, T. (2013). Marker assisted introgression of multiple genes for bacterial blight resistance into aromatic Myanmar rice MK-75. **Field Crops Research**, 154(1), 164-171.
- Yi, M., Nwe, K. T., Vanavichit, A., Chai-arree, W., & Toojinda, T. (2009). Marker assisted backcross breeding to improve cooking quality traits in Myanmar rice cultivar Manawthukha. **Field Crops Research**, 113(2), 178-186.
- Zhang, Z., Li, M., Fang, Y., Liu, F., Lu, Y., Meng, Q., Peng, J., Yi, X., Gu, M., & Yan, Y. (2012). Diversification of the *waxy* gene is closely related to variations in rice eating and cooking quality. **Plant Molecular Biology**, 30(1), 462-469.

ผลของความเข้มข้นที่ต่างกันของ BA ร่วมกับ NAA ต่อการเพิ่มปริมาณยอดรวม และ
การอนุบาลลงดินปลูกของข้าวเหนียวดำหอม 37
Effects of Different Concentrations of BA with NAA on Shoot Proliferation and
Acclimatization of Niaw Dam Mo 37 Rice

ศศิวิมล ม่วงมี¹, สมปอง เตชะโต¹ และสุเรรัตน์ เย็นซ้อน^{1*}

Sasiwimom Muangmee¹, Sompong Te- chato¹ and Sureerat Yenchon^{1*}

Received date: 28 พ.ค. 67 Revised date: 19 ก.ย. 67 Accepted date: 2 ต.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.16.003>

บทคัดย่อ

ข้าวเหนียวดำหอม 37 มีสารสำคัญมากมายที่มีประโยชน์ ช่วยลดคอเลสเตอรอล ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร ช่วยการหมุนเวียนของกระแสโลหิต ชะลอการเสื่อมของเซลล์ร่างกาย และยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งปอด ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อข้าวเหนียวดำหอม 37 เพื่อการขยายพันธุ์และปรับปรุงพันธุ์มาก่อน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้คือเพื่อศึกษาการตอบสนองต่อการงอกของเมล็ดแก่ การสร้างยอดรวมจากการเพาะเลี้ยงปลายยอดข้าวเหนียวดำหอม 37 ในหลอดทดลองบนอาหาร oil palm culture medium (OPCM) ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตในอาหารเหลว และการอนุบาลลงดินปลูก จากการศึกษา พบว่า การงอกของต้นกล้าในช่วงเวลา 1 สัปดาห์ เมล็ดมีรูปแบบการงอก 3 แบบคือ งอกยอดอย่างเดียว งอกรากอย่างเดียว และงอกทั้งยอดและราก (งอกตามปกติ) อัตราการงอกโดยรวม 85.5 เปอร์เซ็นต์ หลังเพาะเมล็ดเป็นเวลา 7 วัน สำหรับการสร้างยอดรวม พบว่า การวางเลี้ยงปลายยอดในอาหารเหลวสูตร OPCM เติม NAA เข้มข้น 0.5 มก/ล ร่วมกับ BA เข้มข้น 1.5 มก/ล ให้จำนวนยอดเฉลี่ย สูงสุด 7.6 ยอด แตกต่างจากความเข้มข้นอื่นๆ ที่ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สำหรับการอนุบาลออกปลูก กลุ่มยอดรวมที่มีรากในอาหารเติม NAA เข้มข้น 0.5 มก/ล ให้อัตราการรอดชีวิตสูงสุดหลังอนุบาลลงดินปลูก 100 เปอร์เซ็นต์ จากผลการศึกษาสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้มาเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการขยายพันธุ์ ปรับปรุงพันธุ์และอนุรักษ์พันธุกรรมของข้าวเหนียวดำหอม 37 ในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: ข้าวเหนียวดำหอม 37 สารควบคุมการเจริญเติบโต การงอกของเมล็ด การเพิ่มปริมาณยอดรวม การอนุบาลลงดินปลูก

Abstract

Niaw Dam Mo 37 rice has many important benefits, such as reducing cholesterol, inhibiting gastric acid secretion, helping blood circulation, slowing down the degeneration of body cells, and inhibiting the growth of lung cancer cells. In the present, no authors have reported on tissue culture for the propagation and improvement of Niaw Dam Mo 37. Thus, this study aimed to investigate the germination of mature seeds, multiple shoot formation from culturing shoot tip in liquid oil palm culture medium (OPCM) with plant growth regulators and acclimatization of complete plantlets to field conditions. The results revealed that seed germination in 1 week could be divided into 3 types: shoot alone, root alone, and both shoot and root. Total germination after 7 days of cultures was 85.5 percent. For multiple shoot formation, the results showed that shoot tip culture in liquid OPCM medium supplemented with 0.5 mg/L NAA and 1.5 mg/L BA gave the highest number of shoots at 7.6 shoots, significantly different ($p < 0.05$) from other treatments. For acclimatization, plantlets cultured on medium with 0.5 mg/L NAA had the highest survival rate at 100 percent. The investigation's findings can be used to provide fundamental knowledge for propagation, breeding and plant genetic conservation of Niaw Dam Mo 37 rice in the future.

Keywords: Niaw Dam Mo 37 rice, plant growth regulators, seed germination, multiple shoots, acclimatization

¹ สาขาวิชานวัตกรรมและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110

¹ Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla 90110

* Corresponding author: sureerat.y@psu.ac.th

คำนำ

ข้าวเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ทั้งในด้านการบริโภค และเป็นสินค้าเกษตรส่งออกอันดับหนึ่งของประเทศไทย อีกทั้งยังมีความสำคัญต่อภาวะเศรษฐกิจภูมิภาค เนื่องจากเป็นพืชเกษตรหลักของประเทศ ที่ครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด คิดเป็น 45.2% ของพื้นที่การเกษตรทั้งหมด (Sowcharoensuk, 2019) โดยชนิดข้าวที่ปลูกในประเทศไทยเป็นชนิด Indica โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ข้าวเจ้า และข้าวเหนียว ภาคใต้เป็นภูมิภาคหนึ่งของประเทศไทยที่ประชากรส่วนใหญ่นิยมปลูกและบริโภคข้าวเจ้า (Thai Rice Exporters Association, 2021) แต่ภาคใต้ในบางท้องที่เกษตรกรนิยมปลูกข้าวเหนียวสี เช่น ข้าวเหนียวดำ และข้าวเหนียวแดง เนื่องจากมีรสชาติดี สีสันน่ารับประทาน และใช้ในพิธีกรรมต่างๆ ทำให้ราคาจำหน่ายสูงกว่าข้าวทั่วไป (Saeng-arun et al., 2011) ข้าวเหนียวดำหอม 37 (*Oryza sativa* var. indica cv. PTNC96051-37) ได้รับการคัดเลือกสายพันธุ์บริสุทธิ์ข้าวเหนียวสีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปัตตานี (Saeng-arun et al., 2011) ลักษณะทางการเกษตรเป็นข้าวไวแสง ออกดอกต้นเดือนกุมภาพันธ์ ผลผลิตเฉลี่ย 378 กิโลกรัมต่อไร่ ความสูงประมาณ 139 เซนติเมตร ลักษณะทรงกอตั้ง แผ่นใบสีม่วงผสมเขียว กาบใบสีเขียวเส้นม่วง ใบธงทล่ง ยอดเกสรตัวเมียสีม่วงอ่อน ยอดดอกสีม่วงดำ กลีบรองสีม่วงแดง คอรวงยาว รวงแน่นปานกลาง การแตกกระแ่งปานกลาง รวงยาว 24.8 เซนติเมตร ข้าวเปลือกสีฟางกระน้ำตาล เมล็ดข้าวเปลือกยาว 10.69 มิลลิเมตร กว้าง 3.10 มิลลิเมตร หนา 2.04 มิลลิเมตร ข้าวกล้องสีดำยาว 7.28 มิลลิเมตร หนา 1.80 มิลลิเมตร รูปร่างเมล็ดค่อนข้างป้อม น้ำหนักข้าวเปลือก 27.93 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด (Niche Market Center, 2022) ข้าวกล้องสีม่วงดำ มีสารสำคัญได้แก่ แกมมาโอไรซานอลซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ลดคอเลสเตอรอล มีผลต่อการทำงานของต่อมใต้สมอง ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร และแอนโทไซยานิน ซึ่งมีคุณสมบัติ ช่วยการหมุนเวียนของกระแสโลหิต ชะลอการเสื่อมของเซลล์ร่างกาย และยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งปอด นอกจากนี้สารสกัดในข้าวเหนียวดำยังสามารถช่วยสร้างเม็ดเลือดแดง อีกทั้งยังพบว่าในข้าวกล้องของข้าวเหนียวดำหอม 37 มีกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริกหรือ กาบา ปริมาณ 3.30 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ช่วยส่งเสริมการทำงานของประสาทอีกด้วย (Phengrat and Jearakongman, 2010)

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเพื่อขยายพันธุ์ และปรับปรุงพันธุ์ข้าว เข้ามามีบทบาท ให้ผลที่รวดเร็ว และร่นระยะเวลาได้มาก ในการเพาะเลี้ยงเพื่อการขยายพันธุ์นั้นเป็นการชักนำยอดรวมโดยตรงจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนที่มีองค์ประกอบของเนื้อเยื่อเจริญส่วนยอดอ่อนได้แก่ เมล็ดแก่ และปลายยอด โดย Noimusik (2021) รายงานการเพิ่มปริมาณยอดรวมจากเพาะเลี้ยงปลายยอดข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงในอาหารเหลวสูตร OPCM เติม benzyladenine (BA) เข้มข้น 0.5 มก/ล เมื่อนุบาลลงดินปลูกส่งเสริมการเติบโต การแตกกอ และสร้างรวงได้มากกว่าการขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเมล็ดปกติ นอกจากนี้ยังได้ลักษณะใหม่ไวแสง Yusoh (2014) รายงานการขยายพันธุ์ข้าวหอมกระดังงาซึ่งเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดนครราชสีมาด้วยการเพาะเลี้ยงปลายยอดในอาหารเหลวสูตร MS เติม α -naphthaleneacetic acid (NAA) เข้มข้น 0.5 มก/ล ร่วมกับ BA เข้มข้น 1 มก/ล ด้วยระบบใบออรีแอกเตอร์ พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณยอดรวมได้มากกว่า 11 ยอดในแต่ละช่วงของการเปลี่ยนถ่ายอาหาร (4 สัปดาห์) Domyos et al. (2020) รายงานการเพาะเลี้ยงเมล็ดแก่ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงบนอาหารสูตร MS ร่วมกับ thidiazuron (TDZ) เข้มข้น 3 มก/ล สามารถชักนำยอดโดยตรงจำนวน 7 ยอดหลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ส่วนการปรับปรุงพันธุ์นิยมชักนำพืชต้นใหม่ผ่านการสร้างแคลลัสก่อนเพราะแคลลัสอาจมีการแบ่งเซลล์ผิดปกติ อาจทำให้ต้นที่ได้มีลักษณะผิดปกติไปจากเดิม Samleekaew et al. (2017) รายงานการชักนำยอดจากแคลลัสของข้าวกาดำซึ่งเป็นพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดนครศรีธรรมราชบนอาหารสูตร MS เติม BA เข้มข้น 1 มก/ล ร่วมกับ NAA เข้มข้น 0.1 มก/ล ชักนำยอดได้สูงสุด 16.78% จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุด 2.40 ยอดต่อชิ้นส่วน Ho et al. (2017) รายงานการชักนำยอดใหม่จำนวน 6 ยอดต่อแคลลัส จากแคลลัสของข้าวสังข์หยดผ่านกระบวนการสร้างจุดตายยอดสีเขียว (green spot) บนอาหารสูตร MS เติม NAA เข้มข้น 0.5 มก/ล BA เข้มข้น 1 มก/ล และ kinetin (KN) เข้มข้น 0.5 มก/ล เมื่อตัดแยกยอดเดี่ยวที่ได้ไปเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวเติม NAA เข้มข้น 0.5 มก/ล ร่วมกับ BA เข้มข้น 1 มก/ล ให้จำนวนยอดรวม 15 ยอด Wamaedeesa and Kanjanawattanawong (2019) รายงานการชักนำยอดจากแคลลัสของข้าวหอมกระดังงาที่ชักนำได้จากการเพาะเลี้ยงเมล็ดบนอาหารสูตร MS เติม BA เข้มข้น 2.5 มก/ล (จำนวนเฉลี่ย 1.5 ยอด) เมื่อย้ายยอดไปเพิ่มปริมาณบนอาหารใหม่สูตรเติม BA เข้มข้น 2 มก/ล ให้การสร้างยอดรวมถึง 8 ยอด

สำหรับข้าวเหนียวดำหอม 37 เป็นพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดพัทลุงและยังไม่มีรายงานการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อการขยายพันธุ์และปรับปรุงพันธุ์มาก่อน ดังนั้นรายงานการวิจัยครั้งนี้เป็นครั้งแรกในการใช้กระบวนการดังกล่าวเพื่อศึกษากระบวนการงอกของเมล็ดแก่ในหลอดทดลอง ผลของความเข้มข้นของ BA ร่วมกับ NAA ต่อการสร้างยอดรวมจากการเพาะเลี้ยงปลายยอดในอาหารเหลว และการอนุบาลลงดินปลูก ความสำเร็จดังกล่าวเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการขยายพันธุ์ ปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวดำหอม 37 ตลอดจนการอนุรักษ์พันธุกรรมข้าวดังกล่าวไม่ให้สูญหายไปจากถิ่นกำเนิดเดิม

วิธีการศึกษา

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมวัสดุพืช

ใช้เมล็ดที่สุกแก่เต็มที่ของข้าวเหนียวดำหอม 37 ที่ได้รับการอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดพัทลุง โดยนำเมล็ด ที่มีลักษณะสมบูรณ์ปราศจากโรคและแมลง มาแกะเปลือกหุ้มเมล็ดออก ล้างด้วยน้ำยาล้างทำความสะอาดที่โพล และเปิดน้ำไหลผ่าน เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นฟอกฆ่าเชื้อบริเวณผิวด้วยแอลกอฮอล์เข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 นาที แช่เมล็ดในสารละลาย คลอโรกซ์ เข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ และเติมทวิน 20 ปริมาตร 0.05-0.10 มิลลิลิตรต่อสารละลายคลอโรกซ์ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 15 นาที ล้างเมล็ดด้วยน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง ในสภาพปลอดเชื้อ ชิ้นส่วนที่ผ่านการฟอกฆ่าเชื้อแล้วจะนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

ศึกษาลักษณะการงอกของเมล็ดข้าวเหนียวดำหอม 37 ในหลอดทดลอง

เพาะเลี้ยงเมล็ดบนอาหารแข็งสูตร oil palm culture medium (OPCM) ที่ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโต ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุในขวด 8 ออนซ์ วางเลี้ยง 5 เมล็ดต่อขวด ภายใต้การให้แสง 15 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 10 ชั่วโมงต่อวัน ที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 1 สัปดาห์ บันทึกลักษณะการงอกของเมล็ด โดยข้อมูลที่บันทึกมีดังนี้ ผลรวมการงอกของเมล็ด การงอกของเมล็ดเฉพาะราก การงอกของเมล็ดเฉพาะยอด และการงอกของ เมล็ดทั้งยอดและราก (ต้นปกติ) ทำการทดลอง 5 ซ้ำ ๆ ละ 10 ขวด

ศึกษาผลของความเข้มข้น BA ร่วมกับ NAA ต่อการเพิ่มปริมาณยอดรวม และการรอดชีวิตของต้นพืชหลังอนุบาลลงดินปลูก

ยอดข้าวเหนียวดำหอม 37 ที่มีลักษณะสมบูรณ์ วางบนจานเพาะเลี้ยง ใช้มีดตัดแยกเอนโดสเปิร์มและลอกส่วนที่ตายออก ตัดชิ้นส่วนยอด โดยวัดจากโคนให้มีขนาด 0.5 เซนติเมตร วางเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร OPCM เติม NAA เข้มข้น 0.5 มก/ล ร่วมกับ BA เข้มข้นต่างๆ ที่บรรจุในฟลาสค์ขนาด 125 มล ปริมาตร 35 มล แล้วนำไปวางบนเครื่องเขย่าแบบวงกลมความเร็ว 80 รอบต่อ นาที ภายใต้การให้ความเข้มข้นแสง 15 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที เป็นเวลา 10 ชั่วโมงต่อวัน ที่อุณหภูมิ 26 ± 2 องศาเซลเซียส หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ตรวจสอบผลการสร้างยอดรวม และการสร้างรากเปรียบเทียบกับในแต่ละความเข้มข้นของ BA และ NAA โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) แต่ละความเข้มข้นของ BA และ NAA ทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 5 ฟลาสค์ ๆ ละ 1 ยอด

หลังจากเขย่าเลี้ยงปลายยอดเป็นเวลา 4 สัปดาห์นำกลุ่มยอดรวมที่มีการสร้างรากพร้อมกันในอาหารเติม BA เข้มข้นต่างๆ และ NAA เข้มข้น 0.5 มก/ล ออกจากฟลาสค์ แช่ในน้ำประปาบรรจุในแก้วพลาสติกปิดฝา เป็นเวลา 1 วัน เติมนดินผสมลงไปในแก้ว เติมควบคุมความชื้นโดยใช้ถุงพลาสติกขนาดใหญ่ มัดปากถุงหลวมๆ อนุบาลในตู้ควบคุมอุณหภูมิยี่ห้อ SANYO ที่อุณหภูมิ $25 \pm 0.5^{\circ}$ C ความเข้มข้นแสง 25 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที หลังผ่านไป 1 วันแกะยางที่รัดปากถุงออก คอยสังเกตการตอบสนองของต้น กล้าหากเหี่ยวก็ปิดปากถุงไว้เช่นเดิมจนต้นกล้าปรับตัวได้ และเติบโตตามปกติ (ใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์) ย้ายต้นกล้าจากแก้ว พลาสติกในตู้ควบคุมอุณหภูมิลงกระถางพลาสติกสี่ขาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว วางไว้กลางแจ้งให้หน้าเช้า-เย็น 2 ครั้งหากไม่มี ฝน (ย้ายปลูกในช่วงฤดูฝน พฤศจิกายน พ.ศ. 2566) หลังอนุบาลนาน 4 สัปดาห์ ตรวจสอบอัตราการรอดชีวิต เปรียบเทียบกันในแต่ละ ความเข้มข้นของ BA และ NAA โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT แต่ละความเข้มข้นของ BA และ NAA ทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 5 ต้น

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ศึกษาลักษณะการงอกของเมล็ดข้าวเหนียวดำหอม 37 ในหลอดทดลอง

หลังจากเพาะเมล็ดเป็นเวลา 7 วัน เมล็ดมีรูปแบบการงอก 3 แบบด้วยกันคือ การงอกของเมล็ดเฉพาะราก การงอกของ เมล็ดเฉพาะยอด และการงอกของเมล็ดทั้งยอดและราก (ต้นปกติ) ซึ่งในวันที่ 1 ของการเพาะเลี้ยงบนอาหาร OPCM ที่ปราศจาก สารควบคุมการเจริญเติบโตมียอดอ่อนบางเมล็ดเริ่มงอกออกมาให้เห็นประมาณ 16.6 เปอร์เซ็นต์ และเริ่มงอกมากขึ้นในวันที่ 3 จนถึงวันที่ 5 งอกยอดเพียงอย่างเดียวได้ 78 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นงอกเพิ่มอีกเล็กน้อยใน วันที่ 7 แตกต่างเพียงเล็กน้อยกับวันที่ 5 พบการสร้างรากเพียงอย่างเดียวในวันที่ 3 (16.6 เปอร์เซ็นต์) เมล็ดดังกล่าวไม่มีการสร้างยอด สูญเสียการงอกปกติไป อย่างไรก็ตาม การงอกปกติของเมล็ด ปรากฏให้เห็นในวันที่ 5 ของการเพาะเลี้ยง (4.5 เปอร์เซ็นต์) และเพิ่มขึ้นเป็น 6 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 7 ของ การเพาะเลี้ยงโดยรากพัฒนามาจากยอดที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ (วันที่ 1-3) ส่งผลให้อัตราการงอกโดยรวมหลังเพาะเมล็ดเป็นเวลา 7 วัน คิดเป็น 85.5 เปอร์เซ็นต์ (Figure 1) ซึ่งการงอกใกล้เคียงกับการรายงานของ Noimusik et al. (2020) ที่ได้ศึกษาในเมล็ดแก่ข้าว สั้นหยอดพัทลุงที่เพาะในอาหารสูตรเดียวกันแต่เติม 2,4-D เข้มข้น 5 มก/ล เป็นเวลา 7 วันให้อัตราการงอก 100 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่า

สูตรอาหารที่ไม่เติม 2,4-D หรือเติมไดแคมบา อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ไม่ได้เพาะเมล็ดในสูตรอาหารเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตใดๆ อัตราการงอกและระยะเวลาการงอกนี้ก็เพียงพอต่อการชักนำยอดเพื่อเพิ่มปริมาณยอดรวมจำนวนมากต่อไป

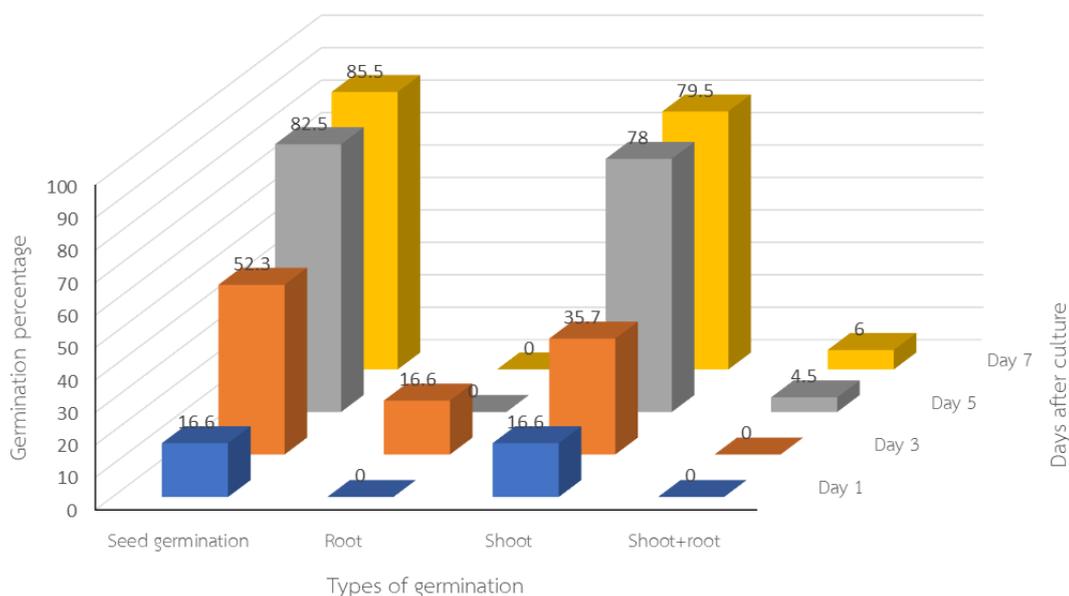


Figure 1 Germination percentage of different germination characteristics of Niaw Dam Mo 37 seeds on OPCM medium for 7 days

ผลของความเข้มข้น BA ต่อการเพิ่มปริมาณยอดรวมและอนุบาลลงดินปลูก

ยอดข้าวที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร OPCM ที่ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโต ถูกย้ายไปเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตรเติม BA ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกับ NAA เข้มข้น 0.5 มก/ล เป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่า ในช่วงสัปดาห์แรก คงเห็นเพียงการยืดยาวของใบ พบการสร้างยอดรวมในอาหารเติม BA เข้มข้นสูงกว่า 1 มก/ล (2 ยอด) ในอาหารที่เติม NAA เพียงอย่างเดียวส่งเสริมการสร้างรากให้เห็นเป็นรากขนาดสั้นๆ ในปลายสัปดาห์ที่ 3 เข้าสู่สัปดาห์ที่ 4 พบการสร้างยอดรวมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะ BA เข้มข้น 1.5 มก/ล ร่วมกับ NAA เข้มข้น 0.5 มก/ล ให้จำนวนยอดเฉลี่ย 7.6 ยอดสูงสุด แตกต่างจากความเข้มข้นอื่นๆ ที่ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (Figure 2) การเพิ่มความเข้มข้นของ BA ให้สูงขึ้นส่งผลให้จำนวนยอดเพิ่มขึ้น แต่ยอดที่ได้ไม่มีการสร้างรากโดยเฉพาะ BA เข้มข้น 1.5 มก/ล จะเห็นได้ว่า BA ความเข้มข้นสูงยับยั้งการสร้างราก ส่วนการเพาะเลี้ยงในอาหารที่เติม NAA เพียงอย่างเดียวให้การสร้างรากจำนวนมาก แต่มีจำนวนยอดเพียง 2.5 ยอดเท่านั้น (Figure 2) แตกต่างกับการศึกษาของ Noimusik et al. (2018) รายงานว่า การเพาะเลี้ยงปลายยอดข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงในอาหารเหลวสูตรเดียวกันเติม NAA เข้มข้น 0.5 มก/ล ร่วมกับ BA เข้มข้น 1 มก/ล ให้จำนวนยอดรวมสูงสุด 16.25 ยอดต่อปลายยอดที่เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ความแตกต่างนี้เป็นผลมาจากพันธุกรรมที่ต่างกันโดยเฉพาะพันธุกรรมที่ควบคุมการแตกกอ จากการสังเกตพบว่าในธรรมชาติข้าวสังข์หยดมีอัตราการแตกกอสูงกว่าข้าวเหนียวดำหมอ 37 ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าการตอบสนองการแตกกอในหลอดทดลองของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงจึงสูงกว่าด้วยเช่นกัน สำหรับข้าวสังข์หยดบางรายงานพบว่าการเพิ่มปริมาณยอดรวมต้องใช้ KN เข้มข้น 0.5 มก/ล ร่วมกับ (Ho et al., 2017) ส่วนข้าวหอมกระดังงานั้นมีรายงานว่าเพิ่มปริมาณยอดรวมได้ดีในอาหารสูตร MS เติม BA ความเข้มข้นต่ำ (1 มก/ล) หรือสูงร่วมกับ NAA ความเข้มข้นต่ำๆ (0.5 มก/ล) (Yusoh, 2014)

เมื่อย้ายกลุ่มยอดรวมที่มีรากในอาหารเติม NAA เพียงอย่างเดียวให้อัตรารอดชีวิตหลังอนุบาลลงดินปลูก 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอัตรารอดชีวิตของต้นที่มาจาก BA เข้มข้น 0.5 และ 1 มก/ล ให้อัตรารอดชีวิตรองลงมา 80 เปอร์เซ็นต์ เท่ากัน ในขณะที่ BA เข้มข้น 1.5 มก/ล ให้อัตรารอดชีวิตต่ำสุด 60 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นไปได้ว่าที่ความเข้มข้นดังกล่าวรากที่สร้างขึ้นค่อนข้างน้อย ระบบรากสั้น และไม่แข็งแรงในขณะที่ BA ความเข้มข้นต่ำๆ หรือ NAA เพียงอย่างเดียวให้การสร้างรากจำนวนมาก แข็งแรงและสมบูรณ์ (Figure 3) ทำให้ช่วยดูดซึมน้ำและธาตุอาหารเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ดี ส่งผลให้ต้นข้าวปรับตัวได้ดีจึงส่งผลให้อัตรารอดชีวิตหลังจากปลูกที่สูงขึ้น (Figure 3)

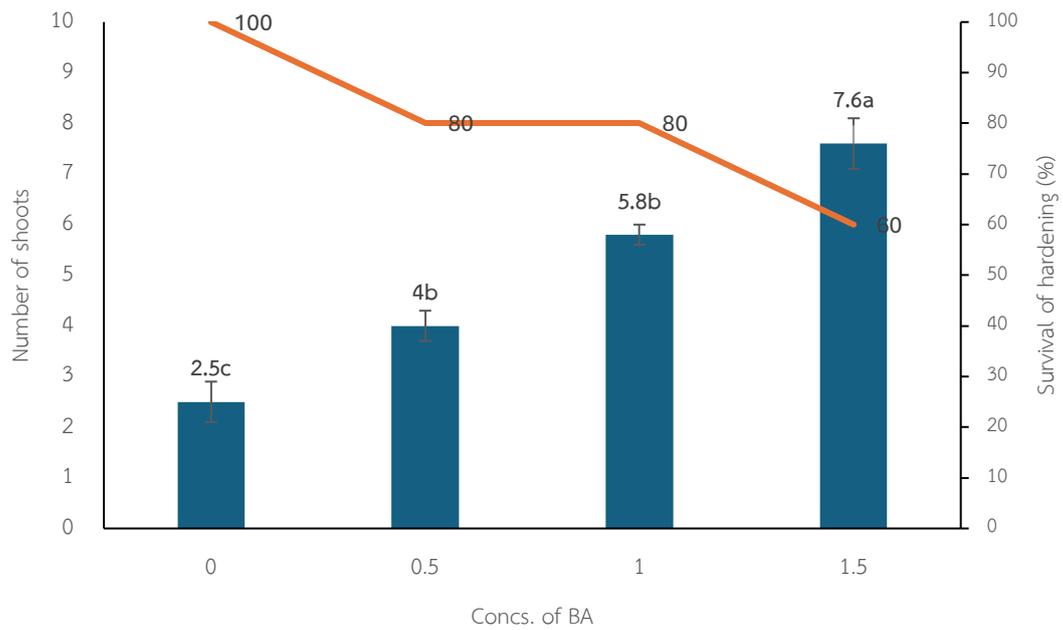


Figure 2 Effect of various concentrations of BA with 0.5 mg/L NAA containing liquid OPCM medium on multiple shoot formation for 4 weeks and survival rate after acclimatization to field conditions of Niaw Dam Mo 37 Rice



Figure 3 Acclimatization of seedlings Niaw Dam Mo 37 before transfer to field conditions

A: multiple shoots in liquid OPCM for 4 weeks

B: soaking in tap water for one day

C: adding soil mixture and wrapping with a transparent plastic bag

D: maintaining in a controlled chamber

สรุปผลการศึกษา

การงอกของเมล็ดข้าวเหนียวดำหอม 37 ในหลอดทดลองไม่จำเป็นต้องใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต การงอกเป็นต้นกล้าที่สมบูรณ์ปรากฏให้เห็นหลังสัปดาห์ที่ 3 ของการเพาะเลี้ยง การเพาะเลี้ยงปลายยอดให้การเพิ่มปริมาณยอดรวมดีที่สุดในอาหารสูตร OPCM เติม NAA เข้มข้น 0.5 มก/ล ร่วมกับ BA เข้มข้น 1.5 มก/ล หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยการสร้างยอดรวมเริ่มปรากฏให้เห็นในสัปดาห์ที่ 3 เช่นเดียวกับการงอกของเมล็ด นอกจากนี้ต้นกล้าจากการเพาะเลี้ยงในอาหารเติม NAA เข้มข้น 0.5 มก/ล อย่างเดียวให้อัตราการรอดชีวิตสูงสุด ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการทดสอบผลของ TDZ และ NAA ที่มีต่อการงอกและการสร้างยอดรวม นอกจากนี้เมื่อได้ยอดรวมจากการเพาะเลี้ยงปลายยอดในอาหารแล้วควรแยกยอดที่ไม่สร้างรากเป็นยอดเดี่ยวๆ แล้วชักนำการสร้างรากก่อนอนุบาลลงดินปลูก

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก "ทุนพระกนิษฐาสัมมาชีพ" กองทุนเพื่อความเสมอภาคทางการศึกษา (กสศ.) ภายใต้โครงการทุนพัฒนาเต็มศักยภาพสายอาชีพรุ่นที่ 1 และการสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนจากศูนย์วิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และสมมุติฐาน: ศศิวิมล ม่วงมี, สมปอง เตชะโต. การปฏิบัติกรวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: ศศิวิมล ม่วงมี, สมปอง เตชะโต, สุรรัตน์ เย็นซ้อน. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: ศศิวิมล ม่วงมี, สมปอง เตชะโต. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: สมปอง เตชะโต, สุรรัตน์ เย็นซ้อน. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: สมปอง เตชะโต, สุรรัตน์ เย็นซ้อน. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครุภัณฑ์: สมปอง เตชะโต, สุรรัตน์ เย็นซ้อน.

เอกสารอ้างอิง

- Domyos, P., Domyos, S., Chartikul, M., & Saykawe, J. (2020). Effects of 2,4-D and TDZ on callus and shoot induction in seed of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Sang Yod Phattalung. *Journal of Vocational Education in Agriculture*, 4(1), 32-38. (in Thai).
- Ho, T. L., Te-Chato, S., & Yenchon, S. (2017). Callus induction and plantlet regeneration systems in Indica rice (*Oryza sativa* L.) cultivar Sangyod. *Walailak Journal of Science and Technology*, 15(10), 753-763.
- Niche Market Center. (2022). *Niaw Dam Mo 37 Rice*. Retrieved from: <https://www.thairicedb.com/rice-detail.php?id=34>. (in Thai).
- Noimusik, P., Te-chato, S., & Yenchon, S. (2018). Effect of plant growth regulators on shoot multiplication and root induction from culturing shoot tips of Sang Yod Muang Phatthalung Rice. In *The 11th IMT-GT UNINET: Conference-Bioscience for A Sustainable Future*, pp. 130-136. Universiti Sains Malaysia.
- Noimusik, P., Te-chato, S., & Yenchon, S. (2020). Effects of auxin and explant types on seed germination and callus induction in Sang yod muang phatthalung rice. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 48(3), 585-596. (in Thai).
- Noimusik, P. (2021). *Induced Somaclonal Variation of Sang Yod Phatthalung Rice and Verification of Somaclonal Variant by Agronomical and Physiological Characteristics, Chemical Contents and SSR Marker*. Doctoral Thesis. Prince of Songkla University.
- Phengrat, J., & Jearakongman, S. (2010). Black glutinous rice: Various benefits, composite thinking, enhancing Thai economic opportunities. *Thai Rice Research Journal*, 4(2), 73-82. (in Thai).
- Samleekaew, K., Taenthong, O., Rotduang, P., & Ramasoot, S. (2017). Propagation of Kab-dum native rice cultivar (*Oryza sativa*) by tissue culture techniques. *Wichcha Journal*, 36(2), 25-35. (in Thai).
- Saeng-arun, N., Suwanno, S., Nookong, B., Tubtintung, J., Plodplong, K., Srisuwan, C., Saeton, S., Kochpakdee, K., Preecha, R., Tongdej, O., Panichkij, R., Cheapan, K., & Wongpiyachon, S. (2011). Khao' Niaw Dam Chaw Mai Pai, PTNC96004-49 Khao' Niaw Dam Maw PTNC96051-37, The promising lines of black glutinous rice in Southern Thailand. In *Proceeding of 2nd Rice Annual Conference Year 2011: Rice and National Farmers' Day*, pp. 348-349. Rice Department. (in Thai).

- Sowcharoensuk, C. (2019). **Industry Indicator 2019-2021: Rice Industry**. Retrieved from: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/agriculture/rice/io/io-rice-20>. (in Thai).
- Thai Rice Exporters Association. (2021). **Information about Rice**. Retrieved from: http://www.thairiceexporters.or.th/rice_profile.htm. (in Thai).
- Wamaedeesa, R., & Kanjanawattanawong, S. (2019). Shoot multiplication of pure-line Hom-Kradang-Nga rice through callus formation. **Princess of Naradhiwas University Journal**, 11(3), 224-232. (in Thai).
- Yusoh, A. (2014). **Propagation of Hom Kra-Dang-Nga Rice through Tissue Culture Technic and Its Conservation In Vitro**. Master's Thesis. Prince of Songkla University. (in Thai).

ผลของการเสริมผงแก่นตะวันในอาหารปลาสาวยัยอ่อน ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต
เอนไซม์ย่อยอาหาร ชีวเคมีในเลือด และจุลพยาธิวิทยาของตับและลำไส้
Effect of Jerusalem Artichoke Powder Supplemented in Striped Catfish Larvae
(*Pangasianodon hypophthalmus*) Diet on Growth Performance, Digestive Enzyme
Activities, Plasma Biochemical Parameters and Histopathology of Liver and Intestine

ศุภลักษณ์ เกตุตากแดด^{1*}, กฤติมา กษมาวุฒิ¹, สุริยา อุดต้วง¹, สุขสันต์ ยกดี¹, ชนะพล สวัสดิ์พูน¹ และรัตนจิรา รัตนประเสริฐ²
Supalug Kattakdad^{1*}, Krittima Kasamawut¹, Suriya Udduang¹
Suksan Yokdee¹, Chanaphon Sawatphun¹ and Ruttanachira Ruttanaprasert²

Received date: 2 ส.ค. 67 Revised date: 8 ต.ค. 67 Accepted date: 10 ต.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.16.004>

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมผงแก่นตะวันในอาหารปลาสาวยัยอ่อน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ คือ อาหารเสริมผงแก่นตะวัน 0% (JA0; กลุ่มควบคุม), 0.5% (JA0.5), 1.0% (JA1.0), 1.5% (JA1.5) และ 2.0% (JA2.0) ทดลองในปลาสาวยัยน้ำหนักเฉลี่ย 4.24±0.10 กรัมต่อตัว เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ปลาสาวยัยที่ได้รับอาหารเสริมผงแก่นตะวันมีการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงกว่าปลาในชุดควบคุม โดยปลาสาวยัยที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันสูงที่สุด และมีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่ทุกชุดการทดลองมีอัตราการรอดตายไม่ต่างกัน ($p>0.05$) ซึ่งมีค่าระหว่าง 94.27-98.10 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาค่าชีวเคมีในเลือด พบว่า ปลาสาวยัยที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีค่าโปรตีน และอิมูโนโกลบูลินในซีรัมสูงที่สุด ($p<0.05$) อีกทั้งปลาสาวยัยที่ได้รับอาหารเสริมผงแก่นตะวันมีค่ากิจกรรมเอนไซม์ย่อยอาหารในตับและลำไส้ สูงกว่าชุดควบคุม ($p<0.05$) การศึกษาจุลพยาธิวิทยาของตับและลำไส้ พบว่า การเสริมผงแก่นตะวันไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงจุลพยาธิวิทยาของตับ และส่งผลกระทบต่อจุลพยาธิวิทยาในลำไส้ โดยปลาสาวยัยที่ได้รับอาหาร JA1.5 และ JA2.0 มีความยาวของวิลโลในลำไส้สูงที่สุด ($p<0.05$) และปลาสาวยัยที่ได้รับอาหาร JA1.0 และ JA2.0 มีความกว้างของวิลโลสูงที่สุด ($p<0.05$) การศึกษาค้นคว้าชี้ให้เห็นว่าการเสริมผงแก่นตะวัน 2% สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกันและประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงที่สุด และส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหารได้

คำสำคัญ: แก่นตะวัน พรีไบโอติก อาหารปลา ปลาสาวยัย

Abstract

The objectives of the present study were to investigate the effects of Jerusalem artichoke powder supplemented in striped catfish larvae (*Pangasianodon hypophthalmus*) diet. The experiment was conducted as a completely randomized design with five treatments and three replicates: 0% (JA0; control diet), 0.5% (JA0.5), 1.0% (JA1.0), 1.5% (JA1.5) and 2.0% (JA2.0) of Jerusalem artichoke powder supplementation. Striped catfish (initial mean body weight = 4.24±0.10 g/fish) were fed experimental diet for 8 weeks. The results found that fish fed Jerusalem artichoke powder showed higher growth performance and feed utilization than control group. Moreover, fish fed JA2.0 showed the highest final weight, weight gain, average daily growth as well as lowest feed conversion ratio ($p<0.05$). However, survival rate showed no significant difference with all treatment groups with the value between 94.27 to 98.10%. Concerning plasma biochemical parameters, fish fed JA2.0 displayed the highest total protein and total Immunoglobulin ($p<0.05$). In addition, the fish fed Jerusalem artichoke powder showed higher digestive enzyme activities than control group ($p<0.05$). Liver and intestinal histopathology were investigated. The results showed that Jerusalem artichoke had no negative effect on liver

¹ สาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดสุรินทร์ 32000

² สาขาพืชศาสตร์ สิ่งทอและการออกแบบ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดสุรินทร์ 32000

¹ Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology, Surin 32000

² Department of Plant Science, Textile, and Design, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology, Surin 32000

* Corresponding author: supalug.ka@rmuti.ac.th

histopathology. In addition, intestinal histopathology showed that fish fed JA1.5 and JA2.0 had the highest villi height ($p < 0.05$) whereas fish that received JA1.0 and JA2.0 exhibited the highest villi width ($p < 0.05$). This study indicates that supplementation with 2% Jerusalem artichoke powder is an optimal level to stimulate growth, enhance immune function, improve feed efficiency, and promote digestive enzyme activity.

Keywords: Jerusalem artichoke, probiotic, fish feed, striped catfish

คำนำ

แก่นตะวัน (Jerusalem artichoke, *Helianthus tuberosus*) เป็นไม้ล้มลุกกลุ่มไม้ดอกในตระกูลทานตะวัน มีหัวใต้ดิน (tuber) คล้ายขิงและข่า ส่วนหัวของแก่นตะวันประกอบไปด้วย อินูลิน (Inulin) ประมาณ 14-20 เปอร์เซ็นต์ และ Fructooligosaccharide (FOS) 3-6 เปอร์เซ็นต์ (Tanjor et al., 2012) ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้มีคุณสมบัติเป็นสารพรีไบโอติก (Prebiotic) ที่จะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์ แต่จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ เช่น Bifidobacteria และ Lactobacillus เป็นต้น สารกลุ่มพรีไบโอติกจึงถือเป็นอาหารของจุลินทรีย์ชนิดดีในลำไส้ เป็นการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ชนิดดีและลดจำนวนจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ดีหรือจุลินทรีย์ก่อโรคในทางเดินอาหาร (Pathogenic organism) และกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายได้อีกด้วย (Spiller, 2001) ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้นำสารเคมีและยาปฏิชีวนะมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อลดการติดเชื้อโรค ควบคุมจำนวนแบคทีเรียก่อโรคในระบบการเลี้ยง และส่งเสริมแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร แต่การใช้สารเคมีและยาปฏิชีวนะในอาหารสัตว์ส่งผลให้เกิดสารตกค้างซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค อีกทั้งเมื่อใช้เป็นเวลานานยังส่งผลให้เกิดอาการดื้อยาและตกค้างในสิ่งแวดล้อม การเสริมวัตถุดิบอาหารจากธรรมชาติ เช่น แก่นตะวัน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อใช้เป็นสารเสริมพรีไบโอติกในอาหารสัตว์น้ำแทนยาปฏิชีวนะ เนื่องจากสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรคอย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผลดีต่อสุขภาพของสัตว์ โดยได้มีการทดลองเสริมสารพรีไบโอติกในสัตว์น้ำหลากหลายชนิด เช่น การเสริมอินูลินในอาหารปลา Atlantic salmon (*Salmo salar*) (Refstie et al., 2006), ปลา Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) (Hunt et al., 2019), ปลา hybrid surubins (*Pseudoplatystoma* sp.) (Mourino et al., 2012), great sturgeon (*Huso huso*) (Ahmdifar et al., 2011), ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) (Ibrahem et al., 2010; Zhou et al., 2020), ปลา gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) (Cerezuela et al., 2012), Carp (*Cyprinus carpio*) (Mousavi et al., 2016) และการเสริมพรีไบโอติก galactooligosaccharide (GOS), mannanoligosaccharide (MOS) และ β -glucan ในอาหารปลาสวาย (*Pangasianodon hypophthalmus*) (Sutriana et al., 2021), การเสริมแก่นตะวันในอาหารปลานิล (Tientam et al., 2015), การเสริมแก่นตะวัน และ *Lactobacillus plantarum* ในอาหารปลา *Pangasius bocourti* ซึ่งพบว่าการเสริมแก่นตะวันปริมาณ 5 g/kg ร่วมกับ 10^8 cfu/g ของ *L. plantarum* เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของปลา (Van Doan et al., 2015) ทั้งนี้ยังไม่พบรายงานการเสริมแก่นตะวันในอาหารปลาสวายวัยอ่อน

ปลาสวาย (Striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*) เป็นปลาน้ำจืดขนาดใหญ่ซึ่งพบเห็นอยู่ทั่วไปในประเทศไทย นิยมเลี้ยงทั้งในบ่อและกระชังเนื่องจากปลาสวายเจริญเติบโตเร็วมีความต้านทานต่อโรคสูง และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำได้ดี ปลาสวายมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อปลาแช่แข็ง (frozen fillet) เนื่องจากเนื้อปลามีสีขาวเป็นที่นิยมของตลาดและมีความต้องการสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี ค.ศ. 2020 มีผลผลิตปลาสวายจากทั่วโลกจำนวน 2,520,400 ตัน คิดเป็น 5.1 เปอร์เซ็นต์ จากผลผลิตสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงทั่วโลก (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022) ในประเทศไทยมีผลผลิตปลาสวายจากการเพาะเลี้ยง 9,600 ตัน หรือ 2.1 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตสัตว์น้ำจืดจากการเพาะเลี้ยง คิดเป็นมูลค่า 276.65 ล้านบาท (Department of Fisheries, 2022) ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมผงแก่นตะวันในอาหารปลาสวายวัยอ่อน ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต เอนไซม์ย่อยอาหาร ชีวเคมีในเลือด และจุลพยาธิวิทยาของตับและลำไส้ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการเลี้ยงปลาสวายต่อไป

วิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design) แบ่งชุดทดลองออกเป็น 5 ชุดทดลอง แต่ละชุดทดลองมี 3 ซ้ำ คือ การเลี้ยงปลาสาวยด้วยอาหารเสริมผงแก่นตะวัน 0 เปอร์เซ็นต์ (JA0.0, กลุ่มควบคุม), 0.5 เปอร์เซ็นต์ (JA0.5), 1.0 เปอร์เซ็นต์ (JA1.0), 1.5 เปอร์เซ็นต์ (JA1.5) และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ (JA2.0)

การเตรียมแก่นตะวันและอาหารทดลอง

นำแก่นตะวันสายพันธุ์ 50-4 จากแปลงทดลอง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ มาล้างทำความสะอาด แยกเฉพาะส่วนหัวมาหั่นให้มีความหนา 3-5 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำไปอบเพื่อลดปริมาณความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งมีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ นำมาบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนให้มีขนาดอนุภาคไม่เกิน 500 ไมโครเมตร จากนั้นวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงแก่นตะวัน (Association of Official Analytical Chemists, 2005) ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Chemical composition of Jerusalem artichoke powder (% dry weight basis)

Chemical composition	% dry weight basis
Crude protein	3.11
Crude fat	1.25
Crude fiber	3.78
Ash	1.05
Moisture	9.28
Values by calculation	
Nitrogen free extracts ^a (%)	81.53
Digestible energy ^b (kcal/100g)	315.97

^a Nitrogen-free extract = 100 – (%moisture + %crude protein + %crude lipid + %crude fiber + %ash)

^b Digestible energy (Kcal/100g) = (%protein x 3.5) + (%fat x 8.0) + (%NFE x 2.5)

ออกแบบสูตรอาหารทดลองจำนวน 5 สูตร ให้มีระดับโปรตีนในอาหารใกล้เคียงกัน (โปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์) โดยมีวัตถุดิบอาหารสัตว์ประกอบด้วย ปลาป่น, กากถั่วเหลือง, รำสกัดน้ำมัน, มันสำปะหลัง, ข้าวโพด, น้ำมันพืช, ไตแคลเซียมฟอสเฟต, วิตามินและแร่ธาตุพรีเม็กซ์, วิตามินซี และผงแก่นตะวัน นำวัตถุดิบมาบดละเอียด ซังน้ำหนัก และผสมผงแก่นตะวันตามชุดการทดลองดังแสดงใน Table 2 จากนั้นผสมน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นและอัดขึ้นรูปอาหารปลาเม็ดลอยน้ำหนัก 2-3 มิลลิเมตร อบแห้งเม็ดอาหารด้วยตู้อบลมร้อนจนกระทั่งอาหารมีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำอาหารทดลองมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (Association of Official Analytical Chemists, 2005) ดังแสดงใน Table 2 และเก็บอาหารทดลองในถุงปิดมิดชิดเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

Table 2 Formulation and chemical composition of the experimental diets

Raw material (%)	Experimental diets				
	JA0.0	JA0.5	JA1.0	JA1.5	JA2.0
Fish meal	20	20	20	20	20
Soybean meal	38	38	38	38	38
Corn meal	10	10	10	10	10
Rice bran	16	16	16	16	16
Cassava	10	9.5	9	8.5	8
Jerusalem artichoke powder	0	0.5	1	1.5	2
Soya oil	3	3	3	3	3
Vitamin C	1	1	1	1	1
Di-calcium phosphate	1	1	1	1	1
Vitamin-mineral premixed ^a	1	1	1	1	1
Chemical composition by proximate analysis (% dry weight basis)					
Crude protein	32.08	32.22	32.72	32.04	32.45
Crude fat	4.49	4.58	4.62	4.58	4.60
Crude fiber	5.74	5.63	5.61	5.70	5.57
Ash	8.96	9.03	9.12	8.73	8.85
Moisture	9.65	9.12	9.22	9.46	9.53
Values by calculation					
Nitrogen free extracts ^b (%)	39.08	39.42	38.71	39.49	39.00
Digestible energy ^c (kcal/100g)	246.35	258.42	248.72	247.97	248.34

^a Vitamin premix provided per kg of diet: VA 12,000,000 IU; VD 2,000,000 IU; VE 6000 IU; VK 2000 mg; VB1 800 mg; VB2 2500 mg; VB6 800 mg; VB12 10 mg. Mineral provided per kg of diet: Mn 18 mg; Mg 200 mg; Co 0.1 mg; I 0.25 mg; Fe 140 mg; Cu 2.5 mg; Zn 65 mg; Se 0.2 mg.

^b Nitrogen-free extract = 100 – (moisture + crude protein + crude lipid + crude fiber + ash)

^c Digestible energy (Kcal/100g) = (%protein × 3.5) + (%fat × 8.0) + (%NFE × 2.5)

สภาวะการเลี้ยงสัตว์ทดลอง

สุ่มลูกพันธุ์ปลาสายจำนวน 750 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 4.24±0.10 กรัมต่อตัว ความยาวเฉลี่ย 8.96±1.25 เซนติเมตร ต่อตัว จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ นำมาเลี้ยงในกระชังขนาด 1x1x1 เมตร ที่แขวนในบ่อซีเมนต์ปริมาตรน้ำ 30 ตัน ที่ความหนาแน่น 50 ตัวต่อกระชัง และเติมอากาศภายในกระชังตลอดการทดลอง ให้อาหารทดลองในอัตรา 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวปลา วันละ 3 มื้อ เวลา 8.00 น. 12.00 น. และ 16.00 น. โดยทำการปรับปริมาณอาหารทดลองทุก ๆ 2 สัปดาห์ และทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

การจัดการคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลอง ทำการดูดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำปริมาตร 20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำในบ่อทุกสัปดาห์ และตรวจวัดคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลอง ซึ่งมีค่าอุณหภูมิน้ำอยู่ระหว่าง 27.5-28.2°C, ค่า pH อยู่ในช่วง 7.3-8.0, ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 4.86-5.22 mg/L และค่าแอมโมเนียรวมอยู่ระหว่าง 0.01-0.02 mg/L โดยขั้นตอนการทดลองได้ดำเนินการตามแนวทางการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ที่กำหนดโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) (เลขที่ U1-05537-2559)

การเก็บข้อมูล

การเจริญเติบโต

บันทึกน้ำหนักปลาสายเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง โดยสุ่มปลาสายกระชังละ 10 ตัว นับจำนวนปลาที่เหลือ และจดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ นำข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณการเจริญเติบโต ดังนี้ น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (Final weight; กรัม), อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (Average daily growth; กรัม/ตัว/วัน), น้ำหนักที่เพิ่ม (Weight gain; กรัม/ตัว), อัตรา

การเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate, %/วัน), อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio), อัตรารอด (Survival rate; %), ค่าดัชนีตับ (Hepatosomatic index; %) และ ค่าดัชนีอวัยวะภายใน (Visceral somatic index; %)

ชีวเคมีในเลือด

สุ่มตัวอย่างปลาหน่วยการทดลองละ 5 ตัว ทำให้สลบด้วยการแช่ใน clove oil ความเข้มข้น 30 ส่วนในล้านส่วน นำมาเจาะเลือดที่ caudal vein บริเวณโคนหางด้วยกระบอกฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร และหว่านเข็ม 24G ที่ไม่เคลือบด้วย (ethylenediaminetetraacetic acid: EDTA) ทิ้งให้เลือดแข็งตัวในหลอดเก็บตัวอย่าง และนำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อแยกเก็บตัวอย่างซีรัม แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าชีวเคมีในเลือด ดังนี้ ค่าโปรตีนในเลือด (Total Protein) ตามวิธี Lowry's method (Lowry et al., 1951) และค่าอิมมูโนโกลบูลิน (Total Immunoglobulin) ตามวิธีการของ Siwicki et al. (1994)

เอนไซม์ย่อยอาหาร

เก็บตัวอย่างตับและลำไส้ ของปลาสายจำนวน 5 ตัวต่อหน่วยการทดลอง หลังจากให้อาหารเป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง โดยชั่งน้ำหนักตับและลำไส้ และนำตัวอย่างแต่ละส่วนมาบดให้ละเอียดใน Tris-HCl buffer ความเข้มข้น 50 mM pH 7.5 โดยใช้ homogenizer ซึ่งกำหนดสัดส่วนของน้ำหนักตัวอย่างต่อ Tris- HCl buffer เป็น 1:3 (w/v) จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ที่ 4 องศาเซลเซียส เก็บของเหลวส่วนใสไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหาร โดยวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเอส โดยใช้ casein เป็นสับสเตรต ตามวิธีของ Pan et al. (2005) วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส โดยใช้ starch solution 1% เป็นสับสเตรต ตามวิธีของ Bernfeld (1995) และ วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสโดยใช้ p - nitrophenyl- palmitate (pNPP) เป็นสับสเตรต ตามวิธีของ Markweg et al. (1995)

จุลพยาธิวิทยาของตับและลำไส้

นำปลาสายจำนวน 5 ตัวต่อหน่วยการทดลอง มาสลบด้วยวิธีการแช่น้ำแข็ง (Rapid cooling) (Wilson et al., 2009) เก็บตัวอย่างตับและลำไส้ ความยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร มารักษาสภาพเนื้อเยื่อในสารละลาย buffer formalin 10 เปอร์เซ็นต์ นำตัวอย่างเนื้อเยื่อมาตัดแผ่นบาง (Section) ที่ความหนา 4 ไมโครเมตร แล้วนำมาย้อมสีฮีมาทอกซิลินและอีโอซิน (Harris's hematoxylin and eosin; H&E) (Peng et al., 2013) จากนั้นนำสไลด์เนื้อเยื่อที่ได้มาศึกษาจุลพยาธิวิทยาของตับและลำไส้ และความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ บันทึกภาพโดยกล้องถ่ายภาพ (Nikon Eclipse Ci; CCD camera) และโปรแกรม NIS-elements D

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการทดลองแต่ละชุดทดลอง ด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร คุณภาพซาก และอัตราการรอดของปลาสายที่ได้รับอาหารเสริมผงแก่นตะวัน ที่ระดับ 0% (JA0; กลุ่มควบคุม), 0.5% (JA0.5), 1.0% (JA1.0), 1.5% (JA1.5) และ 2.0% (JA2.0) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (Table 3) พบว่า ปลาสายที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน สูงที่สุด ($p < 0.05$) รองลงมาคือปลาสายที่ได้รับอาหาร JA1.0 และ JA1.5 ซึ่งมีค่าการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ส่วนปลาสายที่ได้รับอาหาร JA0.5 และกลุ่มที่ไม่มีการเสริมผงแก่นตะวัน JA0.0 มีค่าการเจริญเติบโตต่ำที่สุด อีกทั้งปลาสายที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด ($p < 0.05$) รองลงมาคือปลาสายที่ได้รับอาหาร JA1.0, JA1.5 และ JA0.0 ในขณะที่ปลาสายที่ได้รับอาหาร JA0.5 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำที่สุด ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาสายหลังการทดลอง พบว่า ปลาสายที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีค่าอัตราการแลกเนื้อต่ำที่สุด ($p < 0.05$) มีค่า 2.97 ± 0.03 ในขณะที่ปลาสายที่ได้รับอาหาร JA1.0 และ JA1.5 มีค่าอัตราการแลกเนื้อไม่ต่างกัน มีค่า 3.70 ± 0.09 และ 3.72 ± 0.13 ตามลำดับ และปลาสายที่ได้รับอาหาร JA0.0 และ JA0.5 มีค่าอัตราการแลกเนื้อสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 3.93 ± 0.13 และ 4.10 ± 0.14 ตามลำดับ หลังสิ้นสุดการทดลองพบว่าการเสริมผงแก่นตะวันในอาหารไม่ส่งผลต่ออัตราการรอดตายของปลาสาย โดยมีอัตราการรอดตายอยู่ระหว่าง 94.27-98.10 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาคุณภาพซากของปลาสาย พบว่า ปลาสาย

ที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีค่าดัชนีตับสูงที่สุด ($p<0.05$) มีค่าเท่ากับ 3.29 ± 0.20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA1.0 มีค่าดัชนีอวัยวะภายในสูงที่สุด ($p<0.05$) มีค่าเท่ากับ 8.39 ± 0.35 เปอร์เซ็นต์

Table 3 Growth performance, feed utilization and carcass composition of striped catfish fed diet supplemented Jerusalem artichoke for 8 weeks

Performance	Experimental diets					P-Value
	JA0.0	JA0.5	JA1.0	JA1.5	JA2.0	
Initial weight (g/fish)	4.07±0.06	4.30±0.10	4.33±0.15	4.30±0.10	4.20±0.10	0.064
Final weight (g/fish)	17.63±0.21 ^a	17.57±0.31 ^a	18.93±0.35 ^b	19.23±0.31 ^b	23.23±0.38 ^c	<0.001
ADG (g/fish/day)	0.24±0.00 ^a	0.24±0.00 ^a	0.26±0.01 ^b	0.27±0.01 ^b	0.34±0.01 ^c	<0.001
WG (g/fish)	13.57±0.23 ^a	13.27±0.21 ^a	14.60±0.35 ^b	14.93±0.38 ^b	19.03±0.31 ^c	<0.001
SGR (%/day)	2.62±0.04 ^b	2.52±0.01 ^a	2.63±0.06 ^b	2.67±0.06 ^b	3.05±0.02 ^c	<0.001
FCR	3.93±0.13 ^c	4.10±0.14 ^c	3.70±0.09 ^b	3.72±0.13 ^b	2.97±0.03 ^a	<0.001
SR (%)	94.27±2.85	98.10±3.29	96.17±1.62	97.13±2.85	96.17±1.62	0.481
HIS (%)	2.43±0.27 ^a	2.69±0.21 ^a	2.41±0.18 ^a	2.85±0.46 ^{ab}	3.29±0.20 ^b	0.019
VSI (%)	6.55±0.73 ^a	7.19±0.50 ^{ab}	8.39±0.35 ^c	7.69±0.61 ^{bc}	7.92±0.12 ^{bc}	0.012

mean ± SD in each row superscripted with different lowercase letters are significant ($p<0.05$) differences.

ADG = Average daily growth, WG = Weight gain, SGR = Specific growth rate, FCR = Feed conversion ratio, SR = Survival rate, HIS = Hepatosomatic index, VSI = Visceral somatic index, JA0.0 = Diet with 0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA0.5 = Diet with 0.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.0 = Diet with 1.0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.5 = Diet with 1.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA2.0 = Diet with 2.0% supplemented Jerusalem artichoke powder.

การศึกษาค่าชีวเคมีในเลือด แสดงใน Table 4 พบว่า ปลาสาวยมีปริมาณโปรตีนในซีรัมแปรผันตามปริมาณการเสริมผงแก่นตะวันในอาหาร โดยปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีปริมาณโปรตีนในซีรัมสูงที่สุด ($p<0.05$) มีค่าเท่ากับ 0.83 ± 0.01 กรัมต่อเดซิลิตร และปลาสาวยที่ได้รับอาหารชุด JA0.0 มีปริมาณโปรตีนในซีรัม ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.63 ± 0.01 กรัมต่อเดซิลิตร เช่นเดียวกับปริมาณอินูโนโกลบูลินของปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีค่าสูงที่สุด ($p<0.05$) แต่มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติจากปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA1.5 โดยมีค่าเท่ากับ 0.50 ± 0.00 และ 0.49 ± 0.02 กรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ปลาสาวยที่ได้รับอาหารชุดควบคุม (JA0.0) มีปริมาณอินูโนโกลบูลินต่ำที่สุด เท่ากับ 0.33 ± 0.01 กรัมต่อเดซิลิตร

การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหารที่สกัดได้จากตับและลำไส้ของปลาสาวย (Table 5) พบว่า ปลาสาวยที่ได้รับอาหารเสริมผงแก่นตะวันมีกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหารสูงกว่าปลาสาวยที่ได้รับอาหารชุดควบคุม โดยปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA1.5 มีค่ากิจกรรมโปรติเอสในตับสูงที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่ปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสและไลเปสในตับสูงที่สุด ($p<0.05$) และกิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสในลำไส้ของปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA1.0 มีค่าสูงที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่กิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสของปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA0.5 และ JA1.5 มีค่าสูงที่สุด ($p<0.05$) และกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสในลำไส้ของปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA1.5 และ JA2.0 มีค่าสูงที่สุด ($p<0.05$)

การศึกษากิจกรรมของตับและลำไส้ของปลาสาวยที่ได้รับอาหารเสริมผงแก่นตะวัน พบว่า แก่นตะวันไม่ส่งผลด้านลบต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของตับ (Figure 1) ในขณะที่การเสริมผงแก่นตะวันในอาหารส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของลำไส้ โดยพบว่า ปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA1.5 มีความยาวของวิลโลสในลำไส้สูงที่สุด ($p<0.05$) และปลาสาวยที่ได้รับอาหาร JA2.0 มีความกว้างของวิลโลสสูงที่สุด ($p<0.05$) ดังแสดงใน Figure 2 และ Table 6

Table 4 Total Protein and immunoglobulin of striped catfish fed diet supplemented Jerusalem artichoke 8 weeks

Performance	Experimental diets					P-Value
	JA0.0	JA0.5	JA1.0	JA1.5	JA2.0	
Total Protein (g/dl)	0.63±0.01 ^a	0.68±0.01 ^b	0.75±0.01 ^c	0.79±0.01 ^d	0.83±0.01 ^e	<0.001
Total Immunoglobulin (g/dl)	0.33±0.01 ^a	0.37±0.02 ^b	0.45±0.00 ^c	0.49±0.02 ^d	0.50±0.00 ^d	<0.001

mean ± SD in each row superscripted with different lowercase letters are significant ($p < 0.05$) differences.

JA0.0 = Diet with 0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA0.5= Diet with 0.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.0 = Diet with 1.0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.5 = Diet with 1.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA2.0 = Diet with 2.0% supplemented Jerusalem artichoke powder.

Table 5 Digestive Enzyme activities of striped catfish fed diet supplemented Jerusalem artichoke 8 weeks

Enzyme activities (U/mgProtein)	Experimental diets					P-value
	JA0.0	JA0.5	JA1.0	JA1.5	JA2.0	
Liver						
Protease	0.034±0.01 ^a	0.225±0.05 ^b	0.203±0.05 ^b	0.282±0.02 ^c	0.278±0.06 ^c	<0.001
Amylase	0.123±0.02 ^a	0.216±0.01 ^b	0.219±0.02 ^b	0.238±0.01 ^b	0.284±0.01 ^c	<0.001
Lipase	337.93±12.41 ^a	404.07±17.88 ^a	551.67±46.67 ^b	635.70±32.35 ^b	635.70±61.22 ^c	<0.001
Intestine						
Protease	0.363±0.01 ^a	0.440±0.11 ^{ab}	0.533±0.01 ^b	0.467±0.01 ^b	0.451±0.01 ^{ab}	0.029
Amylase	0.243±0.01 ^b	0.300±0.01 ^d	0.254±0.02 ^{bc}	0.277±0.02 ^{cd}	0.193±0.01 ^a	<0.001
Lipase	468.13±44.44 ^a	652.13±46.09 ^b	660.80±99.88 ^b	722.53±42.84 ^c	810.17±14.20 ^c	<0.001

mean ± SD in each row superscripted with different lowercase letters are significant ($p < 0.05$) differences.

JA0.0 = Diet with 0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA0.5= Diet with 0.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.0 = Diet with 1.0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.5 = Diet with 1.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA2.0 = Diet with 2.0% supplemented Jerusalem artichoke powder.

Table 6 Intestinal histopathology of striped catfish fed diet supplemented Jerusalem artichoke 8 weeks

Intestinal micromorphology (μm)	Experimental diets					P-value
	JA0.0	JA0.5	JA1.0	JA1.5	JA2.0	
Villi height	1802.4 \pm 248.2 ^a	1845.0 \pm 195.6 ^a	2521.0 \pm 207.8 ^b	3188.4 \pm 151.6 ^c	2880.1 \pm 78.8 ^c	<0.001
Villi width	522.9 \pm 37.4 ^{ab}	497.6 \pm 37.0 ^a	686.4 \pm 108.4 ^c	618.8 \pm 27.5 ^{bc}	725.2 \pm 60.8 ^c	0.004

mean \pm SD in each row superscripted with different lowercase letters are significant ($p < 0.05$) differences.

JA0.0 = Diet with 0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA0.5= Diet with 0.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.0 = Diet with 1.0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.5 = Diet with 1.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA2.0 = Diet with 2.0% supplemented Jerusalem artichoke powder.

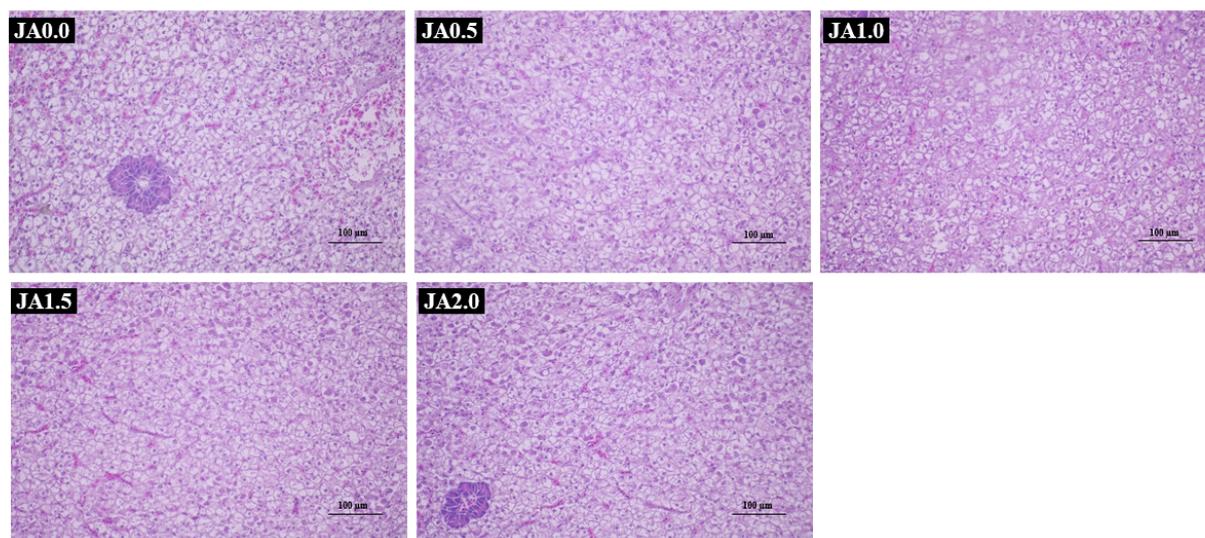


Figure 1 Histopathological changes in liver of striped catfish fed diet supplemented Jerusalem artichoke (100x). JA0.0 = Diet with 0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA0.5= Diet with 0.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.0 = Diet with 1.0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.5 = Diet with 1.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA2.0 = Diet with 2.0% supplemented Jerusalem artichoke powder.

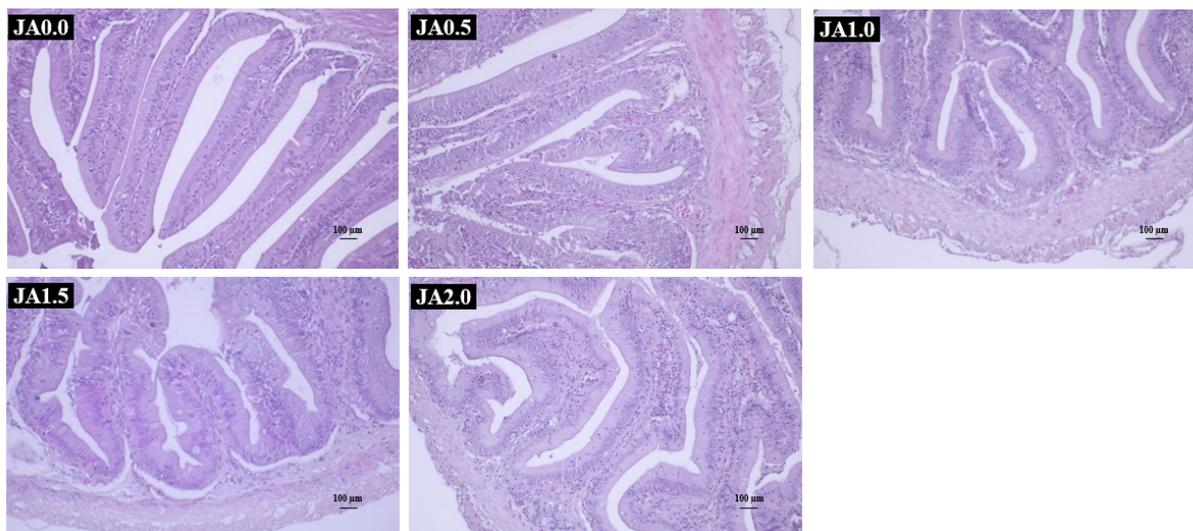


Figure 2 Histopathological changes in Intestine of striped catfish fed diet supplemented Jerusalem artichoke (100x). JA0.0 = Diet with 0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA0.5= Diet with 0.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.0 = Diet with 1.0% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA1.5 = Diet with 1.5% supplemented Jerusalem artichoke powder, JA2.0 = Diet with 2.0% supplemented Jerusalem artichoke powder.

ปลาสาวยที่ได้รับอาหารเสริมแก่่นตะวัน 2 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด รองลงมาคือปลาสาวยที่ได้รับอาหารเสริมแก่่นตะวันที่ระดับ 1.5, 1.0, 0.5 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม ตามลำดับ การเสริมแก่่นตะวันในอาหารไม่ส่งผลต่ออัตราการรอดตายของปลาสาวยในทุกกลุ่มการทดลอง โดย Tanjor et al. (2012) รายงานว่า ส่วนหัวของแก่่นตะวันประกอบไปด้วย อินูลิน (Inulin) ประมาณ 14-20 เปอร์เซ็นต์ และ Fructo-oligosaccharide (FOS) 3-6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้มีคุณสมบัติเป็นสารพรีไบโอติก (Prebiotic) ที่จะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์ แต่จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ เช่น Bifidobacteria และ Lactobacillus เป็นต้น (Spiller, 2001) จึงถือเป็นการเพิ่มอาหารของจุลินทรีย์ชนิดดีและลดจำนวนจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ดีหรือจุลินทรีย์ก่อโรคในทางเดินอาหารได้ (Pathogenic organism) จากงานวิจัยนี้ทำให้ทำให้ทราบว่าแก่่นตะวันสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของปลาสาวยได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการเสริมแก่่นตะวันและอินูลินในอาหารปลานิล ปลา Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) และ ปลา Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) (Tientgam et al., 2015; Ibrahim et al., 2010; Ortiz et al., 2013) นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริม FOS และอินูลินในอาหารสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหารในลำไส้ได้ดี และพบว่าการเสริมสารดังกล่าวมีผลทำให้ความยาวของ villi ในลำไส้ของสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น (Blottiere et al., 2003) เช่นเดียวกับรายงานของ Wu et al. (2013) ซึ่งพบว่าการเสริม FOS ในปลา Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) ส่งผลให้ความยาวของ villi ในลำไส้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับ FOS ในอาหารเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเสริมอินูลินในปริมาณสูงเกินไปส่งผลให้จำนวน microvillus ลดลงและมีผลต้านลบลต่อโครงสร้างของลำไส้ ซึ่งทำให้การดูดซึมอาหารลดลง เช่น การเสริมอินูลิน 150 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ในอาหารปลา Arctic char (*Salvelinus alpinus*) (Olsen et al., 2001) และ 10.0 กรัมต่อกิโลกรัมในอาหารปลา gilthead sea bream (*Sparus aurata*) (Cerezuela et al., 2013) โดย Caspary (1992) รายงานว่า villi ในลำไส้ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซึมสารอาหารเพิ่มขึ้น จึงสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการใช้อาหารของสัตว์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่าการเสริมแก่่นตะวันทำให้ความยาวของ villi เพิ่มขึ้น และยังสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหารในตับและลำไส้ของปลาสาวย และสอดคล้องกับการเสริมพรีไบโอติกชนิดอินูลินในปลา Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) ที่ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ทริปซิน โลเปส และอะไมเลสเพิ่มสูงขึ้น (Hunt et al., 2019) นอกจากนี้พรีไบโอติกยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบย่อยอาหาร โดยการควบคุมความหนืดของลำไส้ (Gut viscosity) อีกด้วย (Ganguly et al., 2010) อย่างไรก็ตามการเสริมอินูลินไม่ส่งผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส โลเปส และอะไมเลส ในปลา common carp (*Cyprinus carpio*) (Eshaghzadeh et al., 2014) ทั้งนี้จึงสรุปได้ว่าการเสริมแก่่นตะวันซึ่งมีองค์ประกอบของสารพรีไบโอติกในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหาร

ของปลาได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริมสารพรีไบโอติกชนิดอินนูลินในอาหารยังกระตุ้นการดูดซึมแคลเซียม และเพิ่มปริมาณแคลเซียมในโครงสร้างกระดูกของปลาได้ (Ortiz et al., 2013) และทำให้การสะสมของแมกนีเซียม แคลเซียม และเหล็กในเลือดปลาเพิ่มสูงขึ้น (Tiengtam et al., 2015) และส่งผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ในลำไส้ของปลา (Kolida et al., 2002; Manning and Gibson, 2004; Hoseinifar et al., 2014; Wu et al., 2013; Soleimani et al., 2012) อย่างไรก็ตามการเสริมแกนตะวันและอินนูลินไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลา weaning turbot (*Psetta maxima*), Atlantic salmon (*Salmo salar*) และ hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *Morone saxatilis*) (Mahious et al., 2006a; Bakke-McKellep et al., 2007; Burr et al., 2010)

การศึกษานี้ยังพบว่าแกนตะวันยังสามารถปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาสวยได้เป็นอย่างดี โดยปลาสวยที่ได้รับอาหารเสริมแกนตะวัน 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด ผลการศึกษานี้เป็นไปในทางเดียวกับการทดลองในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) (Tiengtam et al., 2015) และปลา Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) (Mahious et al., 2006b) อีกทั้งการเสริมแกนตะวันในอาหารปลาสวยยังมีผลทำให้ค่าดัชนีตับ และค่าดัชนีอวัยวะภายในเพิ่มสูงขึ้น โดย Shoemaker et al. (2003) รายงานว่า ตับของปลาหมึกมีการทำงานและเมตาบอลิซึมที่สำคัญทางด้านโภชนาการและระบบภูมิคุ้มกัน โดยค่าดัชนีตับของปลาจะลดลงเมื่อปลาอยู่ในสภาวะเครียด เกิดโรค หรืออดอาหาร ในภาวะที่ปลาอดอาหารหรือไม่ได้รับพลังงานจากภายนอก ตับจะผลิตกลูโคสเพื่อเป็นพลังงานให้ร่างกายโดยเฉพาะพลังงานที่สำคัญสำหรับสมองและเม็ดเลือดแดงด้วยการสลายไกลโคเจน (glycolysis) (Boonanuntanasarn, 2012) ดังนั้นการเสริมแกนตะวันในอาหารสามารถกระตุ้นการทำงานของตับให้ดีขึ้น จึงเป็นข้อบ่งชี้ถึงสุขภาพของปลาอีกทางหนึ่ง สอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณโปรตีนในซีรัม (Total protein) ของปลาสวย โดยปลาสวยที่ได้รับอาหารเสริมแกนตะวัน 2 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีนในเลือดสูงที่สุด รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารเสริมแกนตะวันที่ระดับ 1.5, 1.0, 0.5 และปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม ตามลำดับ เช่นเดียวกับการทดลองในปลานิล (Tiengtam et al., 2015) และปลา sturgeon (Reza et al., 2009) โดย Sala-Rabanal et al. (2003) รายงานว่าปริมาณโปรตีนในเลือดของปลาเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเครียด โดยระดับโปรตีนในเลือดจะลดต่ำลงเมื่อปลาอยู่ในสภาวะเครียดซึ่งอาจเนื่องมาจากการติดเชื้อโรค หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม และจากการศึกษาปริมาณอิมมูโนโกลบูลินในเลือดของปลาสวยพบว่าปลาสวยที่ได้รับอาหารเสริมแกนตะวัน 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอิมมูโนโกลบูลินสูงที่สุด สอดคล้องกับการทดลองของ Tiengtam et al. (2015) ซึ่งรายงานว่ ปริมาณอิมมูโนโกลบูลินของปลานิลเพิ่มสูงขึ้นในกลุ่มที่ได้อาหารเสริมแกนตะวัน โดยปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมแกนตะวันผง 10 กรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณอิมมูโนโกลบูลินสูงที่สุด อย่างไรก็ตามการเสริมแกนตะวันไม่ส่งผลต่อปริมาณอิมมูโนโกลบูลินในปลา hybrid surubim (Mourino et al., 2012) ซึ่งปริมาณอิมมูโนโกลบูลินนี้สามารถบ่งชี้ถึงความสามารถในการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะผ่านสารน้ำหรือสารคัดหลั่งต่าง ๆ ในสัตว์มีกระดูกสันหลัง โดยมีหน้าที่จดจำเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมได้อย่างจำเพาะเจาะจง (Chitmanat, 2015) นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริมสาร FOS และอินนูลิน ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเลือด เช่น ปริมาณฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต ปริมาณเม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดขาว (Ibrahem et al., 2010; Mourino et al., 2012; Reza et al., 2009)

สรุปผลการศึกษา

การเสริมผงแกนตะวัน 2 เปอร์เซ็นต์ในอาหารปลาสวยสามารถกระตุ้นอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงที่สุด การเสริมผงแกนตะวัน 1.5-2 เปอร์เซ็นต์ สามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของปลา และส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร ในขณะที่การเสริมผงแกนตะวันในอาหารปลาไม่ส่งผลต่ออัตราการรอดตายเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริมผงแกนตะวัน อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโตของปลาสวยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมแกนตะวันในอาหาร จึงควรศึกษาการเพิ่มปริมาณแกนตะวันในอาหารที่สูงขึ้นเพื่อให้ทราบระดับการเสริมแกนตะวันที่เหมาะสมอย่างแท้จริง และควรวิเคราะห์ปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นผลเกี่ยวข้องกับการเสริมแกนตะวันในอาหารปลา เช่น ปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของปลา เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ของแกนตะวันในการเลี้ยงปลาอย่างแพร่หลายต่อไป

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ตามสัญญาเลขที่ SRN2563OTH04

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม สมมุติฐาน การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบ กับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ศุภลักษณ์ เกตุตากแดด. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: กฤติมา กษมาวุฒิ, สุรียา อุดด้วง. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: สุขสันต์ ยกดี, ชนะพล สวัสดิ์พูน. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครูภัณฑ์: รัตน์จิรา รัตน์ประเสริฐ.

เอกสารอ้างอิง

- Ahmdifar, E., Akrami, R., Ghelichi, A., & Zarejabad, A. M. (2011). Effects of different dietary prebiotic inulin levels on blood serum enzymes, hematologic, and biochemical parameters of great sturgeon (*Huso huso*) juveniles. *Comparative Clinical Pathology*, 20(1), 447-451.
- Association of Official Analytical Chemists. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. AOAC International Suite 500.
- Bakke-McKellep, A. M., Penn, M. H., Salas, P. M., Refstie, S., Sperstad, S., Landsverk, T., Ringo, E., & Kroghdahl, A. (2007). Effects of dietary soybean meal, inulin and oxytetracycline on intestinal microbiota and epithelial cell stress, apoptosis and proliferation in the teleost Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *British Journal of Nutrition*, 97(4), 699–713.
- Bernfeld, P. (1955). Amylases, α and β . In Colowick, S. P., & Kaplan, N. O. (Ed.), *Method in Enzymology*, pp. 149-158. Academic Press.
- Blottiere, H. M., Buecher, B., Galmiche, J. P., & Cherbut, C. (2003). Molecular analysis of the effect of short-chain fatty acids on intestinal cell proliferation. *Proceedings of The Nutrition Society*, 62(1), 101–106.
- Boonanuntanasarn, S. (2012). *Effects of Food Deprivation on Physiological Adaptation in Sand goby and Study on Hepatic Gene Expression in Fed Fish Comparing to Food-deprived Fish*. Retrieved from: <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/5227/1/Fulltext.pdf>. (in Thai).
- Burr, G., Hume, M., Ricke, S., Nisbet, D., & Gatlin, D. (2010). In vitro and in vivo evaluation of the prebiotics GroBiotic®-A, inulin, mannanoligosaccharide, and galactooligosaccharide on the digestive microbiota and performance of hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *Morone saxatilis*). *Microbial Ecology*, 59(1), 187-198.
- Caspary, W. F. (1992). Physiology and pathophysiology of intestinal absorption. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 55(Suppl 1), 299S–308S.
- Cerezuela, R., Guardiola, F. A., Meseguer, J., & Esteban, M. A. (2012). Increases in immune parameters by inulin and *Bacillus subtilis* dietary administration to gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) did not correlate with disease resistance to *Photobacterium damsela*. *Fish and Shellfish Immunology*, 32(6), 1032-1040.
- Cerezuela, R., Meseguer, J., & Esteban, M. A. (2013). Effects of dietary inulin, *Bacillus subtilis* and microalgae on intestinal gene expression in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Fish & Shellfish Immunology*, 34(3), 843-848.
- Chitmanat, C. (2015). Passive immunity from broodstock fish. *Chiang Mai Veterinary Journal*, 13(2), 93-101. (in Thai)
- Department of Fisheries. (2022). *Fisheries Statistics of Thailand 2021*. No.14/2022. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).
- Eshaghzadeh, H., Hoseinifar, S. H., Vahabzadeh, H., & Ringo, E. (2014). The effect of dietary inulin on growth performance survival and digestive enzyme activities of common carp (*Cyprinus carpio*) fry. *Aquaculture Nutrition*, 21(2), 242-246. <https://doi.org/10.1111/anu.12155>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. Retrieved from: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc0461en>.
- Ganguly, S., Paul, I., & Mukhopadhyay, S. K. (2010). Application and effectiveness of immunostimulants, probiotics, and prebiotics in aquaculture: a review. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 62(3), 130-138.
- Hoseinifar, S. H., Soleimani, N., & Ringø, E. (2014). Effects of dietary fructo-oligosaccharide supplementation on the growth performance, haematoimmunological parameters, gut microbiota and stress resistance of common carp (*Cyprinus carpio*) fry. *British Journal of Nutrition*, 112(8), 1296-1302.

- Hunt, A. O., Cetinkaya, M., Yilmaz, F. O., Yildirim, M., Berkoz, M., & Yalin, S. (2019). Effect of dietary supplementation of inulin on growth performance, digestion enzyme activities and antioxidant status of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, 7(1), 1344-1353.
- Ibrahem, M. D., Fathi, M., Mesalhy, S., & Abd, E. A. (2010). Effect of dietary supplementation of inulin and vitamin C on the growth, hematology, innate immunity, and resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish and Shellfish Immunology**, 29(2), 241-246.
- Kolida, S., Tuohy, K., & Gibson, G. R. (2002). Prebiotic effects of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, 87(Suppl 2), S193–S197.
- Lowry, H. O., Rosebrough, J. N., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurements with the Folin phenol reagent. **Journal of Biological Chemistry**, 193(1), 265-275.
- Mahious, A. S., Gatesoupe, F. J., Hervi, M., Metailler, R., & Ollevier, F. (2006a). Effect of dietary inulin and oligosaccharides as prebiotics for weaning turbot, *Psetta maxima* (Linnaeus, C. 1758). **Aquaculture International**, 14(1), 219-229.
- Mahious, A. S., Van, L. J., & Ollevier, F. (2006b). Impact of the prebiotics, inulin and oligofructose on microbial fermentation in the spiral valve of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). In **Proceedings of the World Aquaculture Society Meeting**, pp. 564–565. World Aquaculture Society.
- Manning, T., & Gibson, G. R. (2004). Prebiotics. **Best Practice and Research: Clinical Gastroenterology**, 18, 287–292.
- Markweg, H., Lang, M. S., & Wagner, F. (1995). Dodecanoic acid inhibition of lipase from *Acinetobacter* sp. OPA 55. **Enzyme and Microbial Technology**, 17, 512-516.
- Mourino, J. L. P., Vieira, N. F. D., Jatoba, A. B., Silva, B. C., Jesus, G. F. A., Seiffert, W. Q., & Martins, M. L. (2012). Effect of dietary supplementation of inulin and *W. cibaria* on hemato-immunological parameter of hybrid surubim (*Pseudoplatystoma* sp). **Aquaculture nutrition**, 18(1), 73-80.
- Mousavi, E., Mohammadiarzam, H., Mousavi, S. M., & Ghatrami, E. R. (2016). Effects of Inulin, savory and onion powders in diet of juveniles carp *Cyprinus carpio* (Linnaeus 1758) on gut micro flora, immune response and blood biochemical parameters. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 16(4), 831-838.
- Olsen, R. E., Myklebust, R., Kryvi, H., Mayhew, T. M., & Ringo, E. (2001). Damaging effect of dietary inulin on intestinal enterocytes in Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). **Aquaculture Research**, 32(1), 931-934.
- Ortiz, L. T., Rebole, A., Velasco, S., Rodriguez, M. L., Trevino, J., Tejedor, J. L., & Alzueta, C. (2013). Effects of inulin and fructooligosaccharides on growth performance, body chemical composition and intestinal microbiota of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Nutrition**, 19(1), 475-482.
- Pan, L. Q., Xiao, G. Q., Zhang, H. X., & Luan, Z. H. (2005). Effects of different dietary protein content on growth and protease activity of *Eriocheir sinensis* larvae. **Aquaculture**, 246(1-4), 313-319.
- Peng, M., Xu, W., Ai, Q., Mai, K., Liufu, Z., & Zhang, K. (2013). Effects of nucleotide supplementation on growth, immune responses and intestinal morphology in juvenile turbot fed diets with graded levels of soybean meal (*Scophthalmus maximus* L.). **Aquaculture**, 392-395(1), 51-58.
- Reza, A., Abdolmajid, H., Abbas, M., & Abdolmohammad, A. K. (2009). Effect of dietary prebiotic inulin on growth performance, intestinal microflora, body composition and hematological parameters of juvenile beluga, *Huso huso* (Linnaeus, 1758). **Journal of the World Aquaculture Society**, 40(6), 771-779.
- Refstie, S., Bakke-McKellep, A. M., Michael, H. P., Sundby, A., Shearer, K. D., & Krogdahl, A. (2006). Capacity for digestive hydrolysis and amino acid absorption in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with soybean meal or inulin with or without addition of antibiotics. **Aquaculture**, 261(1), 392–406.
- Sala-Rabanal, M., Sanchez, J., Ibarz, A., Fernandez-Borras, J., Blasco, J., & Gallardo, M. A. (2003). Effects of low temperature and fasting on hematology and plasma composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). **Fish Physiology and Biochemistry**, 29(2), 105-115.
- Shoemaker, C. A., Klesius, P. H., Lim, C., & Yildirim, M. (2003). Feed deprivation of channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), influences organosomatic indices, chemical composition and susceptibility to *Flavobacterium columnare*. **Journal of Fish Diseases**, 26(1), 553-561.
- Siwicki, A. K., Anderson, D. P., & Rumsey, G. L. (1994). Dietary intake of immunostimulants by rainbow trout affect non-specific immunity and protection against furunculosis. **Veterinary Immunology and Immunopathology**, 41(1-2), 125-139.
- Soleimani, N., Hoseinifar, S. H., Merrifield, D. L., Barati, M., & Abadi, Z. H. (2012). Dietary supplementation of fructooligosaccharide (FOS) improves the innate immune response, stress resistance, digestive enzyme activities and growth performance of Caspian roach (*Rutilus rutilus*) fry. **Fish and Shellfish Immunology**, 32(2), 316-321.
- Spiller, G. A. (2001). **CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition**. CRC Press.
- Sutriana, A., Akter, M. N., Hashim, R., & Nor, S. A. M. (2021). Effectiveness of single and combined use of selected dietary probiotic and prebiotics on growth and intestinal conditions of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*, Sauvage, 1978) juvenile. **Aquaculture International**, 29(1), 2769-2791.

- Tanjor, S., Judprasong, K., Chaito, C., & Jogloy, S. (2012). Inulin and fructooligosaccharides in different varieties of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **KKU Research Journal**, 17(1), 25-34. (in Thai).
- Tiengtam, N., Khempaka, S., Paengkoum, P., & Boonanuntasarn, S. (2015). Effects of inulin and Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) as prebiotic ingredients in the diet of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Animal Feed Science and Technology**, 207(1), 120-129.
- Van Doan, H., Doolgindachbaporn, S., & Suksri, A. (2015). Effect of *Lactobacillus plantarum* and Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) on growth performance, immunity and disease resistance of Pangasius catfish (*Pangasius bocourti*, Sauvage 1880). **Aquaculture Nutrition**, 22(2), 444-456.
- Wilson, J. M., Bunte, R. M., & Carty, A. J. (2009). Evaluation of rapid cooling and tricaine methanesulfonate (MS222) as methods of euthanasia in zebrafish (*Danio rerio*). **Journal of American Association for Laboratory Animal Science**, 48(6), 785-789.
- Wu, Y., Liu, W. B., Li, H. Y., Xu, W. N., He, J. X., Li, X. F., & Jiang, G. Z. (2013). Effects of dietary supplementation of fructooligosaccharide on growth performance, body composition, intestinal enzymes activities and histology of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, 19(1), 886-894.
- Zhou, L., Zhang, J., Yan, M., Tang, S., Wang, X., Qin, J.G., Chen, L., & Li, E. (2020). Inulin alleviates hypersaline-stress induced oxidative stress and dysbiosis of gut microbiota in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, 529(1), 735681. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735681>.

ผลของสารสกัดเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทดสอบ

Effects of Endophytic Actinomycetes Extracts on Seedling Growth of Tested Plants

กิติภทร์ ปราบแกะ¹, อภิรัฐ บัณฑิต¹, สิริชัย สาธุวิจารณ์², ภารดี ธรรมาภิชัย³ และยุพา จอมแก้ว^{1*}
Kitiphath Prabkae¹, Apirat Bundit¹, Sirichai Sathuwijarn², Paradee Thammapichai³ and Yupa Chromkaew^{1*}

Received date: 22 ก.ค. 67 Revised date: 28 ก.ย. 67 Accepted date: 16 ต.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.16.005>

บทคัดย่อ

เชื้อกลุ่มของแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดที่มีศักยภาพของสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติชนิดใหม่สำหรับการจัดการวัชพืช การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของสารสกัดแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ต่อการงอกและการเติบโตของพืชทดสอบ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างใบและรากของต้นส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งในอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และแยกเชื้อที่แยกได้จำนวน 7 ไอโซเลท นำไปใช้ในการทดลอง ผลการทดลองพบว่า สารสกัดแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์จากไอโซเลท TGsR-01-004, TGsR-01-005, TGsR-02-017, TGsR-02-018, TGsL-02-004, TGsL-04-028 และ TGcL-04-053 มีการยับยั้งอัตราการงอก ความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ใช้สารสกัด นอกจากนี้ สารสกัดส่วนเหนือตะกอนจากไอโซเลท TGsL-04-028 ที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นสามารถยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอมได้มากกว่าสารสกัดส่วนตะกอนเซลล์จากไอโซเลทเดียวกัน อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากไอโซเลทต่างชนิดกันมีการยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอมและกันจ้าวดอกใหญ่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อและพืชทดสอบ แสดงให้เห็นว่า แอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์มีผลทางอัลลิโพลาทที่ต่อการเติบโตของพืช และเป็นโอกาสค้นหาสารอัลลิโพลีโคคัลที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติป้องกันกำจัดวัชพืชชนิดใหม่ ดังนั้น แอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์จึงเป็นแหล่งกำเนิดของสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติชนิดใหม่สำหรับใช้เป็นกลยุทธ์ในการจัดการวัชพืชได้

คำสำคัญ: อัลลิโพลาทที่ แอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ สารสกัด ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ

Abstract

Endophytic actinomycetes are utilized as potential sources of novel natural products for exploitation in weed management. The present study aimed to investigate the allelopathic effects of endophytic actinomycetes extracts on germination and growth of test plants. Leaf and roots sample of tangerine tree in Fang District, Chiang Mai Province were randomly collected and isolated into seven isolates for the experiment. It was found that endophytic actinomycetes crude extract from isolate TGsR-01-004, TGsR-01-005, TGsR-02-017, TGsR-02-018, TGsL-02-004, TGsL-04-028, and TGcL-04-053 reduced the germination rate, shoot length and root length, as well as the fresh weight and dry weight of *Lactuca sativa* seedlings compared to the control group in a statistically significant manner. In addition, the TGsL-04-028 extracts of supernatant part with increasing concentration exhibited a more pronounced inhibitory effect on *L. sativa* germination and growth than cell extracts from the same isolate. However, the extracts from endophytic actinomycetes had significantly inhibited germination and growth of *L. sativa* and *Bidens pilosa* depending on isolate and test plant species. Our results suggest that endophytic actinomycete had an allelopathic effects on plants growth and suggest a promising avenue for investigating allelochemicals that could potentially serve as effective alternatives for the development of novel bioherbicides. Thus, endophytic actinomycetes hold considerable promise as a source of novel natural products for weed management strategies.

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

² สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร 10900

³ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

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

³ Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

* Corresponding author: yupa.c@cmu.ac.th

Keywords: allelopathy, endophytic actinomycetes, extracts, natural product

คำนำ

วัชพืชเป็นศัตรูพืชที่มีความสำคัญทางการเกษตร โดยการขึ้นรบกวนของวัชพืชภายในแปลงเพาะปลูกพืชส่งผลทำให้ผลผลิตของพืชปลูกลดลง เนื่องจากวัชพืชต้องการปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโตคล้ายคลึงกันกับพืชปลูก (Kropff, 1988) เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้สารกำจัดวัชพืชในการป้องกันกำจัดวัชพืชภายในแปลงเพาะปลูกพืช อย่างไรก็ตาม การใช้สารกำจัดวัชพืชเป็นระยะเวลานานหรือมีวิธีการใช้ไม่ถูกต้อง อาจส่งผลเสียหายต่อพืชปลูกและสิ่งแวดล้อมได้ (Li et al., 2023) ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิจัยวิธีการป้องกันกำจัดวัชพืชในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อเป็นทางเลือกในการลดหรือทดแทนการใช้สารกำจัดวัชพืชได้ ในอนาคต อัลลีโลพาตี (allelopathy) เป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่สามารถเกิดขึ้นได้จากสิ่งมีชีวิตได้แก่ พืช หรือจุลินทรีย์ โดยการปลดปล่อยสารอัลลีโลเคมีคอล (allelochemicals) ที่ไปมีผลกระทบต่อการทำงานของสิ่งมีชีวิตอื่นที่อาศัยอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมในช่วงระยะเวลาเดียวกัน (Barazani and Friedman, 2001, Molisch, 1937, Rice, 1985) มีการรายงานเกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติทางอัลลีโลพาตี (allelopathic microorganisms) โดยพบว่าจุลินทรีย์มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการผลิตสารอัลลีโลเคมีคอล และมีผลในทางอ้อมต่อการเปลี่ยนแปลงของสารสำคัญที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากพืชได้ (Singh et al., 2021) นอกจากนี้ จุลินทรีย์สามารถสร้างและปลดปล่อยสารอัลลีโลเคมีคอลที่ไปมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชชั้นสูงได้ (Barazani and Friedman, 2001) ดังนั้น การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติทางอัลลีโลพาตีในการป้องกันกำจัดวัชพืช จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูง ซึ่งอาจนำไปสู่การลดหรือทดแทนการใช้สารกำจัดวัชพืชภายในแปลงเพาะปลูกพืชได้

จุลินทรีย์เอนโดไฟท์ (endophytic microorganisms) เป็นแหล่งกำเนิดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ (Strobel et al., 2004) มีบทบาทในทางสรีรวิทยาและสัณฐานวิทยาของพืช ตลอดจนการส่งเสริมการเจริญเติบโต การอยู่รอด และความสมบูรณ์แข็งแรงของพืช (Tripathi et al., 2022) เอนโดไฟท์เป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อภายในพืช และดำรงอยู่ในลักษณะทางชีวภาพ หรือมีความสัมพันธ์ร่วมกันกับพืชที่เป็นแหล่งอาศัย โดยไม่ทำให้เกิดอาการติดเชื้อที่ชัดเจน ซึ่งมีรายงานว่า เชื้อกลุ่มของแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ (endophytic actinomycetes) ถูกค้นพบได้มากและเป็นแหล่งผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Passari et al., 2015) แอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์จึงหมายถึง เชื้อแอกติโนมัยซีทที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อพืช เช่น ใบ กิ่ง และราก โดยจัดอยู่ในกลุ่มจุลินทรีย์เซลล์เดี่ยว เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีลักษณะเป็นเส้นสาย และสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Chromkaew, 2009) มีการรายงานว่า เชื้อแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ที่อาศัยภายในเนื้อเยื่อพืชสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ด้วยการผลิตสารออกฤทธิ์บางอย่าง และช่วยต่อต้านจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อสาเหตุของโรคพืชที่อาศัยอยู่ในพืชชนิดเดียวกันได้ (Aamir et al., 2020) ยิ่งไปกว่านั้น มีการประยุกต์ใช้เชื้อแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ทางการเกษตร ในลักษณะการส่งเสริมหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และการป้องกันกำจัดโรคพืช เป็นต้น (Bhatti et al., 2017; Waqas et al., 2013) เช่น สารสกัดชั้น ethyl acetate จากเชื้อ *Cladosporium cladosporioides* LWL5 มีผลยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอม ซึ่งสารสกัดชั้น ethyl acetate ประกอบด้วยสาร benzoic acid (Waqas et al., 2013) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ากลุ่มของสาร avermectins สาร milbemycins และสาร spinosyns ที่สร้างมาจากเชื้อแอกติโนมัยซีทมีฤทธิ์ในการป้องกันกำจัดแมลงและไส้เดือนฝอยได้ (Li et al., 2021) เป็นต้น แสดงให้เห็นได้ว่า สามารถนำเชื้อแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันกำจัดวัชพืชได้ ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงทำเพื่อประเมินผลทางอัลลีโลพาตีของเชื้อแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ และเปรียบเทียบชนิดและอัตราของสารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ที่มีผลกระทบต่อ การงอกและการเติบโตของพืชทดสอบ ซึ่งคาดว่าการศึกษาศักยภาพทางอัลลีโลพาตีของเชื้อแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์สำหรับการป้องกันกำจัดวัชพืช สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการป้องกันกำจัดวัชพืชในระบบการผลิตทางการเกษตรได้ในอนาคต

วิธีการศึกษา

การเก็บตัวอย่างพืชและการแยกเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์

สุ่มเก็บตัวอย่างใบและรากของต้นส้ม พันธุ์สายน้ำผึ้ง ที่ไม่มีการเข้าทำลายของโรคพืชและแมลงศัตรูพืชในพื้นที่ตำบลแม่สุ่น อำเภอดง จังหวัดเชียงใหม่ (Chromkaew, 2009) แยกเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ให้บริสุทธิ์และเก็บรักษาด้วยการประยุกต์วิธีการของ Shimizu et al. (2000) โดยใช้น้ำประปาไหลผ่านชิ้นส่วนพืชเป็นระยะเวลา 30 นาที จึงตัดชิ้นส่วนใบพืชให้ได้ขนาด 1 x 1 เซนติเมตร และรากยาว 1 เซนติเมตร แล้วล้างชิ้นส่วนพืชด้วยสารละลาย Tween 20 ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 - 3 วินาที จากนั้นแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 5 นาที และล้างในน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ นำชิ้นส่วนพืชไปฆ่าเชื้อที่บริเวณผิวด้วยเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 5 นาที และผึ่งให้แห้ง จึงนำชิ้นส่วนพืชไปวางบนอาหารรูน IMA-2 ที่มีส่วนผสมของ Glucose 5 กรัม, Soluble starch 5 กรัม, Beef extract 1 กรัม, Yeast extract 1 กรัม, NZ-case (enzyme hydrolyzed casein) 2 กรัม, CaCO₃ 1 กรัม, Agar 15 กรัม และน้ำกลั่น 1 ลิตร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 1 เดือน

การแยกเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ให้บริสุทธิ์และการเก็บรักษา ทำโดยใช้เข็มเย้ายูเยื่อที่เจริญขึ้นอยู่บนชิ้นส่วนพืช มาขีดบนแผ่นกรองเซลลูโลสที่มีขนาดรู 0.2 ไมโครเมตร ที่วางบนอาหาร IMA-2 และนำเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วัน จากนั้นนำแผ่นกรองเซลลูโลสออก หากเป็นเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์จะสามารถเจริญรอดผ่านแผ่นกรองเซลลูโลสได้ จึงเก็บรวบรวมเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ที่แยกได้ไว้เป็น Stock culture โดยเก็บเชื้อไว้ในหลอดอาหาร IMA-2 และเก็บใน Glycerin 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ผสมด้วยสาร DMSO 10 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่านำไปใช้ในการทดลอง (Chromkaew, 2009) ซึ่งมีเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ 7 ไอโซเลท ได้แก่ ไอโซเลท TGsR-01-004, TGsR-01-005, TGsR-02-017, TGsR-02-018, TGsL-02-004, TGsL-04-028 และ TGcL-04-053 ที่มีการนำไปใช้ในการทดลอง

ผลของสารสกัดเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ในการยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอม

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ 8 กรรมวิธี ดังนี้ กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใช้สารสกัดหยาบ กรรมวิธีที่ 2 สารสกัดหยาบของไอโซเลท TGsR-02-018 กรรมวิธีที่ 3 สารสกัดหยาบของไอโซเลท TGsL-02-004 กรรมวิธีที่ 4 สารสกัดหยาบของไอโซเลท TGsR-02-017 กรรมวิธีที่ 5 สารสกัดหยาบของไอโซเลท TGsR-01-005 กรรมวิธีที่ 6 สารสกัดหยาบของไอโซเลท TGcL-04-053 กรรมวิธีที่ 7 สารสกัดหยาบของไอโซเลท TGsL-04-028 และกรรมวิธีที่ 8 สารสกัดหยาบของไอโซเลท TGsR-01-004 เริ่มจากนำเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์จำนวน 7 ไอโซเลท มาเพิ่มปริมาณในอาหารเหลว IMA-2 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลาประมาณ 7 วัน (จนได้เชื้อปริมาณสูงสุด) แล้วนำสารละลายเชื้อที่ได้มาทำการแยกตะกอนเซลล์ (cell) และส่วนเหนือตะกอน (supernatant) ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตะกอนเซลล์แอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งนำไปใช้

เตรียมสารสกัดหยาบจากเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์สำหรับการทดสอบทางชีววิธี (bioassay test) โดยนำเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ที่ผ่านการอบแห้ง จำนวน 0.01 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองและเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่อง Vortex mixer เป็นระยะเวลา 5 นาที และบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที ก่อนนำไปทดสอบกับผักกาดหอม (*Lactuca sativa*) การทดสอบทางชีววิธีประยุกต์จาก Bundit et al. (2021) ทำโดยนำเมล็ดพืชทดสอบ จำนวน 13 เมล็ด วางบนจานแก้วทดลองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 60 มิลลิเมตร ที่รองด้วยกระดาษเพาะเมล็ด แล้วเติมน้ำกลั่นหยาบเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ 1 มิลลิลิตร จึงนำเข้าตู้เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สภาพปลอดแสงเป็นระยะเวลา 7 วัน แล้วบันทึกผลการทดลองตามที่กำหนดไว้ส่วนท้าย

ผลของส่วนสารสกัดแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ในการยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอม

วางแผนการทดลองแบบ 2 x 3 Factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ 1) ส่วนของสารสกัด ได้แก่ ตะกอนเซลล์และส่วนเหนือตะกอน และ 2) สัดส่วนความเข้มข้น ได้แก่ 0, 0.005 และ 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยเลือกเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ไอโซเลท TGcL-04-028 เป็นตัวแทนของกลุ่มเชื้อในการทดสอบผลของส่วนสารสกัด เนื่องจากสามารถเพิ่มจำนวนเชื้อได้ปริมาณมากและมีผลการยับยั้งพืชทดสอบจากการทดลองเบื้องต้น ทำการเพิ่มจำนวนเชื้อด้วยวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งการเพิ่มจำนวนเชื้อได้มีการล้างด้วยน้ำกลั่น 2 - 3 รอบ หลังจากปั่นเหวี่ยงแยกอาหารเลี้ยงเชื้อออกจาก

ตะกอนเซลล์ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน เพื่อให้มั่นใจว่าตะกอนเซลล์ไม่ปนเปื้อนอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วจึงเตรียมสารสกัดเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์สำหรับการทดสอบทางชีววิธีตามวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น โดยนำเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ที่ผ่านการอบแห้งจำนวน 0, 0.005 และ 0.01 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองและเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร แล้วจึงเขย่าเป็นระยะเวลา 5 นาที และบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำการแยกส่วนของตะกอนเซลล์และส่วนเหนือตะกอนออกจากกัน ด้วยการปั่นเหวี่ยงตะกอนที่ 5,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำส่วนเหนือตะกอนที่อยู่ด้านบนไปใช้ทดสอบทางชีววิธีตามวิธีการที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

การเปรียบเทียบผลทางอัลลีโลพาตีของสารสกัดแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ที่มีต่อพืชทดสอบ

วางแผนการทดลองแบบ 3 x 4 Factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ 1) ไอโซเลทของเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ ได้แก่ TGsR-01-005, TGsR-02-017 และ TGsL-04-028 และ 2) สัดส่วนความเข้มข้น ได้แก่ 0, 0.005, 0.01 และ 0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ทำการทดสอบกับพืชทดสอบ ได้แก่ ผักกาดหอม และก้นจ้ำขาวดอกใหญ่ (*Bidens pilosa*) เนื่องจากก้นจ้ำขาวดอกใหญ่จัดเป็นวัชพืชที่สามารถพบได้ทั่วไปและเมล็ดใช้เวลาพักตัวไม่นานจึงสามารถงอกได้ โดยนำเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ไอโซเลท TGsR-01-005, TGsR-02-017 และ TGsL-04-028 (Figure 1) ไปเพิ่มจำนวนเชื้อด้วยวิธีการข้างต้น เตรียมสารสกัดเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์สำหรับการทดสอบทางชีววิธีโดยประยุกต์จากวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น นำสัดส่วนของเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ที่ผ่านการอบแห้งจำนวน 0, 0.005, 0.01 และ 0.02 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองและเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สภาพปลอดแสงเป็นระยะเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนดจึงนำเข้าเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อด้วยแรงดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที ก่อนนำสารสกัดไปใช้ทดสอบทางชีววิธีตามวิธีการข้างต้น



Figure 1 Colony characteristics of endophytic actinomycetes TGsR-01-005 (A), TGsL-04-028 (B), and TGsR-02-017 (C).

การบันทึกผลการทดลอง

1) อัตราการงอกของพืชทดสอบ (germination) โดยนับจำนวนต้นพืชทดสอบที่มีการงอกและนำไปคำนวณด้วยสมการอัตราการงอก มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

$$\text{อัตราการงอก (\%)} = \left(\frac{\text{จำนวนเมล็ดงอกของกรรมวิธี}}{\text{จำนวนเมล็ดงอกของชุดควบคุม}} \right) \times 100$$

2) การเติบโตของพืชทดสอบ ได้แก่ ความยาวต้น (shoot length) โดยวัดจากปลายยอดจนถึงโคนต้น มีหน่วยเป็น เซนติเมตร, ความยาวราก (root length) โดยวัดจากโคนต้นจนถึงส่วนของปลายราก มีหน่วยเป็น เซนติเมตร, น้ำหนักสด (fresh weight) โดยนำต้นพืชทดสอบทั้งหมดไปชั่งน้ำหนักแล้วหารด้วยจำนวนต้นทั้งหมด มีหน่วยเป็น กรัมต่อต้น และน้ำหนักแห้ง (dry weight) โดยการนำต้นพืชทดสอบทั้งหมดที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 วัน ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักแล้วหารด้วยจำนวนต้นทั้งหมด มีหน่วยเป็น กรัมต่อต้น

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Fisher's protected least significant difference test (Fisher's LSD test) โดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 4.1.2. (R Development Core Team, 2021)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของสารสกัดหยาบแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์ในการยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอม

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารสกัดหยาบแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์ส่งผลให้อัตราการงอก (germination) ความยาวต้น (shoot length) ความยาวราก (root length) น้ำหนักสด (fresh weight) และน้ำหนักแห้ง (dry weight) ของผักกาดหอมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง (Table 1) ซึ่งอัตราการงอกของผักกาดหอมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยที่สารสกัดหยาบแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์จากไอโซเลท TGsR-01-004, TGsR-02-018, TGsL-02-004, TGcL-04-053, TGsR-01-005, TGsL-04-028 และ TGsR-02-017 ส่งผลให้อัตราการงอกของผักกาดหอมเท่ากับ 80.0, 77.41, 58.06, 58.06, 32.25, 32.25 และ 16.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความยาวส่วนเหนือดินของผักกาดหอมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยที่สารสกัดหยาบแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์จากไอโซเลท TGsR-02-017, TGsL-02-004, TGsL-04-028, TGsR-01-004, TGsR-02-018, TGcL-04-053 และ TGsR-01-005 ส่งผลทำให้ความยาวส่วนเหนือดินของผักกาดหอมเท่ากับ 0.59, 0.33, 0.19, 0.19, 0.13, 0.10 และ 0.08 เซนติเมตร ตามลำดับ ความยาวรากของผักกาดหอมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยที่สารสกัดหยาบแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์จากไอโซเลท TGsR-02-017, TGsL-02-004, TGsR-02-018, TGsL-04-028, TGsR-01-004, TGcL-04-053 และ TGsR-01-005 ส่งผลทำให้ความยาวรากของผักกาดหอมเท่ากับ 0.25, 0.18, 0.09, 0.09, 0.08, 0.06 และ 0.04 เซนติเมตร ตามลำดับ น้ำหนักสดของผักกาดหอมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยที่สารสกัดหยาบแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์จากไอโซเลท TGcL-04-053, TGsR-02-017, TGsL-02-004, TGsL-04-028, TGsR-01-004, TGsR-02-018 และ TGsR-01-005 ส่งผลทำให้น้ำหนักสดของผักกาดหอมเท่ากับ 0.0671, 0.0526, 0.0362, 0.0257, 0.0211, 0.0180 และ 0.0120 กรัมต่อต้น ตามลำดับ น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยที่สารสกัดหยาบแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์จากไอโซเลท TGsL-04-028, TGsL-02-004, TGsR-01-004, TGsR-02-018, TGsR-02-017, TGcL-04-053 และ TGsR-01-005 ส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมเท่ากับ 0.0040, 0.0036, 0.0031, 0.0027, 0.0024, 0.0024 และ 0.0017 กรัมต่อต้น ตามลำดับ เนื่องจากแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์สามารถสร้างสารทุติยภูมิที่มีคุณสมบัติเป็นสารยับยั้งหรือสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชภายใต้สิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ (Doroghazi and Metcalf, 2013; Golinska et al., 2015) อย่างไรก็ตาม สารสกัดหยาบแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์ที่ได้จากแต่ละไอโซเลทส่งผลยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอมแตกต่างกัน โดยสารสกัดหยาบแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์ไอโซเลท TGsR-02-017 ส่งผลยับยั้งอัตราการงอกมากที่สุด ขณะที่ไอโซเลท TGsR-02-018, TGsR-01-005, TGsL-04-028 และ TGsR-01-004 ส่งผลยับยั้งความยาวต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดมากที่สุด ส่วนไอโซเลท TGsR-01-005 ส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งลดลงมากที่สุด (Table 1) อาจเป็นสาเหตุอันเนื่องมาจากไอโซเลทของเชื้อแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์ที่มีความแตกต่างกัน ส่งผลทำให้มีคุณสมบัติในการสร้างชนิดและปริมาณสารสำคัญแตกต่างกันได้ ตลอดจนส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของพืชต่างกันมากที่สุด สอดคล้องกับการรายงานของ Matsumoto and Takahashi (2017) ที่มีการศึกษาแหล่งที่มาของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์ โดยพบว่า แอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์แต่ละชนิดมีการสร้างชนิดของสารทุติยภูมิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ผลกระทบที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชจึงอาจแตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิดของเชื้อแอกติโนมายซีท (Elshafie and Camele, 2022) ดังนั้น สารสกัดหยาบที่ได้จากเชื้อแอกติโนมายซีทเอนโดไฟท์ทั้ง 7 ไอโซเลท มีผลทางอัสลิโลพาท์ในการยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอม

Table 1 Effects of endophytic actinomycete crude extracts on germination and growth of *Lactuca sativa*

Treatment	<i>Lactuca sativa</i>				
	Germination (%)	Shoot length (cm)	Root length (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Control	100.00 a ^a	1.13 a	0.53 a	0.0845 a	0.0051 a
TGsR-02-018	77.41 c	0.13 c	0.09 c	0.0180 d	0.0027 de
TGsL-02-004	58.06 d	0.33 bc	0.18 bc	0.0362 c	0.0036 bc
TGsR-02-017	16.12 f	0.59 b	0.25 b	0.0526 b	0.0024 e
TGsR-01-005	32.25 e	0.08 c	0.04 c	0.0120 d	0.0017 f
TGcL-04-053	58.06 d	0.10 c	0.06 c	0.0671 b	0.0024 e
TGsL-04-028	32.25 e	0.19 c	0.09 c	0.0257 cd	0.0040 b
TGsR-01-004	80.00 b	0.19 c	0.08 c	0.0211 cd	0.0031 cd
<i>F-test</i>	**	**	**	**	**
LSD	7.33	0.27	0.15	0.0152	0.0005

^a Values are given as mean and different letters indicate significant difference at $**P < 0.01$, according to LSD test.

ผลของส่วนสารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ในการยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอม

สารสกัดยับยั้งแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ในการทดลองข้างต้นประกอบด้วย สารสกัดส่วนเหนือตะกอน (supernatant) และสารสกัดส่วนตะกอนเซลล์ (cell) รวมกันอยู่ ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่า ผลกระทบของส่วนสารสกัดในการยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอมอาจมีความแตกต่างกันได้ จึงเลือกใช้ไอโซเลท TGsL-04-028 เป็นเชื้อตัวแทนเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างผลการยับยั้งของสารสกัดส่วนเหนือตะกอนและสารสกัดส่วนตะกอนเซลล์ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลกระทบของส่วนสารสกัดจากไอโซเลท TGsL-04-028 พบว่า ส่งผลกระทบต่อการงอกและการเติบโตของผักกาดหอมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสารสกัดส่วนเหนือตะกอนส่งผลยับยั้งการงอกและการเติบโตของเมล็ดผักกาดหอมมากกว่าสารสกัดส่วนตะกอนเซลล์ (Table 2) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างส่วนของสารสกัดกับสัดส่วนความเข้มข้นของสารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์จากไอโซเลท TGsL-04-028 ส่งผลกระทบต่อการงอกและการเติบโตของผักกาดหอมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า อัตราการงอกของผักกาดหอมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยสารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์จากตะกอนเซลล์และส่วนเหนือตะกอนที่ความเข้มข้น 0.005 และ 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่งผลให้อัตราการงอกของผักกาดหอมเท่ากับ 46.20, 30.80, 15.40 และ 7.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความยาวส่วนเหนือดินของผักกาดหอมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยสารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์จากตะกอนเซลล์และส่วนเหนือตะกอนที่ความเข้มข้น 0.005 และ 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่งผลทำให้ความยาวส่วนเหนือดินของผักกาดหอมเท่ากับ 1.64, 0.50, 0.13 และ 0.00 เซนติเมตร ตามลำดับ ความยาวรากของผักกาดหอมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยสารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์จากตะกอนเซลล์และส่วนเหนือตะกอนที่ความเข้มข้น 0.005 และ 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่งผลทำให้ความยาวรากของผักกาดหอมเท่ากับ 1.17, 0.29, 0.06 และ 0.00 เซนติเมตร ตามลำดับ น้ำหนักสดของผักกาดหอมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยสารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์จากตะกอนเซลล์และส่วนเหนือตะกอนที่ความเข้มข้น 0.005 และ 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่งผลทำให้น้ำหนักสดของผักกาดหอมเท่ากับ 0.0226, 0.0157, 0.0120 และ 0.0022 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยสารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์จากตะกอนเซลล์และส่วนเหนือตะกอนที่ความเข้มข้น 0.005 และ 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมเท่ากับ 0.0009, 0.0014, 0.0006 และ 0.0000192 กรัมต่อต้น ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า สารสกัดส่วนเหนือตะกอนประกอบด้วยสารสำคัญ

หรือสารอัลลีโลเคมีคอล (allelochemicals) ที่ส่งผลยับยั้งการงอกและการเติบโตของพืชทดสอบมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยสารสกัดส่วนเหนือตะกอนจากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่น อาทิเช่น การศึกษาวิจัยสารสกัดและวิเคราะห์ชนิดสารสำคัญของเชื้อแอสกีโตไมซีทเอนโดไฟท์ *Cladosporium cladosporioides* LWL5 ที่ทำการแยกเชื้อจากทานตะวัน สามารถสร้างสารอัลลีโลเคมีคอลซึ่งไปมีผลยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของผักกาดหอมได้ (Waqas et al., 2013) และการศึกษาผลทางอัลลีโลพาตีของพืช *Rhus typhina* ในการรุกรานพืช *Tagetes erecta* ซึ่งพบว่า สารสกัดจากรากของ *R. typhina* สามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติเคมีดินและกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ในดิน ส่งผลทำให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชกับจุลินทรีย์ในดินเกิดการเปลี่ยนแปลง จนนำไปสู่การสนับสนุนให้การรุกรานของ *R. typhina* ประสบความสำเร็จมากขึ้น (Qu et al., 2021) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาฤทธิ์ต้านจุลชีพของสารสกัดส่วนเหนือตะกอนของขึ้นเอทิลอะซิเตตจาก *Streptomyces* sp. CRB46 ที่มีผลยับยั้งจุลินทรีย์ได้ 11 ชนิด (Ambarwati et al., 2020) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สัดส่วนความเข้มข้นของส่วนสารสกัดแอสกีโตไมซีทเอนโดไฟท์จากไอโซเลท TGS-L-04-028 ส่งผลกระทบต่อการงอกและการเติบโตของผักกาดหอมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแต่ละส่วนสารสกัดจากไอโซเลท TGS-L-04-028 ที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้การงอกและการเติบโตของผักกาดหอมมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน (Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับ Khan et al. (2006) ที่ได้รายงานว่าการเจริญเติบโตของ *Albizia saman* อยู่ในระดับที่ดีเมื่อได้รับสารสำคัญจากจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 0 - 2 เปอร์เซ็นต์ โดยการได้รับสารที่มีความเข้มข้นที่ 2 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลทำให้มีการงอกสูงที่สุดเท่ากับ 71 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าหากสารสำคัญจากจุลินทรีย์มีความเข้มข้นมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลทำให้อัตราการงอกของ *A. saman* ลดลง

นอกจากนี้ ยังพบข้อสังเกตสำคัญที่ว่า สารสกัดส่วนตะกอนเซลล์สามารถยับยั้งการงอกและการเติบโตของเมล็ดผักกาดหอมได้เช่นกัน โดยมีความเป็นไปได้ว่า เซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่ยังคงมีการสร้างและปลดปล่อยสารอัลลีโลเคมีคอลได้อยู่ตลอดเวลา ส่งผลทำให้สารสกัดส่วนตะกอนเซลล์มีผลทางอัลลีโลพาตีที่มีต่อผักกาดหอมได้ ซึ่งอาจจะสามารถนำสารสกัดส่วนตะกอนเซลล์ไปเพิ่มปริมาณสารอัลลีโลเคมีคอลได้มากกว่าสารสกัดส่วนเหนือตะกอน อย่างไรก็ตาม จึงควรมีการศึกษาชนิดและปริมาณสารอัลลีโลเคมีคอลที่สะสมอยู่ภายในแต่ละส่วนสารสกัดเพิ่มเติม เพื่อทำการเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของสารอัลลีโลเคมีคอลที่ถูกสร้างและปลดปล่อยออกมา

ผลทางอัลลีโลพาตีของสารสกัดแอสกีโตไมซีทเอนโดไฟท์ในการยับยั้งการงอกและการเติบโตของพืชทดสอบ

สิ่งมีชีวิตที่นำมาใช้ในการป้องกันกำจัดวัชพืชด้วยชีววิธีต้องไม่กลายเป็นศัตรูพืชในอนาคต จัดเป็นเงื่อนไขที่มีความสำคัญ จึงได้มีการพัฒนาวิธีการสกัดสารจากเชื้อแอสกีโตไมซีทเอนโดไฟท์ โดยประยุกต์ใช้สารสกัดส่วนตะกอนเซลล์และการนึ่งฆ่าเชื้อร่วมกัน เพื่อให้เซลล์ที่มีชีวิตสามารถสร้างและปลดปล่อยสารอัลลีโลเคมีคอลออกมาเพิ่มเติม และยังทำให้เซลล์ของเชื้อตายสนิทไม่สามารถแพร่ระบาดได้อีก ดังนั้น วิธีการสกัดสารจากเชื้อแอสกีโตไมซีทเอนโดไฟท์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาและทดสอบกับชนิดของพืชทดสอบเพิ่มเติม จึงถูกนำมาศึกษาวิจัยในการทดลองนี้

Table 2 Effects of interaction between extract parts (*E*) and concentrations (*C*) of TGsL-04-028 extracts on germination and growth of *Lactuca sativa*

Treatment	<i>Lactuca sativa</i>				
	Germination (%)	Shoot length (cm)	Root length (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
<i>E1</i> : <i>C1</i>	100.00 a ^a	2.35 a	1.33 a	0.0856 a	0.0028 a
<i>E1</i> : <i>C2</i>	46.20 b	1.64 a	1.17 a	0.0226 b	0.0009 b
<i>E1</i> : <i>C3</i>	30.80 c	0.50 b	0.29 b	0.0157 c	0.0014 b
<i>E2</i> : <i>C1</i>	100.00 a	2.31 a	1.31 a	0.0856 a	0.0028 a
<i>E2</i> : <i>C2</i>	15.40 d	0.13 b	0.06 b	0.0120 c	0.0006 bc
<i>E2</i> : <i>C3</i>	7.70 d	0.00 b	0.00 b	0.0022 d	0.00002 c
<i>E</i> × <i>C</i>	**	*	*	*	*
LSD	1.9E-13	0.86	0.59	0.0060	0.0008

^a Values are given as mean and different letters indicate significant difference at **P* < 0.05 and ***P* < 0.01, according to LSD test. Extract parts = cell (*E1*) and supernatant (*E2*); Concentrations = 0 (*C1*), 0.005 (*C2*) and 0.01 (*C3*) g.mL⁻¹.

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของไอโซเลทกับอัตราความเข้มข้นของสารสกัด พบว่า สารสกัดเชื้อแอกติโนมัยซีทจากแต่ละไอโซเลทที่มีระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น มีการผลยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอมและก้านจ้ำขาวดอกใหญ่มากขึ้น ซึ่งสารสกัดจากไอโซเลท TGsL-04-028 ส่งผลให้อัตราการงอกและน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมลดลงมากที่สุด ในขณะที่สารสกัดจากไอโซเลท TGsR-02-017 ส่งผลให้อัตราการงอกและน้ำหนักแห้งของก้านจ้ำขาวดอกใหญ่ลดลงมากที่สุด อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากไอโซเลท TGsR-02-017 ส่งผลทำให้ความยาวต้นและน้ำหนักสดของพืชทดสอบทั้งสองชนิดลดลงมากที่สุด ในขณะที่สารสกัดไอโซเลท TGsL-04-028 ส่งผลยับยั้งความยาวรากของพืชทดสอบทั้งสองชนิดมากที่สุด (Table 3 และ Table 4) ถึงแม้ว่าสารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟต์แต่ละไอโซเลทที่ความเข้มข้น 0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร มีผลยับยั้งอัตราการงอกของผักกาดหอม แต่ผักกาดหอมยังคงมีอัตราการงอกมากกว่า 60.90 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็นเพราะว่า การใช้สารสกัดส่วนตะกอนเซลล์และการนึ่งฆ่าเชื้อร่วมกันอาจจะส่งผลทำให้ปริมาณสารอัลลีโลเคมีคอลลดลงได้ จึงควรใช้ความเข้มข้นมากกว่า 0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ขึ้นไป เพื่อให้มีการยับยั้งอัตราการงอกเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม สารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟต์แต่ละไอโซเลทที่ความเข้มข้น 0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่งผลยับยั้งอัตราการงอกของก้านจ้ำขาวดอกใหญ่ได้ดี โดยอัตราการงอกของก้านจ้ำขาวดอกใหญ่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 53.00 เปอร์เซ็นต์ จึงมีความเป็นไปได้ว่า ก้านจ้ำขาวดอกใหญ่มีความอ่อนแอต่อสารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟต์แต่ละไอโซเลทที่ความเข้มข้น 0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของสารอัลลีโลเคมีคอลที่อยู่ในสารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟต์แต่ละไอโซเลทเพิ่มเติม

Table 3 Effects of interaction between endophytic actinomycetes (*En*) and concentrations (*C*) of the extracts on germination and growth of *Lactuca sativa*

Treatment	<i>Lactuca sativa</i>				
	Germination (%)	Shoot length (cm)	Root length (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
<i>En1</i> : <i>C1</i>	100.00 a ^a	1.97 c ^a	1.18 a	0.0817 cd	0.0075 bc
<i>En1</i> : <i>C2</i>	100.00 a	2.90 a	1.11 a	0.1314 b	0.0089 a
<i>En1</i> : <i>C3</i>	90.90 d	2.41 abc	1.07 a	0.0814 cde	0.0070 cd
<i>En1</i> : <i>C4</i>	90.90 d	2.18 bc	0.57 bc	0.0846 cd	0.0072 bcd
<i>En2</i> : <i>C1</i>	100.00 a	2.21 bc	0.96 a	0.0818 cd	0.0076 b
<i>En2</i> : <i>C2</i>	84.80 f	1.92 c	0.68 b	0.0658 def	0.0074 bcd
<i>En2</i> : <i>C3</i>	95.70 c	2.65 ab	0.44 bc	0.0995 c	0.0085 a
<i>En2</i> : <i>C4</i>	60.90 h	1.29 d	0.16 d	0.0471 fg	0.0055 e
<i>En3</i> : <i>C1</i>	100.00 a	2.14 bc	1.21 a	0.0734 de	0.0069 d
<i>En3</i> : <i>C2</i>	97.70 b	2.58 ab	0.53 bc	0.1922 a	0.0072 bcd
<i>En3</i> : <i>C3</i>	86.40 e	2.38 abc	0.32 cd	0.0566 ef	0.0077 b
<i>En3</i> : <i>C4</i>	70.50 g	0.31 e	0.32 cd	0.0312 g	0.0057 e
<i>En</i> x <i>C</i>	**	**	*	**	**
LSD	7.0E-14	0.53	0.26	0.0250	0.0005

^a Values are given as mean and different letters indicate significant difference at * $P < 0.05$ and ** $P < 0.01$, according to LSD test. Endophytic actinomycetes = TGsR-01-005 (*En1*), TGsL-04-028 (*En2*) and TGsR-02-017 (*En3*); Concentrations = 0 (*C1*), 0.005 (*C2*), 0.01 (*C3*) and 0.02 (*C4*) g.mL⁻¹.

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารสกัดแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์แต่ละไอโซเลทส่งผลยับยั้งการงอกและการเติบโตของพืชทดสอบแตกต่างกัน อาจเป็นเพราะว่า ความหลากหลายทางสกุลของเชื้อแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ที่มีความแตกต่างกันทางสัณฐานวิทยา จึงส่งผลทำให้มีปฏิสัมพันธ์กับพืชแตกต่างกันได้ (Du et al., 2013) สอดคล้องกับการทดสอบเชื้อแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์สกุล *Nocardiosis* sp. ที่ถูกเพาะเลี้ยงภายในอาหารเลี้ยงเชื้อร่วมกับเมล็ด *Bidens biternate* ส่งผลทำให้ยับยั้งการงอกของเมล็ด *B. biternate* ลดลง 20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมื่อทดสอบกับสกุล *Nocardiodes* sp. สามารถยับยั้งการงอกได้มากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (Singh et al., 2017) นอกจากนี้ จุลินทรีย์สามารถสร้างสารสำคัญบางชนิดที่ส่งผลกระทบต่อเซลล์เนื้อเยื่อเจริญของพืชได้ (Bataneh et al., 2008) อาทิเช่น กรณีการศึกษาเชื้อแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ในชา ที่เชื้อสามารถผลิตกรดอินโดล-3-อะซิติก (IAA) ได้ค่อนข้างสูง จึงทำให้สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ (Shan et al., 2018) แต่ในทางตรงกันข้าม การลดลงของความยาวรากพืชอาจเกี่ยวข้องกับปริมาณ IAA ที่เชื้อแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์สร้างขึ้นได้เช่นกัน โดยปกติ IAA เป็นฮอร์โมนธรรมชาติในกลุ่มออกซิน เกี่ยวข้องกับการขยายขนาด และการแบ่งเซลล์ (Manulis et al., 1994) และอาจมีความสามารถในการยับยั้งและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ได้รับในขณะนั้น (Ma et al., 2023; Wang et al., 2021) หากพืชที่ได้รับปริมาณ IAA ที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อรากพืชได้ (Beyeler et al., 1999) ซึ่งสอดคล้องกับ Pilet and Saugy (1985) ที่ได้รายงานไว้ว่า ความเข้มข้นของ IAA ที่สูงขึ้นไม่สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของรากข้าวโพด แต่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของรากข้าวโพดแทน อย่างไรก็ตาม การศึกษาชนิดและปริมาณสารอัลลิโลเคมีคอลที่ถูกสร้างและปลดปล่อยออกมาจากเซลล์ของแอกติโนมัยซีทเอนโดไฟท์จากแต่ละไอโซเลท เป็นข้อบ่งชี้สำคัญที่แสดงถึงความแตกต่างกันของผลการยับยั้งการงอกและการเติบโตของแต่ละพืชทดสอบเพิ่มเติม

Table 4 Effects of interaction between endophytic actinomycetes (*En*) and concentrations (*C*) of the extracts on germination and growth of *Bidens pilosa*

Treatment	<i>Bidens pilosa</i>				
	Germination (%)	Shoot length (cm)	Root length (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
<i>En1</i> : <i>C1</i>	100.00 a ^a	2.71 bc	1.75 a	0.0638 a	0.0061 cdef
<i>En1</i> : <i>C2</i>	46.83 e	0.51 e	1.81 a	0.0378 cd	0.0060 defg
<i>En1</i> : <i>C3</i>	41.95 f	0.30 e	0.92 bc	0.0295 e	0.0057 gh
<i>En1</i> : <i>C4</i>	37.07 g	0.26 e	0.72 c	0.0259 fg	0.0063 bcd
<i>En2</i> : <i>C1</i>	100.00 a	3.39 a	1.53 ab	0.0627 a	0.0058 fg
<i>En2</i> : <i>C2</i>	55.00 c	1.77 d	0.90 bc	0.0351 d	0.0068 a
<i>En2</i> : <i>C3</i>	63.00 b	2.30 cd	0.65 c	0.0373 d	0.0055 h
<i>En2</i> : <i>C4</i>	53.00 d	0.68 e	0.45 c	0.0279 ef	0.0059 efg
<i>En3</i> : <i>C1</i>	100.00 a	3.00 ab	1.76 a	0.0649 a	0.0062 bcde
<i>En3</i> : <i>C2</i>	41.95 f	0.44 e	2.13 a	0.0435 b	0.0063 bc
<i>En3</i> : <i>C3</i>	37.07 g	0.38 e	1.68 a	0.0407 bc	0.0064 b
<i>En3</i> : <i>C4</i>	29.27 h	0.15 e	0.47 c	0.0233 g	0.0050 i
<i>En</i> x <i>C</i>	**	**	*	**	**
LSD	2.02E-13	0.54	0.67	0.0031	0.0003

^a Values are given as mean and different letters indicate significant difference at * $P < 0.05$ and ** $P < 0.01$, according to LSD test. Endophytic actinomycetes = TGsR-01-005 (*En1*), TGsL-04-028 (*En2*) and TGsR-02-017 (*En3*); Concentrations = 0 (*C1*), 0.005 (*C2*), 0.01 (*C3*) and 0.02 (*C4*) g.mL⁻¹.

สรุปผลการศึกษา

สารสกัดหยาบที่ได้จากเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ทั้งหมด 7 ไอโซเลท ได้แก่ ไอโซเลท TGsR-01-004, TGsR-01-005, TGsR-02-017, TGsR-02-018, TGsL-02-004, TGsL-04-028 และ TGcL-04-053 มีผลทางอัลลีโลพาตี โดยสารสกัดหยาบแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์ไอโซเลท TGsR-02-017 ส่งผลยับยั้งอัตราการงอกมากที่สุด ขณะที่ไอโซเลท TGsR-02-018, TGsR-01-005, TGsL-04-028 และ TGsR-01-004 ส่งผลยับยั้งความยาวต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดมากที่สุด ส่วนไอโซเลท TGsR-01-005 ส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งลดลงมากที่สุด และเมื่อพิจารณาผลทางอัลลีโลพาตีของส่วนสารสกัดแต่ละส่วนที่ได้มาจากไอโซเลท TGsL-04-028 แสดงให้เห็นว่า สารสกัดส่วนเหนือตะกอนยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอมมากกว่าสารสกัดส่วนตะกอนเซลล์ นอกจากนี้ ชนิดของเชื้อแอคติโนมัยซีทเอนโดไฟท์มีผลทางอัลลีโลพาตีแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อและพืชทดสอบ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดสูงขึ้นไปมีแนวโน้มส่งผลทำให้เกิดการยับยั้งการงอกและการเติบโตของผักกาดหอมและก้านจ้ำขาวดอกใหญ่เพิ่มมากขึ้น

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์และทีมงานวิจัยทางด้านวิทยาการวัชพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: อภิรัฐ บัณฑิต, ยุพา จอมแก้ว. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการ ออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: อภิรัฐ บัณฑิต, ยุพา จอมแก้ว. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: กิติภัทร์ ปราบแกะ, อภิรัฐ บัณฑิต, ยุพา จอมแก้ว. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: กิติภัทร์ ปราบแกะ, อภิรัฐ บัณฑิต, สิริชัย สาธุวิจารณ์, ภารตี ธรรมาภิชัย และยุพา จอมแก้ว. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: กิติภัทร์ ปราบแกะ, อภิรัฐ บัณฑิต, สิริชัย สาธุวิจารณ์, ภารตี ธรรมาภิชัย, ยุพา จอมแก้ว. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ตัวอย่างพืช และห้องปฏิบัติการ และ ครูภัณฑ์: กิติภัทร์ ปราบแกะ, อภิรัฐ บัณฑิต, สิริชัย สาธุวิจารณ์, ภารตี ธรรมาภิชัย, ยุพา จอมแก้ว.

เอกสารอ้างอิง

- Aamir, M., Rai, K. K., Zehra, A., Dubey, M. K., Samal, S., Yadav, M., & Upadhyay, R. S. (2020). Endophytic actinomycetes in bioactive compounds production and plant defense system. In Kumar, A., & Singh, V. K. (Ed.), **Microbial Endophytes: Prospects for Sustainable Agriculture**, pp. 189-229. Woodhead Publishing.
- Ambarwati, A., Wahyuono, S., Moeljopawiro, S., & Yuwono, T. (2020). Antimicrobial activity of ethyl acetate extracts of *Streptomyces* sp. CRB46 and the prediction of their bioactive compounds chemical structure. **Biological Diversity**, 21(7), 3380-3390.
- Barazani, O., & Friedman, J. (2001). Allelopathic bacteria and their impact on higher plants. **Critical Reviews in Microbiology**, 27(1), 41-55.
- Bataineh, S. M. B., Saadoun, I., Hameed, K. M., & Ababneh, Q. (2008). Screening for soil Streptomyces from north Jordan that can produce herbicidal compounds. **Polish Journal of Microbiology**, 57(4), 297-305.
- Beyeler, M., Keel, C., Michaux, P., & Hass, D. (1999). Enhanced production of indole-3-acetic acid by a genetically modified strain of *Pseudomonas fluorescens* CHA0 affects root growth of cucumber, but does not improve protection of the plant against Pythium root rot. **FEMS Microbiology Ecology**, 28(3), 225-233.
- Bhatti, A. A., Haq, S., & Bhat, R. A. (2017). Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. **Microbial Pathogenesis**, 111(1), 458-467.
- Bundit, A., Ostlie, M., & Prom-U-Thai, C. (2021). Sunn hemp (*Crotalaria juncea*) weed suppression and allelopathy at different timings. **Biocontrol Science and Technology**, 31(7), 694-704.
- Doroghazi, J. R., & Metcalf, W. W. (2013). Comparative genomics of actinomycetes with a focus on natural product biosynthetic genes. **BMG Genomics**, 14(611), 2-13.
- Chromkaew, Y. (2009). **Phenotypic and Genotypic Characterization of Endophytic Actinomycetes Isolated from Tangerines and Their Potential for Plant Growth Promotion**. Master's Thesis. Chiang Mai University. (in Thai).
- Du, H., Su, J., Yu, L., & Zhang, Y. (2013). **Isolation and Physiological Characteristics of Endophytic Actinobacteria from Medicinal Plants**. Retrieved from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23614236>.
- Elshafie, E. S., & Camele, I. (2022). Rhizospheric actinomycetes revealed antifungal and plant-growth-promoting activities under controlled environment. **Plants**, 11(14), 2-11.
- Golinska, P., Wypij, M., Agarkar, G., Rathod, D., Dahm, H., & Rai, M. (2015). Endophytic actinobacteria of medicinal plants: diversity and bioactivity. **Springer**, 108(2), 267-289.
- Khan, B. M., Hossain, M. K., & Mridha, M. A. U. (2006). Effect of microbial inoculants on *Albizia saman* germination and seedling growth. **Journal of Forestry Research**, 17(2), 99-102.
- Kropff, M. J. (1988). Modelling the effects of weeds on crop production. **Weed Research**, 28(1), 465-471.
- Li, S., Yang, B., Tan, G. Y., Ouyang, L. M., Qiu, S., Wang, W., Xiang, W., Zhang, L. (2021). Polyketide pesticides from actinomycetes. **Current Opinion in Biotechnology**, 69(1), 299-307.
- Li, Y., Guo, R., Liang, X., Yao, B., Yan, S., Guo, Y., Han, Y., & Cui, J. (2023). Pollution characteristics, ecological and health risks of herbicides in a drinking water source and its inflowing rivers in North China. **Environmental Pollution**, 334(12), 122130.
- Ma, Y. Y., Shen, Y., Zhou, X. P., Ma Y. T., & Xue, Q. H. (2023). An antagonist of *Caenorhabditis elegans* controls root-knot disease and promotes tomato plant growth. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 69(14), 3154-3166.
- Manulis, S., Shafir, H., Epstein, E., Lichter, A., & Barash, I. (1994). Biosynthesis of indole-3-acetic acid via the indole-3-acetamide pathway in *Streptomyces* spp. **Microbiology**, 140(5), 1045-1050.

- Matsumoto, A., & Takahashi, Y. (2017). Endophytic actinomycetes: promising source of novel bioactive compounds. **The Journal of Antibiotics**, 70(1), 514-519.
- Molisch, H. (1937). **Der Einfluss einer Pflanze auf die andere-Allelopathie**. Retrieved from: <https://n9.cl/walyxn>.
- Passari, A. K., Mishra, V. K., Saikia, R., Gupta, V. K., & Singh, B. M. (2015). Isolation, abundance and phylogenetic affiliation of endophytic actinomycetes associated with medicinal plants and screening for their *in vitro* antimicrobial biosynthetic potential. **Frontiers in Microbiology**, 6(1), 1-11.
- Pilet, P. E., & Saugy, M. (1985). Effect of applied and endogenous indol-3-yl-acetic acid on maize root growth. **Planta**, 164(2), 254-258.
- Qu, T., Du, X., Peng, Y., Guo, W., Zhao, C., & Losapio, G. (2021). Invasive species allelopathy decreases plant growth and soil microbial activity. **Plos One**, 16(2), 1-12.
- R Development Core Team. (2021). **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Retrieved from: <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/old/4.1.2>.
- Rice, E. L. (1985). Allelopathy — An Overview. In Cooper-Driver, G. A., Swain, T., & Conn, E. E. (Ed.), **Chemically Mediated Interactions between Plants and Other Organisms**, pp. 81-82. Springer Publishing.
- Shan, W., Zhou, Y., Liu, H., & Yu, X. (2018). Endophytic actinomycetes from tea plants (*Camellia sinensis*): Isolation, abundance, antimicrobial, and plant-growth-promoting activities. **BioMed Research International**, 27(1), 1-12.
- Singh, H., Naik, B., Kumar, V., & Bisht G. S. (2017). Screening of endophytic actinomycetes for their herbicidal activity. **Annals of Agrarian Sciences**, 16(2), 1-20.
- Singh, A. A., Rajeswari, G., Nirmal, L. A., & Jacob, S. (2021). Synthesis and extraction routes of allelochemicals from plants and microbes. **Reviews in Analytical Chemistry**, 40(1), 293–311.
- Strobel, G., Daisy, B., Castillo, U., & Harper, J. (2004). Natural products from endophytic microorganisms. **Journal of Natural Products**, 67(2), 257-268.
- Shimizu, M., Nakagawa, Y., Sato, Y., Furumai, T., Igarashi, Y., Onaka, H., Yoshida, R., & Kunoh, H. (2000). Studies on endophytic actinomycete (I) *Streptomyces* sp. Isolated from rhododendron and its antifungal activity. **Journal of General Plant Pathology**, 66(4), 360-366.
- Tripathi, A., Pandey, P., Tripathi, S. N., & Kalra, A. (2022). Perspectives and potential applications of endophytic microorganisms in cultivation of medicinal and aromatic. **Plant Science**, 13(1), 1-21.
- Wang, Y., Zhang, W., Liu, W., Ahammed, G. J., Wen, W., Guo, S., Shu, S., & Sun, J. (2021). Auxin is involved in arbuscular mycorrhizal fungi-promoted tomato growth and NADP-malic enzymes expression in continuous cropping substrates. **BMC Plant Biology**, 21(48), 1-12.
- Waqas, M., Khan, A. L., Ali, L., Kang, S. M., Kim, Y. H., & Lee, I. J. (2013). Seed germination-influencing bioactive secondary metabolites secreted by the Endophyte *Cladosporium cladosporioides* LWL5. **Molecules**, 18(12), 15519-15530.

การถอดบทเรียนการใช้โดรนเพื่อการเกษตร กรณีศึกษากลุ่มเกษตรกรรายแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรี

Lessons Learned of Using Drone for Agriculture: A Case Study of Mega Farm Enterprises in Suphan Buri Province

ทรงชัย ทองปาน^{1*} และกฤชญาณ อินทรรัตน์¹

Songchai Thongpan^{1*} and Kritchayan Intarat¹

Received date: 23 ก.ค. 67 Revised date: 21 ต.ค. 67 Accepted date: 30 ต.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.16.006>

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเกษตรกรได้นำโดรนเพื่อการเกษตรมาใช้ในการทำนามากยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับกลุ่มเกษตรกรรายแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรีที่ได้จัดหาโดรนมาเพื่อให้บริการแก่เกษตรกรในพื้นที่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 3 ประการ ได้แก่ 1) เพื่อสำรวจสถานะการใช้โดรนเพื่อการเกษตร 2) เพื่อถอดบทเรียนการใช้โดรนเพื่อการเกษตร และ 3) เพื่อพัฒนาศักยภาพการใช้โดรนเพื่อการเกษตร ของกลุ่มเกษตรกรรายแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้วิธีการวิจัยเชิงผสมผสานระหว่างงานวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ กลุ่มเป้าหมายในงานนี้คือตัวแทนเกษตรกรรายแปลงใหญ่จำนวน 57 กลุ่ม เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์ การสัมภาษณ์เชิงลึก การสนทนากลุ่ม และการฝึกอบรม โดยมีการตอบกลับมาจำนวน 48 กลุ่ม ผลการศึกษาพบว่า มีกลุ่มเกษตรกรรายแปลงใหญ่ 8 กลุ่มที่มีโดรนเพื่อการเกษตรเป็นของตนเอง ผ่านการสนับสนุนงบประมาณจากภาครัฐ เพื่อให้บริการแก่เกษตรกรที่เป็นสมาชิกในกลุ่ม และที่ไม่เป็นสมาชิกในกลุ่ม ส่วนกลุ่มเกษตรกรรายแปลงใหญ่จำนวน 40 กลุ่มที่เหลือส่วนใหญ่มีสมาชิกบางรายที่ใช้บริการโดรนเพื่อการเกษตรจากเอกชน ทั้งในชุมชน และนอกชุมชน จากการสนทนากลุ่มถอดบทเรียนสามารถจำแนกบทเรียนได้เป็น 7 บทเรียน ได้แก่ 1) บทเรียนการขอรับการสนับสนุนงบประมาณเพื่อจัดหาโดรนเพื่อการเกษตร 2) บทเรียนในการเลือกซื้อโดรนเพื่อการเกษตร 3) บทเรียนในการสรรหา และการบริหารบุคลากรที่ทำหน้าที่ในการควบคุมโดรนเพื่อการเกษตร 4) บทเรียนการให้บริการโดรนเพื่อการเกษตร 5) บทเรียนการเตรียมความพร้อมก่อนการบินโดรนเพื่อการเกษตร 6) บทเรียนการบินโดรนเพื่อการเกษตร และ 7) บทเรียนการดูแลรักษาหลังบินโดรนเพื่อการเกษตร จากบทเรียนข้างต้นสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาศักยภาพให้กับกลุ่มเกษตรกรรายแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรี และในจังหวัดอื่น ๆ ต่อไป

คำสำคัญ: กลุ่มเกษตรกรรายแปลงใหญ่ การถอดบทเรียน โดรนเพื่อการเกษตร จังหวัดสุพรรณบุรี

Abstract

Nowadays, farmers increasingly use agricultural drones for farming. Besides, a group of mega-farm enterprises in Suphan Buri Province has procured drones to provide services to local farmers. Therefore, this research has three objectives: 1) to investigate the state of using drone for agriculture, 2) to examine the lessons learned, and 3) to develop the potential of using agricultural drones employing mixed-methods research of quantitative and qualitative. The target group of this work consisted of 57 representatives from mega-farm enterprises. Data collection was operated using interview form, deep interview, group interview, and workshop. There were 48 responses for the distributed interview forms. The results revealed that 8 mega-farm enterprises obtained their agricultural drones through the support of the government. These drone services were provided both for the members of the group and non-members alike. Meanwhile, some farmers from the other 40 groups used drone services from private companies within and outside the local area. The lessons learned can be divided into seven lessons, i.e., 1) a lesson from requesting budget support to procure drones for agriculture, 2) a lesson in determining to buy a drone for agriculture, 3) a lesson in recruiting and managing personnel's responsibility for controlling agricultural drones, 4) a lesson on drone service for agriculture, 5) a lesson on preparation before flying drones for agriculture, 6) a lesson on drone flying, and 7) a maintenance lesson after flying drones. The above lessons learned can further develop the potential of a group of mega-farm enterprises in Suphan Buri Province and other provinces.

Keywords: mega-farm enterprise, lessons learned, agricultural drone, Suphan Buri Province

¹ สาขาวิชาภูมิศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

¹ Geography Department, Faculty of Liberal Arts, Thammasat University, Pathumthani 12121

* Corresponding author: songchiaus@yahoo.com

คำนำ

ในปัจจุบันได้เกิดปัญหาต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตในภาคเกษตร โดยเฉพาะกับเกษตรกรผู้ผลิตข้าวซึ่งเป็นพืชอาหาร และพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศ อาทิ ปัญหาผลผลิตตกต่ำเพราะการระบาดของโรค ผลกระทบจากภัยธรรมชาติ รวมถึงความผันผวนของราคาผลผลิต ฯลฯ ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ได้ส่งผลให้เกษตรกรมีหนี้สินเพิ่มขึ้นจาก 140,404 บาทต่อปี (พ.ศ. 2554) มาเป็น 311,098 บาทต่อปี (พ.ศ. 2564) (National Statistical Office, 2024) นอกจากนี้ปัญหาต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น โดยเฉพาะจากค่าปุ๋ยและค่าสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืช เนื่องจากเกษตรกรใช้ไม่ถูกชนิด ไม่ถูกเวลา และใช้ในอัตราไม่เหมาะสม ทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากเกินความจำเป็น รวมถึงการขาดแคลนเทคโนโลยีที่จะมาช่วยลดต้นทุนในการผลิตดังกล่าว (Rice Department, 2016) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการขาดแคลนแรงงาน ซึ่งธนาคารแห่งประเทศไทยระบุว่า สัดส่วนแรงงานในภาคเกษตรมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยลดลงเฉลี่ยประมาณ 150,000 คนต่อปี นอกจากนี้กลุ่มเกษตรกรยังมีอายุสูงขึ้น ในขณะที่สัดส่วนของเกษตรกรที่มีอายุต่ำกว่า 40 ปีมีจำนวนน้อยลง ส่งผลให้ภาคเกษตรกำลังประสบกับปัญหาการขาดแคลนแรงงาน (Tansi, 2023)

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทำให้มีการนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ หรือโดรน (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) มาใช้ในการเกษตรมากขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนแรงงาน และเพื่อลดต้นทุนในการผลิต อาทิ ใช้ในกิจกรรมการหว่านปุ๋ย และการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชในนาข้าว เนื่องจากโดรนมีประสิทธิภาพในการทำงานดีกว่าการใช้แรงงานคน สามารถลดระยะเวลาในการทำงานได้ อาทิ พื้นที่ปลูกข้าว 10 ไร่ จะใช้เวลาในการฉีดพ่น และหว่านปุ๋ยเพียงประมาณ 10 นาที และใช้แรงงานคนในการควบคุมเพียง 1 – 2 คนเท่านั้น ลดเวลาที่ต้องใช้คนนำถังสารเคมีฉีด หรือพ่นสารไปตามพื้นที่เกษตรซึ่งใช้เวลานาน และไม่สามารถพ่นสารได้อย่างทั่วถึง อีกทั้งยังช่วยลดการเดินเข้าในแปลงเกษตรที่จะทำให้เกิดการเหยียบย่ำพืชผลทำให้เกิดความเสียหาย ดังนั้นหากมีการวางแผนในระยะยาว การใช้โดรนพ่นสารจะทำให้ลดต้นทุนมากกว่าการจ้างคนเพื่อพ่นสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืช และสามารถแก้ไขปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงานคนได้ (Digital Economy Promotion Agency, 2024)

นอกจากนี้เกษตรกรยังสามารถประยุกต์ใช้โดรนในกิจกรรมทางการเกษตรอื่น ๆ อาทิ การใช้โดรนในการรดน้ำ การให้ฮอร์โมน โดรนสำหรับการถ่ายภาพ วิเคราะห์/ตรวจโรคพืช (Digital Economy Promotion Agency, 2024; Punyawattoe, et al., 2019) โดยเฉพาะในกรณีของกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ ซึ่งเป็นการรวมกลุ่มของเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่ที่มีการวางระบบการผลิต และการบริหารจัดการการผลิตร่วมกัน ผ่านการสนับสนุนจากภาครัฐ อีกทั้งในปัจจุบันยังมีกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่จำนวนมากที่ได้มีการจัดหาโดรนมาให้บริการแก่สมาชิกในกลุ่ม เฉพาะจังหวัดสุพรรณบุรีเองมี 8 กลุ่ม จากกลุ่มนาแปลงใหญ่ 57 กลุ่ม นอกจากนี้ยังมีผู้ประกอบการรายย่อยที่ให้บริการบินโดรนเพื่อกิจกรรมดังกล่าวอีกจำนวนมาก (Leelawanich, 2022)

ทั้งนี้จากการลงพื้นที่พบว่า ในปัจจุบันกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ที่ใช้โดรน โดยเฉพาะผู้ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมโดรนได้สั่งสมประสบการณ์ และความเชี่ยวชาญในการบินโดรนเพื่อการเกษตรมาได้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง แต่ยังคงขาดการสรุปบทเรียน และการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกัน อีกทั้งยังพบว่า ผู้ควบคุมการบินโดรนบางคนยังคงประสบปัญหาที่สะท้อนให้เห็นถึงการขาดองค์ความรู้บางประการในการใช้โดรน อาทิ การแก้ไขปัญหาเบื้องต้นเมื่อโดรนเสียหายจากการบิน การลดต้นทุนการใช้โดรนแต่ละครั้ง การใช้โดรนอย่างถูกวิธี และความปลอดภัยตามมาตรฐานการบินโดรน ถึงแม้ว่าที่ผ่านมามีหน่วยงานต่าง ๆ จะจัดให้มีการฝึกอบรมการใช้โดรนเพื่อการเกษตร แต่การฝึกอบรมดังกล่าวยังขาดความทั่วถึง ทำให้การฝึกอบรมมีไม่เพียงพอ และครอบคลุมกับจำนวนเกษตรกร ซึ่งมีการใช้โดรนมากขึ้น อีกทั้งหลักสูตรที่ทำการอบรมยังไม่สอดคล้องกับฐานประสบการณ์ และความต้องการของเกษตรกรผู้ใช้โดรน (Department of Skill Development, 2022) ด้วยยังขาดการถอดบทเรียนในการใช้โดรนของเกษตรกร เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาเกษตรกร

ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะถอดบทเรียนการใช้โดรนของเกษตรกรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่จำนวนถึง 57 แปลง แม้ว่าจะมีกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่เพียง 8 กลุ่มที่ของบประมาณจากนาแปลงใหญ่ในการจัดหาโดรนมาเป็นของกลุ่มเอง แต่สมาชิกกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ที่เหลือก็เป็นผู้ใช้บริการโดรนจากภาคเอกชน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์การวิจัย 3 ประการ คือ (1) เพื่อสำรวจสถานการณ์การใช้โดรนเพื่อการเกษตร ของกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรี (2) เพื่อถอดบทเรียนการใช้โดรนเพื่อการเกษตรของกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรี และ (3) เพื่อพัฒนาศักยภาพการใช้โดรนเพื่อการเกษตรให้กับกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรี ผ่านการฝึกอบรมภายหลังจากได้บทเรียนแล้ว

ดังนั้นองค์ความรู้ที่ได้จากการถอดบทเรียนครั้งนี้ จึงช่วยพัฒนาศักยภาพการใช้โดรนเพื่อการเกษตรให้กับกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ นอกจากนี้การถอดบทเรียนครั้งนี้ยังทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างเกษตรกรด้วยกันเอง เพื่อให้เกิดการพัฒนาทักษะความรู้ในการใช้โดรนเพื่อการเกษตรเพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้มาพัฒนาศักยภาพให้แก่กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรี

ผลการศึกษานี้จึงสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาศักยภาพให้กับเกษตรกรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดอื่น ๆ ใกล้เคียงต่อไป

วิธีการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้ เป็นงานวิจัยผสมผสาน ทั้งการวิจัยเชิงปริมาณ และการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยมีกลุ่มเป้าหมายในการศึกษา ได้แก่ กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรีจำนวน 57 กลุ่ม

เครื่องมือ/วิธีการในการเก็บข้อมูล ได้แก่ (1) แบบสัมภาษณ์สถานการณ์การใช้โดรนเพื่อการเกษตรของกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ ซึ่งผ่านประเมินความเที่ยงจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 คน รวมถึงได้ผ่านการนำแบบสัมภาษณ์ดังกล่าวไปทดสอบความเชื่อมั่นเก็บข้อมูลจากเกษตรกรในจังหวัดใกล้เคียง ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรีจำนวน 10 ชุด พร้อมปรับแก้ จากนั้นได้ส่งแบบสัมภาษณ์ไปยังกลุ่มเป้าหมาย (กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรีจำนวน 57 กลุ่ม) ผลการเก็บข้อมูลมีกลุ่มนาแปลงใหญ่ตอบแบบสัมภาษณ์กลับมาจำนวน 48 กลุ่ม (ร้อยละ 84.00) (2) การสัมภาษณ์เชิงลึกประธานกลุ่ม และผู้ควบคุมโดรนในกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีโดรนเป็นของตนเอง จำนวน 5 กลุ่ม (จาก 8 กลุ่ม) เพื่อเก็บข้อมูลเชิงลึกของกลุ่มเกษตรกรที่มีโดรนการเกษตร (3) การสนทนากลุ่มเพื่อถอดบทเรียนผู้ควบคุมโดรนในกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ที่มีโดรนเป็นของตนเองจำนวน 5 กลุ่ม กลุ่มละ 1 ครั้ง และ (4) การฝึกอบรมตัวแทนกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งมีตัวแทนเข้าร่วมจำนวน 30 คน จาก 26 กลุ่ม (ร้อยละ 45.60)

ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลเริ่มจาก (1) ศึกษาบริบททั่วไปของจังหวัดสุพรรณบุรี ทั้งบริบททางกายภาพ ประชากร สังคม และเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องกับประเด็นวิจัย รวมถึงบริบทที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่จากเอกสารต่าง ๆ (2) สัมภาษณ์การใช้โดรนเพื่อการเกษตรของกลุ่มเป้าหมายจำนวน 57 กลุ่ม (กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรี) ด้วยแบบสัมภาษณ์ (3) สัมภาษณ์เชิงลึก ประธานกลุ่ม และผู้ควบคุมโดรนเพื่อการเกษตร (4) สนทนากลุ่มเพื่อถอดบทเรียนกลุ่มผู้ควบคุมโดรนเพื่อการเกษตร และ (5) จัดอบรมให้ความรู้เพื่อพัฒนาทักษะในการบินโดรนเพื่อการเกษตร

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลนั้น สามารถจำแนกได้เป็น 2 ส่วน คือ (1) ข้อมูลเชิงปริมาณวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ (2) ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึก และการสนทนากลุ่ม จะใช้วิธีการวิเคราะห์แบบแผน พร้อมทั้งเปรียบเทียบ และจัดกลุ่มคำตอบตามวัตถุประสงค์การวิจัย เพื่อนำไปใช้สำหรับการพัฒนาศักยภาพการใช้โดรนเพื่อการเกษตรให้แก่กลุ่มเป้าหมายผ่านการจัดอบรมให้ความรู้ต่อไป

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สถานการณ์ใช้โดรนเพื่อการเกษตร

จากการศึกษาสถานการณ์ของการใช้โดรนเพื่อการเกษตรของนาแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรีที่กลุ่มเป้าหมายได้ให้ข้อมูลผ่านแบบสัมภาษณ์กลับมาทั้งกลุ่มที่มีโดรนเป็นของตนเอง (จำนวน 8 กลุ่ม) และกลุ่มที่ไม่มีโดรนเป็นของตนเอง (40 กลุ่ม) กระจายทั้งจังหวัดสุพรรณบุรี สามารถสรุปได้ว่า

1) **กลุ่มที่มีโดรนเป็นของตนเอง** สาเหตุหลักที่ทำให้กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่จัดหาโดรนเพื่อการเกษตรมาให้บริการแก่สมาชิกก็เพราะปัจจัยด้านแรงงานเป็นหลัก อาจเนื่องมาจากสมาชิกส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุจึงต้องจ้างแรงงานเพื่อฉีดพ่นสารเคมี ในขณะที่แรงงานในพื้นที่มีจำนวนจำกัด โดรนเพื่อการเกษตรจึงเข้ามาช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ได้นำโดรนมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการฉีดพ่นเป็นหลัก ทั้งฉีดพ่นสารเคมีกำจัดแมลง โรคพืช ฉีดพ่นฮอร์โมน/สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช รวมถึงฉีดพ่นสารควบคุมวัชพืชนานาข้าว

ทั้งนี้กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ที่มีโดรนเพื่อการเกษตร 1 – 2 ลำ มีพื้นที่เพียงพอ และไม่เพียงพอต่อการให้บริการแก่สมาชิก อาจเนื่องมาจากบางกลุ่มประสบปัญหาโดรนชำรุด แบตเตอรี่เสื่อม บางช่วงเวลาเกษตรกรมีความต้องการใช้โดรนพร้อมกัน บางพื้นที่ที่มีการทำนาหลายรอบ ทำให้สมาชิกแก้ไขปัญหาด้วยการใช้บริการจากโดรนของเอกชนที่ให้บริการอยู่ในพื้นที่ ทั้งนี้โดรนที่กลุ่มใช้อยู่มีหลากหลายยี่ห้อ (Figure 1) แต่ส่วนใหญ่เป็นของ DJI AGRAS T20 และ Nacdrone มีทั้งโดรนประกอบ และโดรนสำเร็จ เป็นการซื้อผ่านตัวแทนมากกว่าซื้อโดยตรงจากบริษัท โดยทุกกลุ่มซื้อในปี พ.ศ. 2564 ผ่านการสนับสนุนงบประมาณจากโครงการยกระดับแปลงใหญ่ และโดรนส่วนใหญ่มีราคาต่ำกว่า หรือเท่ากับ 400,000 บาท ทั้งนี้โดรนทุกตัวมีประกัน และมีวงเงินคุ้มครอง แต่จะต่างกันไปตามรูปแบบการคุ้มครอง อย่างไรก็ตามโดรนของกลุ่มนาแปลงใหญ่มักจะประสบกับปัญหาระยะเวลาประกันที่สั้น อีกทั้งจำนวนครั้งในการประกันการตกยังมีจำนวนจำกัด

สำหรับการให้บริการบินโดรน กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่เกือบทั้งหมดให้บริการกับให้กับเกษตรกร ซึ่งเป็นสมาชิกในกลุ่ม และเกษตรกรที่ไม่ได้เป็นสมาชิกกลุ่ม มีกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้นที่ให้บริการเฉพาะสมาชิกในกลุ่ม โดยสมาชิกจะเสียค่าบริการในอัตราที่ต่ำกว่าผู้ใช้บริการที่ไม่ได้เป็นสมาชิก บางกลุ่มได้สิทธิในการใช้บริการในฐานะสมาชิกก่อน การชำระค่าบริการมีความยืดหยุ่นกว่า โดยการจ่ายค่าบริการส่วนใหญ่จะจ่ายโดยตรงกับคนบินโดรน ช่วงเวลาในการให้บริการในแต่ละกลุ่มจะแตกต่างกันไปตามกิจกรรมการทำนา ซึ่งแตกต่างกันไปตามฤดูกาล และจำนวนรอบในการทำนา โดยฤดูฝนจะมีปริมาณงานมาก ส่วนฤดูแล้งมีการให้บริการน้อยเพราะบางพื้นที่มีข้อจำกัดเรื่องน้ำส่งผลให้สามารถทำได้เฉพาะนาปี นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับภาระของโรคในนาข้าวของแต่ละพื้นที่ การให้บริการแต่ละครั้งจะใช้คน 2 คน ได้แก่ ผู้ควบคุมโดรน และคนผสมสารเคมี แต่ก็สามารถให้บริการเพียงคนเดียวได้ ทั้งนี้ การให้บริการสามารถกระทำได้ทั้งวัน ยกเว้นกรณีสภาพอากาศแปรปรวน อาทิ ฝนตก หรือ มีลมแรง



Figure 1 Agriculture drone of a mega farm enterprises in Suphan Buri Province.

ในส่วนของผู้ควบคุมโดรนนาแปลงใหญ่ทุกกลุ่มเป็นเพศชาย ส่วนใหญ่อายุ 31 – 39 ปี จบการศึกษาจากหลากหลายระดับ และไม่ได้จบทางด้านเกษตรหรือการประยุกต์โดรนเพื่อให้บริการด้านการเกษตรโดยตรง มีทั้งที่เต็มใจ และไม่เต็มใจมาเป็นผู้ควบคุมโดรน กลุ่มที่เต็มใจเพราะโดยพื้นฐานมีความสนใจ มีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีมาก่อน ส่วนกลุ่มที่ไม่เต็มใจเพราะกลุ่มขาดแคลนคนควบคุมโดรน ทั้งนี้ผู้ควบคุมโดรนเกือบทั้งหมดเป็นบุตร หลาน หรือญาติของประธานกลุ่มนาแปลงใหญ่ อาจเนื่องมาจากมีความสะดวกในการบริหารจัดการ ด้วยเป็นงานที่ต้องมีความรับผิดชอบ มีเรื่องเงินเข้ามาเกี่ยวข้อง อีกทั้งอุปกรณ์ยังมีราคาสูง ทั้งนี้ผู้ควบคุมโดรนส่วนใหญ่มีประสบการณ์เพียง 2 ปี บินโดรนได้ และซ่อมแซมได้บางส่วน ในช่วงแรกได้ความรู้การบินโดรนจากการฝึกอบรมจากบริษัทผู้จำหน่ายโดรน ซึ่งยังมีข้อจำกัดทั้งในด้านจำนวนวันสอน วิธีการสอน เนื้อหา ความรู้ของผู้สอน การติดตามช่วยเหลือหลังจากอบรม เป็นต้น หลังจากนั้นได้ความรู้จากการเรียนรู้ด้วยตัวเอง ทั้งจากสื่อออนไลน์ต่าง ๆ โดยเฉพาะ

ยูทูป และจากประสบการณ์การควบคุมโดรน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันบางกลุ่มประสบปัญหาขาดแคลนผู้ควบคุมโดรน อาจเนื่องมาจากบางพื้นที่ไม่มีงานฉีดพ่นสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชให้ทำตลอดทั้งปี ทำให้ผู้ควบคุมโดรนต้องออกไปทำงานอย่างอื่นแทน สำหรับในด้านการควบคุมโดรนเพื่อการเกษตร ทั้งก่อนบิน ระหว่างบิน และหลังบิน เมื่อเทียบกับแนวปฏิบัติในการควบคุมโดรนที่เป็นมาตรฐานสามารถสรุปได้ว่า

(1) ในกิจกรรมก่อนการบินโดรนเพื่อการเกษตร กิจกรรมที่ผู้ควบคุมโดรนทุกกลุ่มมีการดำเนินการก่อนบิน ได้แก่ การตรวจสอบอุปกรณ์โดรน ได้แก่ ใบพัด มอเตอร์ อุปกรณ์ควบคุมก่อนการใช้งาน (ร้อยละ 100.00) การตรวจสอบการจับสัญญาณ GPS ระบบเข็มทิศ ระดับแบตเตอรี่โดรน (ร้อยละ 100.00) การตรวจสอบอุปกรณ์หัวฉีดพ่น ใส่กรอง ไล่อากาศออกจากท่อฉีดพ่น ตั้งค่าการแจ้งเตือนถึงเปล่า (ร้อยละ 100.00) การวางแผนการบินในพื้นที่ ระยะห่าง ความสูง และคำนวณระยะเวลาการทำงาน หรือการตรวจสอบแปลงนา (ร้อยละ 100.00) ส่วนกิจกรรมที่มีผู้บินโดรนส่วนใหญ่มีการดำเนินการก่อนบิน ได้แก่ การตรวจสอบสภาพลมฟ้าอากาศ และสภาพแวดล้อมก่อนนำเครื่องขึ้น และลง (ร้อยละ 87.50) การคำนวณปริมาณสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืช ปุ๋ย หรือเมล็ดพันธุ์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ทำงาน (ร้อยละ 75.00) การตรวจสอบการตั้งค่าจุด Home Point (ร้อยละ 75.00) ส่วนกิจกรรมที่มีผู้บินโดรนเฉพาะบางส่วนมีการดำเนินการก่อนบิน ได้แก่ การสำรวจศัตรูพืชในแปลงก่อนบิน (ร้อยละ 50.00)

(2) กิจกรรมระหว่างการบินโดรนเพื่อการเกษตร ที่ผู้บินโดรนทั้งหมดมีการดำเนินการระหว่างบิน ได้แก่ การติดตามการทำงานของโดรนอย่างใกล้ชิด (ร้อยละ 100.00) การเผื่อระวางอุปสรรค หรือสิ่งกีดขวางต่าง ๆ (ร้อยละ 100.00) การติดตามปริมาณแบตเตอรี่อยู่ตลอดเวลา (ร้อยละ 100.00) การเผื่อระวางไม่ให้ระดับของสารฉีดพ่นต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อป้องกันปมฉีดพ่นเสียหายเมื่อน้ำสารเคมีหมด (ร้อยละ 100.00) และกิจกรรมที่มีผู้บินโดรนส่วนใหญ่มีการดำเนินการระหว่างบิน ได้แก่ คอยปรับอัตราการฉีดพ่นให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ที่โดรนบินผ่าน (ร้อยละ 75.00)

(3) กิจกรรมหลังการบินโดรนเพื่อการเกษตร ที่ผู้บินโดรนทั้งหมดมีการดำเนินการหลังการบิน ได้แก่ การตรวจสอบมอเตอร์ ใบพัด อุปกรณ์โดรนหลังการใช้งาน (ร้อยละ 100.00) การล้างหัวฉีด ถังบรรจุสารเคมีตามคู่มือการใช้งาน (ร้อยละ 100.00) การทำความสะอาดชุดเครื่องตามคู่มือการใช้งาน (ร้อยละ 100.00) การเก็บแบตเตอรี่โดยรอให้อุณหภูมิแบตเตอรี่ลดลงประมาณ 10 นาทีแล้วค่อยจัดเก็บ (ร้อยละ 100.00) การกำจัดสารเคมีอันตราย (ร้อยละ 100.00) ส่วนกิจกรรมที่มีผู้บินโดรนส่วนใหญ่มีการดำเนินการหลังบิน ได้แก่ การทำความสะอาดโครงสร้างต่าง ๆ ของโดรน (ร้อยละ 87.50) เมื่อมีการจัดเก็บเกิน 10 วัน ผู้ควบคุมโดรนได้ถอดแบตเตอรี่ออก และมีไฟในแบตเตอรี่ประมาณร้อยละ 50 – 70 (ร้อยละ 87.50) การจัดเก็บใบพัด พับแขน ใส่โพลียูทิลีนโดรน (ร้อยละ 75.00)

ในส่วนของปัญหาในการควบคุมโดรนเพื่อการเกษตร พบว่า ปัญหาที่มีระดับรุนแรงมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่มีต้นไม้จำนวนมาก เสี่ยงต่อการบิน (ร้อยละ 88.00) ส่วนปัญหาในการใช้โดรนที่อยู่ในระดับรุนแรงมากที่สุด ได้แก่ กลุ่มยังต้องพึ่งพิงบริษัทผู้จำหน่ายโดรนในการแก้ไขปัญหาแต่ละครั้ง (ร้อยละ 75.00) การควบคุมโดรนในสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยทำได้ยาก (ร้อยละ 75.00) อะไหล่แพง หายาก (ร้อยละ 75.00) และต้นทุนในการควบคุมโดรนแต่ละครั้งสูงกว่ารายได้ที่ได้รับมา (ร้อยละ 63.00)

ทั้งนี้ความรู้ที่ผู้ควบคุมโดรนยังขาด ได้แก่ ด้านตัวโดรน ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับระบบโปรแกรมต่าง ๆ องค์ความรู้เกี่ยวกับการซ่อมแซมอุปกรณ์ การซ่อมบำรุงโดรน องค์ความรู้เกี่ยวกับอะไหล่ อุปกรณ์ ด้านการควบคุมโดรน ได้แก่ ความรู้เรื่องการวาดแปลง การวางแผนการบินในการฉีดแต่ละรอบ ทิศทางลม ด้านสารเคมี ได้แก่ องค์ความรู้เรื่องการผสมสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืช การใช้ปริมาณสารเคมี ตัวสารเคมี การออกฤทธิ์ และนอกจากผู้ควบคุมโดรนจะขาดความรู้ดังกล่าวแล้ว เกษตรกรเจ้าของนาที่ใช้บริการก็ยังขาดความรู้ด้วยเช่นเดียวกัน

สำหรับความต้องการการช่วยเหลือจากภาครัฐ หรือหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย (1) ด้านนโยบาย ได้แก่ เนื้อหาเกี่ยวกับการให้ความรู้ แนวทาง นโยบายการใช้โดรนเพื่อการเกษตรในอนาคต (2) ด้านงบประมาณ ได้แก่ ต้องการการสนับสนุนงบประมาณที่ครอบคลุมไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ และต้องการงบประมาณเพื่อนำมาซื้อโดรนสำหรับหว่านข้าว (3) ด้านการรวมกลุ่ม ได้แก่ ต้องการความรู้เกี่ยวกับการตั้งเป็นห้างหุ้นส่วนจำกัด การปิดงบประมาณ และ (4) ด้านตัวโดรน ได้แก่ ควรมีการจัดตั้งหน่วยงานส่วนกลางที่ทำหน้าที่ในการรับประกัน และการซ่อมบำรุงโดรน

ส่วนข้อเสนอแนะหากมีการจัดให้มีการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้โดรนเพื่อการเกษตร ประกอบด้วย (1) ด้านตัวโดรน ได้แก่ การบริหารจัดการโดรนเพื่อการเกษตรสำหรับมือใหม่ เทคโนโลยีที่จะนำมาสนับสนุนผู้สูงอายุในการทำเกษตร การซ่อมโดรน การเชื่อมต่อระบบ การใช้ซอฟต์แวร์ การดูแลรักษาโดรน (2) ด้านการควบคุมโดรน ได้แก่ ทฤษฎีโดรน หลักการ เทคนิคการบินโดรน พื้นฐานการบินโดรน การควบคุมด้วยวิทยุ (3) ด้านสารเคมี ได้แก่ ตัวสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืช สารออกฤทธิ์ เวลาในการฉีดพ่น ส่วนผสมสารเคมี วิธีการผสมสารเคมี ปริมาณสารเคมี ความระมัดระวังในการปนเปื้อนของสารเคมีในแปลงติดกัน และ (4) ด้านกลุ่มนาแปลงใหญ่ ได้แก่ การจดทะเบียนเป็นห้างหุ้นส่วนจำกัด การจัดทำงบประมาณ

2) **กลุ่มที่ไม่มีโดรนเป็นของตนเอง** ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ที่ไม่มีโดรนเป็นของตนเองเกือบทั้งหมด ไม่มีสมาชิกที่มีโดรนเพื่อการเกษตร ด้วยเพราะขาดเงินทุนในการนำมาซื้อโดรน และการบริหารจัดการโดรน ขาดบุคลากรที่จะสามารถดูแล ควบคุมโดรนได้ ขาดการฝึกอบรม ไม่มีความรู้ และสมาชิกในกลุ่มบางส่วนยังนิยมใช้แรงงานคนในการฉีดพ่นสารเคมี มองการมีโดรนเป็นของกลุ่มเองไม่คุ้มค่า และบางกลุ่มสมาชิกขาดความสนใจ

อย่างไรก็ตามแม้จะไม่มีโดรนเพื่อการเกษตร แต่สมาชิกบางคนใช้บริการโดรนเพื่อการเกษตรจากเอกชนทั้งในชุมชน และนอกชุมชน ด้วยเหตุผลที่เพราะประหยัดเวลา ประหยัดค่าใช้จ่าย สะดวกสบาย การฉีดพ่นด้วยโดรนสารเคมีจับใบข้าวได้ดีกว่า เพราะเป็นละอองได้ดีกว่า คนฉีดไม่ต้องลุยข้าวทำให้ข้าวไม่ล้มเสียหาย ฉีดพ่นได้ทั่วถึงกว่าใช้แรงงานคน และสามารถใช้โดรนในพืชประเภทอื่น ๆ เช่น อ้อย ข้าวโพด และมันสำปะหลัง ส่วนกลุ่มที่ไม่มีสมาชิกคนใดใช้บริการโดรนเพื่อการเกษตร เพราะยังนิยมใช้แรงงานคนในการฉีดพ่นปุ๋ย การพ่นสารป้องกันกำจัดโรค และแมลงเป็นหลัก มีแรงงานที่รับจ้างฉีดพ่นสารเคมีเพียงพอ สมาชิกบางคนฉีดพ่นสารเคมีเอง เพราะประหยัด บางกลุ่มมีรถฉีดพ่น เห็นว่าโดรนไม่เหมาะกับข้าวที่โตแล้วเพราะเข้าใจว่าลมจากใบพัดโดรนอาจส่งผลให้เกิดความเสียหาย เห็นว่าการใช้โดรนในการฉีดพ่นยังไม่ค่อยมีประสิทธิภาพเหมือนกับการใช้คนฉีด รวมถึงบางพื้นที่ขาดแคลนคนให้บริการบินโดรนเพื่อการเกษตร

สำหรับแหล่งที่สมาชิกในกลุ่มใช้บริการโดรนเพื่อการเกษตรมากที่สุด คือ จากผู้ให้บริการนอกชุมชน (ร้อยละ 62.25) รองลงมา ได้แก่ ผู้ให้บริการที่เป็นคนในชุมชน (ร้อยละ 37.75) โดยคนนอกชุมชนที่รับจ้างบินโดรนนั้น มีทั้งที่มาจากอำเภอใกล้เคียงมาจากอำเภออื่น ๆ ในจังหวัดสุพรรณบุรี และจากจังหวัดอื่น ๆ โดยสาเหตุที่ทำให้สมาชิกกลุ่มใช้โดรนเพื่อการเกษตร อาจเนื่องจากเหตุผลด้านแรงงานเป็นหลักเช่นเดียวกับกลุ่มที่มีโดรนเพื่อการเกษตร เพราะโดรนช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน (ร้อยละ 80.00) รองลงมา ได้แก่ ช่วยลดเวลาในการทำงาน (ร้อยละ 75.50) โดยสมาชิกในกลุ่มนาแปลงใหญ่ใช้โดรนเพื่อวัตถุประสงค์ในการฉีดพ่นเป็นหลัก (ร้อยละ 95.00) รองลงมา คือ เพื่อหว่านเมล็ดข้าวและปุ๋ยในนา (ร้อยละ 57.50) สำหรับการใช้โดรนเพื่อวัตถุประสงค์ในการฉีดพ่น เป็นการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดแมลงในนาข้าว (ร้อยละ 92.50) ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืชในนาข้าว (ร้อยละ 92.50) และฉีดพ่นฮอร์โมน/สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (ร้อยละ 92.50) เป็นหลัก รองลงมาเพื่อฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดโรคพืชในนาข้าว (ร้อยละ 90.00) โดยมีอัตราค่าบริการแตกต่างกันไป ตามกิจกรรม อย่างไรก็ตามพบปัญหาในการใช้บริการที่รุนแรงมาก ได้แก่ บ่อยครั้งที่สภาพอากาศไม่เหมาะสม (ร้อยละ 70.00)

สำหรับด้านองค์ความรู้ที่กลุ่มนาแปลงใหญ่ที่ไม่มีโดรนเพื่อการเกษตรที่มีความต้องการมีลักษณะเช่นเดียวกันกับกลุ่มนาแปลงใหญ่ที่มีโดรนเพื่อการเกษตร อธิบายได้ว่า ด้านตัวโดรน ได้แก่ ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการใช้โดรนเพื่อการเกษตร การใช้โดรนเพื่อการเกษตรอย่างถูกวิธี หรือแม้จะไม่มีโดรน แต่ก็ต้องการความรู้เกี่ยวกับการควบคุมโดรน ความรู้เกี่ยวกับพิบัติการบิน ความต้องการในการพัฒนาทักษะความเชี่ยวชาญในการบิน เทคนิคในการฉีดพ่นสารเคมีให้มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลทั่วถึงทั้งแปลงด้านสารเคมี ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการผสมสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืช การผสมสารเคมีที่ใช้ในการฉีดพ่น

นอกจากนี้ยังต้องการความช่วยเหลือจากภาครัฐ หรือหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในด้านงบประมาณ ได้แก่ ต้องการการสนับสนุนงบประมาณจากรัฐทุกรูปแบบ การสนับสนุนเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำเพื่อซื้อโดรน ต้องการงบประมาณเพื่อการดูแลรักษาโดรน ต้องการความรู้เกี่ยวกับงานด้านเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงบประมาณ ด้านความรู้ ได้แก่ การฝึกอบรมการให้คำแนะนำ การให้คำปรึกษาต่าง ๆ ความรู้ในการดูแลรักษา การจัดการ การรับงานเพื่อให้บริการ การอบรมให้ความรู้แก่ผู้ใช้บริการโดรนที่เป็นผู้สูงอายุ และจัดให้มีศูนย์ให้คำปรึกษาที่เกี่ยวข้องกับโดรน แนะนำ ซ่อมบำรุง เมื่อมีการเสียหายเกิดขึ้นในขณะทำงาน

ส่วนข้อเสนอแนะหากมีการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้โดรนเพื่อการเกษตร ด้านตัวโดรน ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการดูแลรักษา การซ่อมบำรุงโดรน และการจัดซื้อโดรน ด้านการควบคุมโดรน ได้แก่ การควบคุมโดรน การใช้โดรนในแต่ละฤดูกาลทำนา ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต ต้องการให้ฝึกอบรมตั้งแต่ความรู้ในทฤษฎี และภาคปฏิบัติ ต้องการให้มีการอบรมการใช้อุปกรณ์ และสาธิตการใช้โดรนจริง จนสามารถบินโดรนได้ ด้านสารเคมี ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับอัตราการใส่ปุ๋ย

บทเรียนการใช้โดรนเพื่อการเกษตร

จากการถอดบทเรียนการใช้โดรนเพื่อการเกษตรของนาแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรี ทำให้สามารถจำแนกบทเรียนได้เป็น 7 บทเรียน ได้แก่ (1) บทเรียนจากการขอรับการสนับสนุนงบประมาณเพื่อจัดหาโดรนเพื่อการเกษตร (2) บทเรียนในการเลือกซื้อโดรนเพื่อการเกษตร (3) บทเรียนในการสรรหา และการบริหารบุคลากรที่ทำหน้าที่ในการควบคุมโดรนเพื่อการเกษตร (4) การให้บริการโดรนเพื่อการเกษตร (5) บทเรียนการเตรียมความพร้อมก่อนการบินโดรนเพื่อการเกษตร (6) บทเรียนการบินโดรนเพื่อการเกษตร และ (7) บทเรียนการดูแลรักษาหลังบินโดรนเพื่อการเกษตร ซึ่งสามารถสรุปบทเรียนได้ดังนี้

1) **บทเรียนจากการขอรับการสนับสนุนงบประมาณเพื่อจัดหาโดรนเพื่อการเกษตร** ผ่านโครงการยกระดับแปลงใหญ่ด้วยเกษตรสมัยใหม่ และเชื่อมโยงตลาด โดยปัญหาที่พบคือ การกำหนดให้กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ที่จะขอรับการสนับสนุน

งบประมาณต้องจัดทะเบียนเป็นนิติบุคคล งบประมาณที่ได้รับมาเป็นงบประมาณที่สนับสนุนเฉพาะตัวโดรนเท่านั้น แต่ไม่รวมอุปกรณ์อื่น ๆ งบประมาณที่ได้รับมาไม่รวมงบประมาณในการซ่อมบำรุงในพื้นที่ที่ทำนาได้เฉพาะนาปี การใช้โดรนเพื่อการเกษตรอาจไม่คุ้มค่า

แนวปฏิบัติที่ดีคือ กลุ่มเกษตรกรรณาแปลงใหญ่ที่ต้องการจะเข้าร่วมโครงการควรทำความเข้าใจรายละเอียดของโครงการให้ชัดเจน เพื่อประเมินศักยภาพของตนเองก่อน ควรต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการบริหารจัดการกลุ่มในรูปแบบของห้างหุ้นส่วนจำกัดอย่างเพียงพอ ควรประเมินความพร้อมด้านงบประมาณสำหรับการจัดซื้ออุปกรณ์เพิ่มเติม ควรร่วมกันประเมินความคุ้มค่าของการมีโดรนเพื่อการเกษตร เมื่อเปรียบระหว่างข้อดีกับข้อด้อยของการมีโดรน

2) บทเรียนในการเลือกซื้อโดรนเพื่อการเกษตร ปัญหาที่พบคือ ช่วงระยะเวลาในการสำรวจโดรนมีน้อย ปัญหาเรื่องการประกันโดรน บางบริษัทขาดการดูแลให้บริการหลังการขาย ปัญหาเรื่อง โดรนเช่าที่ยังไม่คุ้มค่า

แนวปฏิบัติที่ดีคือ กลุ่มเกษตรกรรณาแปลงใหญ่ควรมีเวลาในการสำรวจ และเลือกซื้อโดรนมากขึ้น ควรพิจารณาราคา ขนาด การประกันแบตเตอรี่ ศูนย์บริการ ควรเปรียบเทียบถึงข้อข้อดีข้อด้อยของโดรน ระหว่างโดรนสำเร็จ และโดรนประกอบ ตลอดจนการเตรียมงบประมาณสำหรับซื้อประกันโดรนเพิ่ม

3) บทเรียนในการสรรหา และการบริหารบุคลากรที่ทำหน้าที่ในการควบคุมโดรนเพื่อการเกษตร โดยมีปัญหา ได้แก่ บางกลุ่มขาดแคลนบุคลากรที่จะทำหน้าที่บินโดรน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงคนที่ทำหน้าที่ในการบินโดรน จะต้องมีการฝึกอบรมผู้ควบคุมโดรนใหม่ หากบุคลากรขาดความเชี่ยวชาญในการบินโดรน อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพในการให้บริการ เมื่อโดรนชำรุดคนบินโดรนไม่สามารถซ่อมแซมเองได้ ทักษะในการซ่อมบำรุงส่วนใหญ่เกิดจากประสบการณ์มากกว่าการได้รับการอบรมอย่างถูกวิธี คนที่ไปอบรมบินโดรนกับบริษัทอาจมีมากกว่า 2 คน แต่คนที่กลับมาทำงาน จริง ๆ อาจมีจำนวนไม่ถึง การฝึกอบรมโดยบริษัทมีข้อจำกัดหลายประการ ผู้ควบคุมโดรนในส่วนของคนผสมสารเคมียังขาดความรู้ในการใช้สารเคมี

แนวปฏิบัติที่ดีคือ ผู้ควบคุมโดรนควรมีคุณสมบัติที่เหมาะสม กลุ่มเกษตรกรรณาแปลงใหญ่อาจต้องวางแผน และเตรียมความพร้อมด้านบุคลากร โดยเฉพาะผู้ควบคุมโดรน สำหรับกลุ่มเกษตรกรรณาแปลงใหญ่ที่ไม่มีการให้บริการโดรนตลอดทั้งปี อาจต้องหาอาชีพอื่นรองรับผู้ควบคุมโดรน การเลือกซื้อโดรน กลุ่มเกษตรกรรณาแปลงใหญ่อาจต้องพิจารณาเงื่อนไขในเรื่องของการฝึกอบรมกลุ่มเกษตรกรรณาแปลงใหญ่อาจขับเคลื่อนร่วมกับหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อพัฒนาศูนย์ฝึกอบรมการใช้โดรนเพื่อการเกษตร ผู้ควบคุมโดรนสามารถแสวงหาความรู้ด้วยตัวเองผ่านช่องทางการสื่อสารออนไลน์ต่าง ๆ ก่อนที่จะออกไปให้บริการผู้ควบคุมโดรนอาจฝึกฝนตนเองให้เกิดความชำนาญก่อน

4) บทเรียนในการให้บริการโดรนเพื่อการเกษตร ปัญหาคือ อาจเกิดปัญหาการให้บริการโดรนไม่ทันกับความต้องการของผู้ใช้บริการ ผู้ควบคุมโดรนมีประสบการณ์ในการบินโดรนน้อย ลักษณะของแปลงนาทำให้เกิดความล่าช้าในการบินโดรนแปลงนาที่ให้บริการกระจายอยู่ในพื้นที่ไม่ต่อเนื่องกัน ทำให้ต้องใช้เวลาในการเดินทาง อาจเกิดปัญหาโดรนชำรุดจนไม่สามารถบริการได้ทันกับความต้องการของผู้ใช้บริการ ในบางพื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่ที่ไม่ได้ทำนาปรัง ความต้องการในการใช้บริการมีน้อยจนถึงไม่มีการใช้บริการ ในบางฤดูกาล อาจทำให้ไม่สามารถบินโดรนได้มากนัก ผู้ใช้บริการบางรายโดยเฉพาะสมาชิกอาจมีพื้นที่ปลูกข้าวน้อยจนเกิดความไม่คุ้มค่าในการให้บริการ ในบางพื้นที่แปลงนาเข้าถึงยาก รถไม่สามารถเข้าไปได้

แนวปฏิบัติที่ดีคือ กลุ่มเกษตรกรรณาแปลงใหญ่สามารถแนะนำให้สมาชิกไปใช้บริการโดรนเอกชน สร้างเป็นเครือข่ายผู้ให้บริการโดรนในพื้นที่เพื่อให้บริการแก่สมาชิก ในกรณีที่มีปริมาณงานน้อยกลุ่มควรที่จะต้องดูแลรักษาโดรนให้พร้อมสำหรับการใช้งานอยู่ตลอดเวลา ต้องประเมินความคุ้มค่าในการมีโดรนตั้งแต่ต้น ให้เกษตรกรใช้บริการคนฉีดพ่นสารแทนการใช้โดรน

5) บทเรียนการเตรียมความพร้อมก่อนการบินโดรนเพื่อการเกษตร ปัญหาคือ ในบางครั้ง ผู้บินโดรนขาดความถี่ถ้วนในการเตรียมความพร้อมก่อนการบินโดรนจนทำให้เกิดอุบัติเหตุกับโดรน เกิดปัญหาสัญญาณดาวเทียมอ่อน สัญญาณดาวเทียมขึ้นช้า สัญญาณดาวเทียมขาด อุบัติเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการขาดการวางแผนการบินที่ดี การวาดแปลงแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ ระดับความสูงของโดรนไม่แน่นอนต้องขึ้นอยู่กับความสูงของต้นข้าว สภาพอากาศรวมถึงสารเคมีที่จะฉีด ประสิทธิภาพ และประสิทธิภาพของการบินยังขึ้นอยู่กับกำหนัดแนวนบิน การบินโดรนขึ้นอยู่กับสภาพอากาศที่เหมาะสม ในการคำนวณปริมาณสารเคมีให้เหมาะสมกับพื้นที่ทำงานนั้นผู้บินโดรนยังไม่สามารถตัดสินใจได้ด้วยตัวเอง โดรนแต่ละยี่ห้อมีความแม่นยำในการกำหนด Home Point แตกต่างกัน

แนวปฏิบัติที่ดีคือ ผู้ควบคุมโดรนควรทำตามขั้นตอนในการเตรียมตัว ตรวจสอบการล็อกแขนโดรนทุกครั้งที่มีการบิน ตรวจสอบการจับสัญญาณ GPS ให้ถี่ถ้วน ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์หัวฉีดพ่น ไล่กรองด้วยวิธีการต่าง ๆ การวาดแปลงให้วาดแปลงโดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมของแปลงนา ระดับความสูงของการบินโดรนให้พิจารณาจากสภาพพื้นที่ และความสูงของต้น

ข้าว ตรวจสอบแปลงนาก่อนบิน กำหนดแนวบินจากสภาพแปลง ระยะการเติบโตของต้นข้าว สารเคมีที่ฉีด ตลอดจนสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ตรวจสอบสภาพอากาศก่อนบินโดรน กำหนด Home Point ให้แตกต่างกันไปตามยี่ห้อของโดรน

6) บทเรียนการบินโดรนเพื่อการเกษตร ปัญหาคือ บางกรณีเมื่อบินไประยะหนึ่ง ระดับความสูงของโดรนอาจต่ำลง บางกรณีแม้ว่าในกล้องจะเห็นว่าโดรนบินถึงคันทาตามที่ได้กำหนดไว้ แต่ในความเป็นจริงไปไม่ถึง ขณะโดรนบินอาจมีสิ่งกีดขวางการบินของโดรน บริเวณริมแปลงนามักเป็นพื้นที่มีต้นไม้จำนวนมาก ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการบินเนื่องจากโดรนเข้าไม่ถึง แต่ละกลุ่มจะมีจำนวนแบตเตอรี่แตกต่างกัน แบตเตอรี่ที่ใช้ในการบินโดรนแต่ละครั้งจะมีไม่เพียงพอสำหรับการใช้งาน กลุ่มที่ไม่มีรถเป็นของตนเองต้องเสียค่าใช้จ่ายในเช่ารถเพื่อออกไปให้บริการ ในกรณีที่มีพื้นที่ผิวน้ำมาก มักประสบปัญหาซาร์จแบตเตอรี่ไม่ทันกับความต้องการที่ซาร์จแบตเตอรี่ร้อน

แนวปฏิบัติที่ดีคือ ในตอนเริ่มต้นการบินโดรน ผู้บินโดรนควรตรวจสอบคลื่นสนามแม่เหล็กก่อน ในช่วงขึ้นบินผู้บินโดรนจะต้องบังคับให้โดรนบินไปยังจุดเริ่มต้นที่ใกล้ที่สุด ผู้ควบคุมต้องอยู่ห่างจากอุปกรณ์ควบคุมในระยะสายตาดูการทำงาน ผู้ควบคุมโดรนจะต้องคอยเฝ้าระวังอุปสรรค หรือสิ่งกีดขวางโดรนต่าง ๆ เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายแก่โดรน ใช้เทคนิคการบินที่จะช่วยให้เกิดการประหยัดแบตเตอรี่ นาแปลงใหญ่ต้องมีเครื่องปั่นไฟติดไปกับรถเพื่อเป็นตัวผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับซาร์จแบตเตอรี่ การเติมสารเคมีผู้บินโดรนต้องคำนวณปริมาณสารเคมีเมื่อเทียบกับเงื่อนไขต่าง ๆ ผู้บินโดรนจะต้องติดตาม และสังเกตระดับความสูงของโดรน

7) บทเรียนการดูแลรักษาหลังบินโดรนเพื่อการเกษตร ปัญหาได้แก่ คนบินโดรนบางส่วนที่ไม่ได้ตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำให้เกิดปัญหาเมื่อบินโดรนอีกครั้ง หากไม่ทำความสะอาดหัวฉีด และถังบรรจุสารเคมีทันทีที่บินโดรนเสร็จอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับหัวฉีด ในกรณีที่ไม่ได้บินโดรนเวลานานอาจทำให้อุปกรณ์เสื่อมชำรุด โดยเฉพาะแบตเตอรี่

แนวปฏิบัติที่ดีคือ ควรปฏิบัติตามแนวทางการดูแลหลังเสร็จสิ้นการควบคุมโดรนเพื่อการเกษตร ผู้บินโดรนต้องตรวจสอบว่ามอเตอร์และใบพัดชำรุดหรือไม่ หลังจากบินโดรนเสร็จผู้บินโดรนจะต้องล้างหัวฉีด และถังบรรจุสารเคมี หลังจากล้างหัวฉีด และล้างถังบรรจุสารเคมีแล้ว ผู้บินโดรนควรไล่อากาศออกจากสายยางด้วย หรือเอาปั๊มลมเป่า เพื่อไม่ให้มีน้ำค้างอยู่ในอุปกรณ์ หากเป็นโดรนตัวเล็กไม่จำเป็นต้องพับใบพัด เพื่อลดปัญหาผู้บินโดรนลืมนำใบพัด หากไม่ได้บินเป็นระยะเวลานาน ผู้บินโดรนควรดูแลแบตเตอรี่ให้เหลือไฟในแบตเตอรี่ให้เหมาะสม เรียนรู้แนวปฏิบัติในการแก้ปัญหา และการซ่อมแซมเบื้องต้นสำหรับตัวโดรน

จากผลการศึกษาข้างต้น การใช้โดรนเพื่อการเกษตรของกลุ่มเกษตรกรรายแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรี มีเป้าหมายที่สอดคล้องกับจุดเด่นของการใช้โดรนในการเกษตรคือ โดรนเป็นนวัตกรรมสำหรับลดเวลาในการทำงาน และลดแรงงานคน (Juntaworn et al, 2021; Juntaworn and Intarat, 2022; Chasuwan and Wongsasensukchariy, 2022) นอกจากนี้ยังรวมไปถึงช่วยลดอันตรายที่จะเกิดจากการใช้สารเคมี การหันมาใช้โดรนเพื่อการเกษตรของกลุ่มเกษตรกรรายแปลงใหญ่ จึงแสดงให้เห็นถึงการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance) ของเกษตรกร ตามนิยามของ Kowalska-Pyzalska (2024) ที่อธิบายการยอมรับเทคโนโลยีด้วยความเชื่อ ทศนคติ และความตั้งใจของปัจเจกบุคคล ซึ่งเมื่อได้มีการนำเอานวัตกรรมนั้น ๆ มาใช้ ปัจเจกบุคคลจะประเมินการใช้เทคโนโลยีในอนาคต ทั้งในเรื่องของการรับรู้ความสะดวกในการใช้งาน ประโยชน์ที่ได้รับรู้ ทศนคติในการใช้งาน ความตั้งใจเชิงพฤติกรรมที่จะใช้ หลังจากนั้นจึงตัดสินใจใช้เทคโนโลยีนั้น ๆ ดังนั้นในกรณีของการยอมรับเทคโนโลยีโดรนเพื่อการเกษตรจึงหมายถึง การที่เกษตรกรรายแปลงใหญ่ได้ประเมินและรับรู้ถึงความสะดวกในการใช้งานโดรนเพื่อการเกษตร การรับรู้ถึงประโยชน์ของโดรนเพื่อการเกษตร การมีทศนคติ (เชิงบวก) ในการใช้งาน ความตั้งใจเชิงพฤติกรรมที่จะใช้โดรนเพื่อการเกษตร หลังจากนั้นจึงตัดสินใจใช้โดรนเพื่อการเกษตร เช่นเดียวกับที่ Wajasuwan and Wongsansukcharoen (2023) พบว่า ระดับของการยอมรับเทคโนโลยี และนวัตกรรมที่ส่งผลต่อความตั้งใจใช้โดรนโดยรวมอยู่ในระดับมาก โดยการรับรู้ถึงความสะดวกในการใช้งานมีอิทธิพลเชิงบวกต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับของผู้ใช้โดรน การรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับมีอิทธิพลเชิงบวกต่อทศนคติที่มีต่อการใช้โดรน การรับรู้ถึงความสะดวกในการใช้งานมีอิทธิพลเชิงบวกต่อทศนคติที่มีต่อการใช้โดรน และทศนคติที่มีต่อการใช้โดรนมีอิทธิพลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้โดรนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทั้งนี้การหันมาใช้โดรนเพื่อการเกษตรของกลุ่มเกษตรกรรายแปลงใหญ่ สะท้อนให้เห็นถึงการปรับตัวของเกษตรกรเพื่อแก้ไขปัญหาวิกฤตด้านแรงงาน (Labor Shortages in Agriculture) ด้วยสาเหตุหลักที่ทำให้โดรนเป็นที่นิยมของเกษตรกร จนทำให้กลุ่มเกษตรกรรายแปลงใหญ่บางกลุ่มตัดสินใจมีโดรนเพื่อการเกษตรเป็นของตนเอง สำหรับให้บริการแก่เกษตรกรที่เป็นสมาชิกกลุ่ม และเกษตรกรที่ไม่ได้เป็นสมาชิกกลุ่ม สะท้อนให้เห็นถึงการปรับตัวของเกษตรกรเพื่อแก้ไขปัญหาวิกฤตด้านแรงงาน ผลการศึกษานี้แตกต่างจากผลการศึกษาอื่น ๆ ที่มักพบว่าเกษตรกรแก้ไขปัญหาขาดแคลนแรงงานในภาคเกษตรด้วยการหาแรงงานอื่นมาทดแทน อาทิ Fongmul and Maeka (2024) พบว่าเกษตรกรชาวสวนลำไยปรับตัวภายใต้สถานการณ์ขาดแคลนแรงงาน คือ การจ้างแรงงานในครัวเรือนญาติพี่น้อง หรือแรงงานรับจ้างทั่วไปในชุมชน และอีกส่วนหนึ่งมาจากการจ้างเหมาแรงงานผ่าน

ตัวแทนจัดหาแรงงานภายในชุมชน ซึ่งมักเป็นแรงงานจากพื้นที่สูง ได้แก่ ปาเกอญอ (กะเหรี่ยง) ลาหู่ (มูเซอ) หรือแรงงานต่างด้าว (พม่า) มาทดแทน อย่างไรก็ตามการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคเกษตรขึ้นอยู่กับประเภท และกิจกรรมทางการเกษตรนั้น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหันมาใช้แรงงานข้ามชาติในภาคเกษตร อาทิ ไร่อ้อย สวนยาง ปาล์ม และไร่ข้าวโพด (International Labour Organization, 2024)

อย่างไรก็ตามราคาของโดรนยังคงเป็นอุปสรรคต่อการมีโดรน ดังที่ Bug Away Thailand by DGI Production (2019) ระบุว่า ชุดโดรนการเกษตรเริ่มต้นมีราคาค่อนข้างสูง เกษตรกรผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีทุนสำหรับจัดหาอุปกรณ์ดังกล่าว การดำเนินงานโดยส่วนใหญ่จะเป็นการรวมกลุ่มกันของเกษตรกรจากโครงการต่าง ๆ อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่สำคัญได้แก่ ปัจจัยด้านบุคลากรที่ทำหน้าที่ในการบินโดรน ด้วยผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า บุคลากรในการบินโดรนจะทำหน้าที่ทั้งในการเลือกซื้อโดรน การให้บริการบินโดรน การซ่อมบำรุง การดูแลรักษา เช่นเดียวกับที่ Khon Kaen University (2023) พบว่า ในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ ได้มีความพยายามในการนำโดรนเข้ามาช่วยอำนวยความสะดวกเกษตรกร แต่ยังไม่เป็นผล เพราะกลุ่มเกษตรกรแปลงใหญ่แม้จะมีโดรนอยู่แล้ว แต่กลับจอดโดรนทิ้งไว้กว่า 70% เนื่องจากขาดนักบินโดรนเกษตรกรที่เชี่ยวชาญ

ท้ายที่สุดผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า บริบทของพื้นที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการใช้โดรนเพื่อการเกษตร อาทิ พื้นที่ที่ขาดน้ำ ทำให้สามารถทำงานปีได้เพียงอย่างเดียว การมีโดรนเพื่อการเกษตรอาจไม่เกิดความคุ้มค่า ลักษณะของแปลงนาทั้งในแง่ของรูปร่าง ขนาด สิ่งกีดขวางในแปลงนามีผลต่อต้นทุน และคุณภาพในการใช้โดรน เช่นเดียวกับที่ Koondee et al. (2022) ที่ได้ทำการเปรียบเทียบการปฏิบัติงานฉีดพ่นให้ปุ๋ยทางใบในไร่อ้อยด้วยโดรนกับวิธีฉีดพ่นดั้งเดิม คือ การใช้รถแทรกเตอร์ และคน ผลการเปรียบเทียบแม้จะพบว่า การฉีดพ่นให้ปุ๋ยทางใบในไร่อ้อยด้วยโดรนใช้เวลาน้อยที่สุด แต่กลับมีปัญหาและอุปสรรค คือ ลักษณะแปลง ที่ส่งผลให้เวลาในการทำงานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังรวมไปถึงต้นทุนสูงในแปลง และรอบ ๆ แปลง ขนาดของพื้นที่ ทำให้ผู้วิจัยเสนอแนะว่า การฉีดพ่นสารเคมีด้วยโดรนในไร่อ้อย ควรเป็นพื้นที่ที่มีจำนวนต้นไม้สูงทั้งในแปลง และรอบ ๆ แปลงน้อย และควรมีพื้นที่การทำงานขนาดใหญ่ ระยะแถวมีความยาว เพื่อให้โดรนสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ลดเวลาการเลี้ยวหัวแปลง/ท้ายแปลง และลดการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ลง หากพื้นที่การทำงานเป็นดั่งที่กล่าวข้างต้น โดรนจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถทำงานได้ทันตามช่วงเวลาที่เหมาะสมในการฉีดพ่นสารเคมี

สรุปผลการศึกษา

กล่าวโดยสรุป ด้วยคุณสมบัติหลักของโดรนเพื่อการเกษตรที่ช่วยลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคเกษตร ดังนั้นเมื่อมีการสนับสนุนงบประมาณจากภาครัฐ กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ในจังหวัดสุพรรณบุรีจำนวนหนึ่งจึงตัดสินใจจัดหาโดรนเพื่อการเกษตรมาให้บริการแก่สมาชิกกลุ่ม ส่วนกลุ่มที่ไม่มีโดรนเพื่อการเกษตร สมาชิกในกลุ่มก็หันมาใช้โดรนเพื่อการเกษตรที่มีให้บริการจากเอกชนในพื้นที่ การเข้ามาของเทคโนโลยีแบบนี้ได้ทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ ทั้งการควบคุมโดรน และการให้บริการโดรนเพื่อการเกษตร ผ่านการลองผิดลองถูก จนกลายเป็นประสบการณ์ในการบินโดรน ที่ผู้วิจัยสามารถถอดบทเรียนออกมาได้ 7 บทเรียน ที่กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่กลุ่มอื่น ๆ สามารถนำไปปรับใช้กับกลุ่มของตนเองได้

อย่างไรก็ตาม ด้วยผู้ควบคุมโดรน และกลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่ยังขาดความรู้ในหลาย ๆ ด้าน อาทิ ด้านตัวโดรน ด้านการควบคุมโดรน ด้านสารเคมี ด้านกลุ่มนาแปลงใหญ่ ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงควรจัดให้มีการฝึกอบรมให้ดังกล่าว การจัดให้มีศูนย์ฝึกอบรมแก่เกษตรกร เพื่อพัฒนาความรู้ให้กับผู้ควบคุมโดรน และผู้ที่สนใจ ทั้งการพัฒนาเพื่อยกระดับทักษะที่มีให้ดีกว่าเดิม (Upskill) การสร้างทักษะขึ้นมาใหม่ที่จำเป็นต่อการทำงาน (Reskill) รวมไปถึง การจัดทำมาตรฐานอาชีพการให้บริการโดรนเพื่อการเกษตร เพื่อเป็นการควบคุมปริมาณ และคุณภาพในการให้บริการโดรน การควบคุมมาตรฐานในการให้บริการของบริษัทจำหน่ายโดรน เพื่อเป็นการคุ้มครองเกษตรกรที่ซื้อโดรน การสนับสนุนให้เกิดการถ่ายทอดองค์ความรู้ ประสบการณ์ของเกษตรกรที่ใช้โดรนเพื่อการเกษตร นักวิชาการ บุคคล หน่วยงานที่มีความรู้ส่งสื่อสังคมออนไลน์ต่าง ๆ มากขึ้น ด้วยเกษตรกรผู้ควบคุมโดรนอาศัยแหล่งข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ ในการเรียนรู้การใช้โดรนเพื่อการเกษตร โดยเฉพาะการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ

นอกจากนี้ผู้ที่สนใจยังสามารถนำผลงานวิจัยครั้งนี้ไปขยายผลต่อยอด ด้วยการถอดบทเรียนการใช้โดรนเพื่อการเกษตรของนาแปลงใหญ่ในพื้นที่อื่น ๆ หรือในกิจกรรมการทำเกษตรอื่น ๆ เช่น พืชไร่ และไม้ผล เป็นต้น เพื่อให้เกิดบทเรียนที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้โดรนเพื่อการเกษตรได้ การศึกษาในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการโดรนเพื่อการเกษตรของภาคเอกชนต่าง ๆ ที่มีอยู่ในพื้นที่ ด้วยในปัจจุบันได้มีการให้บริการโดรนเพื่อการเกษตรมากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการทำเกษตรได้ตลอดทั้งปี การศึกษาในกลุ่มบริษัทที่จำหน่ายโดรน ด้วยบริษัทจำหน่ายโดรนเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการให้บริการโดรนเพื่อการเกษตร การศึกษาเฉพาะในกลุ่มเกษตรกรที่ใช้โดรนเพื่อการเกษตร โดยเฉพาะในกลุ่มเกษตรกรผู้สูงอายุ ด้วยในปัจจุบันมีการใช้โดรนเพื่อการเกษตรมากขึ้นอันเนื่องมาจากปัญหาด้านแรงงาน หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องมีสารสนเทศดังกล่าว

เพื่อใช้ในการตัดสินใจสนับสนุน ส่งเสริมเกษตรกรต่อไป รวมไปถึงการจัดทำมาตรฐานต่าง ๆ อาทิ มาตรฐานการควบคุมโดรนเพื่อ การเกษตร มาตรฐานในการให้บริการโดรนเพื่อการเกษตร และมาตรฐานในการจำหน่ายโดรนเพื่อการเกษตร เป็นต้น

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2566 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ จังหวัดสุพรรณบุรี ที่คอยอำนวยความสะดวกด้านการเก็บข้อมูลและจัด กิจกรรมกลุ่มร่วมกับเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: ทรงชัย ทองปาน การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบเครื่องมือวัด และ วิธีการเก็บข้อมูล: ทรงชัย ทองปาน, กฤษณญาณ อินทร์ตัน. การจัดเก็บข้อมูล: ทรงชัย ทองปาน, กฤษณญาณ อินทร์ตัน. การวิเคราะห์ ข้อมูล การแปลผล: ทรงชัย ทองปาน. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้: ทรงชัย ทองปาน. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: ทรงชัย ทองปาน, กฤษณญาณ อินทร์ตัน.

เอกสารอ้างอิง

- Bug Away Thailand by DGI Production. (2019). **Promotional Products**. Retrieved from: <https://www.bug-drone.com/products>. (in Thai).
- Chasuwan, T., & Wongsasensukchariy, C. (2022). Technology adoption and innovations that effect the intention to use agricultural drones in the agricultural industry. **Panyapiwat Journal**, 14(1), 143–157. (in Thai).
- Department of Skill Development. (2022). **Unmanned Aerial Vehicle Management of Intelligent Agriculture**. Retrieved from: <http://eit2.dsd.go.th/~qrcode/qr1/%CB%5D1%A1%CA%D9%B5%3%A1%D2%3%BD%D6%A1%CD%D2%AA%D5%BE%0%CA%3%D4%1%20%20%A1%5%D8%E8%1%0%BB%E9%D2%CB%1%D2%2%BE%D4%0%8%9%20AF%20%20%0%A1%9%B5%3%1%5%D0%CD%D2%CB%D2%3%1%BB%3%3%D9%BB/12%20%2%A1%3%D0%B4%D1%BA%20%A1%D2%3%A8%D1%B4%A1%D2%3%CD%D2%A1%D2%8%2%2%B9%AB%D6%E8%A7%E4%1%E8%1%D5%B9%D1%A1%BA%D4%B9%20%28%2%B4%3%B9%29%20%0%BE%D7%E8%CD%A1%D2%3%0%A1%9%B5%3%CD%2%E8%D2%A7%CD%D1%A8%A9%3%D4%2%D0%2012%20%AA%D1%E8%7%E2%1%A7%20%200920204160103.pdf>. (in Thai).
- Digital Economy Promotion Agency. (2024). **Drones and Thai Agriculture Tech Series: Drone for Smart Farming**. <https://www.depa.or.th/th/article-view/tech-series-drone-smart-farming>. (in Thai).
- Fongmul, S., & Maeka, B. (2024). Agricultural labor force crises : A case study in Chiang Mai and Lamphun provinces. **Journal of Agricultural Research and Extension**, 30(3), 59–64. (in Thai).
- International Labour Organization. (2024). **Working Conditions and Employment in the Agricultural Sector of Thailand**. Retrieved from: <https://www.ilo.org/media/374136/download>. (in Thai).
- Juntaworn, P., & Intarat, K. (2022). Rice canopy height model assessment using unmanned aerial vehicle (uav) images. **The Journal of Applied Science**, 21(1), 1–6. (in Thai).
- Juntaworn, P., Intarat, K., & Xaiyavong, N. (2021). Comparison of RGB based indices and normalized difference vegetation index from unmanned aerial vehicle data: A case study of small paddy fields. In **Proceedings of The 5th Conference on Natural Resources, Geoinformation and Environment**, pp. 362–375. Naresuan University. (in Thai).
- Khon Kaen University. (2023). **Khon Kaen University Creates "Agricultural Drone Pilots" as a Hot Career that Creates Income for the New Generation of Farmers in the Community**. Retrieved from: <https://th.kku.ac.th/146483/>. (in Thai).
- Koondee, P., Saengprachatanarug, K., Wongpichet, S., Wongphati, M., Ungsathittavorn, K., Pilawut, S., Phuphaphud, A., Panduangnate, L., & Nodthaisong, C. (2022). A study of working time and obstacles on foliar fertilizer spraying in sugarcane fields using drones, tractors and humans. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 50(4), 1083–1096. (in Thai).

- Kowalska-Pyzalska, A. (2024). **Diffusion of Innovative Energy Services**. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/technology-acceptance>.
- Leelawanich, K. (2022). **A Business Plan of Agricultural Technology Service Provider in the Central Region**. Retrieved from: https://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2022/TU_2022_6402030404_16260_23527.pdf. (in Thai).
- National Statistical Office. (2024). **Debt of Farmer Households 2019**. Retrieved from: http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/pubs/e-book/Agri_Household_Deb62/2/index.html. (in Thai).
- Punyawattee, P., Sutjaritthammajariyangkun, W., Chaiyasing, N., & Supornsin, S. (2019). The efficacy of the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for controlling rice dirty panicle disease. **Thai Agricultural Research Journal**, 50(4), 1083–1096. (in Thai).
- Rice Department. (2016). **Rice Knowledge Bank**. Retrieved from: <https://newwebs2.ricethailand.go.th/webmain/rkb3/>. (in Thai).
- Tansi, K. (2023). **Labor and Changes in the Thai Agricultural Sector**. Retrieved from: https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/DocLib_Research/04-Labor%20with%20Agri%20Changing.pdf. (in Thai).
- Wajasuwan, T., & Wongsansukcharoen, J. (2023). Acceptance of technology and innovation affecting the intention of using drones for agriculture in the agricultural industry. **Panyapiwat Journal**, 14(1), 143–157. (in Thai).

พฤติกรรมความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร Safety Behaviors in Flying Agricultural Drones

ชาติชาย เจริญสุข^{1*}Chartchai Charoensook^{1*}

Received date: 14 ก.ค. 67 Revised date: 30 ต.ค. 67 Accepted date: 31 ต.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.23.007>

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน มีการนำโดรนมาใช้แพร่หลายในภาคการเกษตรและเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว นักบินโดรนจึงต้องตระหนักถึงความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของตนเอง บุคคลอื่น และสิ่งแวดล้อม งานวิจัยก่อนหน้ายังขาดการศึกษาถึงพฤติกรรมที่จะก่อให้เกิดความปลอดภัย การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาพฤติกรรมความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร และ 2) เปรียบเทียบพฤติกรรมความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ เกษตรกรผู้เข้าร่วมโครงการ 1 ตำบล 1 ดิจิทัล (ชุมชนโดรนใจ) จำนวน 300 คน ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมความปลอดภัยทั้งความรู้ด้านการบินและการใช้สารเพื่อการเกษตร เจตคติและการปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัย วิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา สถิติเชิงอนุมาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนในเรื่องก่อนทำการบินต้องศึกษาคู่มือการใช้ มากที่สุด (279, 93%) ด้านความปลอดภัยในการใช้สารเพื่อการเกษตรในเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มากที่สุด (274, 91.3%) ส่วนด้านเจตคติเกี่ยวกับความปลอดภัย ให้ความสำคัญในเรื่องของการปฏิบัติก่อนทำการบิน มากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 3.31 แปลผลได้ ระดับปานกลาง และในด้านการศึกษาปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัย ให้ความสำคัญในเรื่องการปฏิบัติตามเงื่อนไขก่อนทำการบิน มากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 3.49 แปลผลได้ ระดับปานกลาง ผลการวิจัยสามารถนำไปปรับใช้เป็นมาตรการเพื่อรณรงค์ส่งเสริมให้เกิดพฤติกรรมในการบินโดรนด้วยความปลอดภัย และหน่วยงานต่างๆ สามารถนำไปพัฒนาส่งเสริมและสนับสนุนให้เกษตรกรไทยได้รับและใช้เทคโนโลยีใหม่ให้เกิดประโยชน์ต่อภาคการเกษตรด้วยความปลอดภัย

คำสำคัญ: พฤติกรรมความปลอดภัย การบินโดรนเพื่อการเกษตร โดรนเพื่อการเกษตร

Abstract

Currently, agricultural drones are being used more widely in agriculture with increasing demand. Therefore, drone pilots should be aware of the safety of their own lives and property, another person, and the environment. As there are gaps from previous research on the behaviors that promote safety, the purpose of this research is to 1) study the safety behaviors for flying Agricultural Drone, and 2) compare the safety behaviors for flying Agricultural Drone. The sample group is 300 farmers participating in the 1 Tambon 1 Digital project (Drone-Hearted Community). A questionnaire was used as a tool to collect information toward safety behavior, including aviation knowledge and the use of agricultural substances, attitudes and practices regarding safety. The data were analyzed using descriptive statistics, inferential statistics, and one-way analysis of variance. The research results found that the sample group had most knowledge in flying safety on the matter of studying the user manual before flying (279, 93%). As for the safety in using agriculture substances, most concern was about the impact of the substances used on the environment (274, 91.3%). As for the attitudes towards safety, most concern was given to the pre-flight knowledge, with an average value of 3.31, interpreted as a moderate level. And in terms of safety practices, most concern is given to complying with the conditions before flying, with an average value of 3.49, interpreted as a moderate level. The results of the research can be adapted as measures to promote safe drone flying behaviors. Various agencies can use these findings to develop, promote, and support Thai farmers to receive and utilize new technologies for the benefit of the agricultural sector with safety.

Keywords: safety behaviors, agricultural drone flying, agricultural drones

1 สถาบันการบินพลเรือน กรุงเทพฯ 10900

1 Civil Aviation Training Center, Bangkok 10900

* Corresponding author, Email: chartchai@catc.or.th

คำนำ

ปัจจุบันการเกษตรสมัยใหม่ ได้นำเทคโนโลยีขั้นสูงเข้ามาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนในการประกอบการ หรือที่เรารู้จักกันในนาม การเกษตรแบบแม่นยำ (Precision Agriculture) นำมาใช้มากขึ้นในกลุ่มประเทศที่พัฒนาและกำลังพัฒนา โดยเทคโนโลยีที่กำลังเป็นที่สนใจในกลุ่มเกษตรกรและนำมาใช้เป็นเครื่องทุ่นแรงในปฏิบัติการภาคการเกษตร ได้แก่ อากาศยานซึ่งไม่มีนักบินเพื่อการเกษตร หรือที่รู้จักกันในชื่อ โดรนเพื่อการเกษตร (Agricultural drones) จากงานศึกษาวิจัยด้านแรงงานไทยกับภาคการเกษตร พบว่า ในปัจจุบันแรงงานไทยรุ่นใหม่เห็นว่าอาชีพเกษตรกรเป็นงานหนักและมีความยากลำบาก ทำให้ขาดคนรุ่นใหม่เข้ามาทำงาน นอกจากนี้ วิธีการทำการเกษตรแบบเก่าใช้กำลังคนและเวลามาก ทำให้ผลผลิตไม่ทันกับความต้องการของตลาด จึงเป็นเรื่องที่ยากลำบากสำหรับเกษตรกรในการดำเนินการ ทั้งยังส่งผลต่อปัญหาด้านสุขภาพและความเสี่ยงต่อการสัมผัสสารเคมีโดยตรงอีกด้วย ดังนั้น เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับโดรนจึงมีความสำคัญในการช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่เกษตรกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีราคาที่ไม่สูง มีระบบควบคุมที่ช่วยให้สามารถปฏิบัติการบินได้ง่าย โดยในภาคการเกษตรนั้นจะแบ่งโดรนออกเป็น 2 ประเภทคือ 1) เพื่อการสำรวจ วางแผนและถ่ายภาพแปลงเพาะปลูก และ 2) เพื่อการทุ่นแรง เช่น การฉีด พ่น หรือหว่าน

ประเทศไทย มีจุดเด่นในเรื่องอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งเป็นหลักในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจประเทศ มีเกษตรกรมากถึง 13.34 ล้านคน (Puey Ungphakorn Institute for Economic Research, 2019) มีพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจกระจายอยู่ทั่วประเทศประมาณ 1.5 ล้านไร่ มีมูลค่าการส่งออกโดยรวม 1.49 ล้านล้านบาท (ร้อยละ 17.54 ของการส่งออกประเทศ) (Office of Agricultural Economics, 2021) Grand View Research (2017) รายงานประมาณการเติบโตทางเศรษฐกิจปีพ.ศ.2562 จากการใช้เทคโนโลยีโดรนทั่วโลกมีรายได้มากกว่า 600 ล้านเหรียญสหรัฐ และแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 4,000 ล้านเหรียญในปีพ.ศ.2567 การนำเอาเทคโนโลยีโดรนมาประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตร จากแนวคิดเรื่องเกษตรอัจฉริยะที่รัฐบาลกำหนดนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ตามยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ.2561-2580) ส่งเสริมให้เกิดการทำเกษตรแบบสมาร์ทฟาร์มเมอร์ เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตและเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรมเพิ่มมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตรไทยสู่ตลาดต่างประเทศ

จากแนวโน้มด้านราคาของโดรนที่ลดลงและมีระบบการบินอัตโนมัติสามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น จึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในภาคการเกษตร ปัจจุบันประเทศไทยมีโดรนเพื่อการเกษตรที่จดทะเบียนมากกว่า 40,000 ลำ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณขึ้นจำนวนมากในอนาคตเนื่องจากการใช้งานโดรนเพื่อการเกษตรถือเป็นสิ่งสำคัญ ประกอบกับมีผู้ดำเนินธุรกิจโดรนเพื่อการเกษตรจำนวนมาก กระแสนิยมการใช้โดรนเพื่อการเกษตรจึงแพร่หลายอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดในการนำโดรนมาใช้ในการเกษตร เนื่องจากโดรนและชุดอุปกรณ์ควบคุมมีราคาค่อนข้างสูง ผู้ใช้ต้องมีความรู้ทักษะ ความชำนาญและประสบการณ์ในการควบคุมเพื่อที่จะสามารถบินโดรนด้วยความปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตทรัพย์สินตนเอง ผู้อื่นรวมถึงสิ่งแวดล้อม

ด้วยข้อจำกัดของเกษตรกรไทยที่ยังขาดความรู้ ความเข้าใจ ทักษะ ความสามารถ และความชำนาญทั้งในด้านการบังคับโดรนและการใช้สารเพื่อการเกษตรด้วยความปลอดภัย การปฏิบัติตามกฎหมาย ระเบียบและข้อบังคับต่างๆ ของทางราชการ อันอาจทำให้เกิดพฤติกรรมของเกษตรกรที่อาจมีผลต่อความปลอดภัยในการใช้โดรนเพื่อการเกษตร อีกทั้งงานวิจัยที่มีก่อนหน้ายังขาดข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับพฤติกรรมของเกษตรกรไทยในด้านความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตรของเกษตรกรไทย กรณีศึกษา โครงการ 1 ตำบล 1 ดิจิทัล (ชุมชนโดรนใจ) ตามแนวคิดเรื่องพฤติกรรมของ Bloom (1975) ซึ่งแบ่งพฤติกรรมออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความรู้ (Cognitive Domain) ด้านทัศนคติ ค่านิยม (Affective Domain) และด้านการปฏิบัติ (Psychomotor Domain) เพื่อจะได้ทราบถึงพฤติกรรมความปลอดภัยของเกษตรกร โดยผลการศึกษาวิจัยที่ได้สามารถนำมาปรับใช้เป็นมาตรการศึกษาถึงการแก้ปัญหาที่อาจเกิดจากพฤติกรรมการบินโดรนของเกษตรกร เพื่อรณรงค์ส่งเสริมให้เกิดพฤติกรรมในการบินโดรนด้วยความปลอดภัย และเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน รวมถึงสถาบันการศึกษา นำไปพัฒนาส่งเสริมและสนับสนุนให้เกษตรกรไทยได้รับและใช้เทคโนโลยีใหม่ให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการเกษตรของประเทศไทยด้วยความปลอดภัยยิ่งขึ้น

วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยเรื่องนี้เป็นการศึกษาสำรวจเชิงปริมาณ (Quantitative research) โดยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) รวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรผู้เข้าร่วมโครงการ 1 ตำบล 1 ดิจิทัล (ชุมชนโคตรใจ) จำนวน 300 คน ทั้งแบบการสื่อสารออนไลน์และแบบต่อหน้าโดยให้กลุ่มตัวอย่างบันทึกข้อมูลด้วยตัวเอง ประกอบด้วยกลุ่มข้อความ 4 ด้าน ได้แก่ 1) ข้อมูลปัจจัยด้านบุคคล 2) ความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร 3) เจตคติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร และ 4) การปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร โดยศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสาร ตำรา ทฤษฎี แนวคิด วารสารวิชาการ บทความ และงานค้นคว้าวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์สำเร็จรูปเพื่อคำนวณค่าสถิติ (Charoensook, 2020) วิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยด้านบุคคล และความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ จำนวนความถี่ (Frequencies) และค่าร้อยละ (Percentage) วิเคราะห์เจตคติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร และการปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร ใช้สถิติเชิงอนุมานหรือสถิติเชิงอ้างอิง (Inferential Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) กำหนดเกณฑ์มาตรฐานวัดแบบช่วงคะแนน 1-5 และแปลความหมายค่าเฉลี่ย 5 ระดับจากน้อยที่สุดถึงมากที่สุด ส่วนการเปรียบเทียบพฤติกรรมความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตรจำแนกตามปัจจัยด้านบุคคล ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ทดสอบค่า t-test และค่า F-test

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ปัจจัยข้อมูลด้านบุคคล

เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างจำนวน 300 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย จำนวน 213 คน (71.0%) อายุระหว่าง 51-60 ปี จำนวน 95 คน (31.7%) มีภูมิลำเนาอยู่ในภาคเหนือ จำนวน 98 คน (32.7%) การศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 125 คน (41.7%) ไม่มีประสบการณ์ในการบินโดรนเพื่อการเกษตร จำนวน 179 คน (59.7%) และไม่เป็นผู้ครอบครอง (เจ้าของ) โดรนเพื่อการเกษตร จำนวน 208 คน (69.3%) (Table 1)

ปัจจัยความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร

ประกอบด้วยข้อความ 2 ส่วน คือ 1) ความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความรู้มากที่สุดในด้านก่อนทำการบินโดรนเพื่อการเกษตรต้องศึกษาคู่มือการใช้ ด้านก่อนทำการบินโดรนเพื่อการเกษตรต้องศึกษาสภาพอากาศบริเวณทำการบินและบริเวณใกล้เคียง และด้านระหว่างทำการบินต้องมีแผนฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุไม่สามารถบังคับโดรนเพื่อการเกษตร แต่มีความรู้ที่น้อยที่สุดในด้านก่อนทำการบินโดรนเพื่อการเกษตรต้องได้รับการอนุญาตเป็นหนังสือจากเจ้าของพื้นที่ที่จะทำการบิน 2) ความปลอดภัยในการใช้สารเพื่อการเกษตร พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความรู้มากที่สุดในด้านการบินโดรนเพื่อการเกษตรต้องมีความรู้ในเรื่องของผลกระทบจากสารที่ใช้เพื่อการเกษตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่มีความรู้ที่น้อยที่สุดในด้านการบินโดรนเพื่อการเกษตรต้องมีความรู้ในเรื่องสารที่ใช้เพื่อการเกษตร (Table 2)

Table 1 Percentage of personal factors

Personal factors (N = 300)	Number	Percent
Gender		
Male	214	71.0
Female	63	21.0
Not specified	24	8.0
Age		
20-30	73	24.3
31-40	53	17.7
41-50	76	25.3
51-60	95	31.7
Over than 60	3	1.0
Hometown		
Central	76	25.3
Northern	98	32.7
Northeastern	73	24.3
Southern	53	17.7
Education		
Primary School	7	2.3
Junior High School	10	3.3
Senior High School	27	9.0
Certificate / Diploma	43	14.3
Bachelor Degrees	125	41.7
Master Degrees	62	20.7
Higher than Master Degrees	26	8.7
Experience in flying agricultural drones		
Yes	121	40.3
No	179	59.7
Owning agricultural drones		
Yes	92	30.7
No	208	69.3

Table 2 Number and percentage of Knowledge toward safety in flying agricultural drones

Knowledge toward safety in flying agricultural drones (N = 300)	YES	No
Flying agricultural drone safety		
1. Does your agricultural drone need to be registered according to the requirements of the Civil Aviation Authority of Thailand?	268 (89.3%)	32 (10.7%)
2. Do the agricultural drone pilots have to apply for registration in accordance the requirements of the Civil Aviation Authority of Thailand?	274 (91.3%)	26 (8.3%)
3. Do the agricultural drone pilots have to receive training from an approved training organization?	251 (83.7 %)	49 (16.3%)
4. Do you have permission from the area owner before flying agricultural drones?	261 (87.0%)	39 (13.0%)
5. Do you study the manual before flying agricultural drones?	279 (93.0%)	21 (7.0%)
6. Do you check the all availability and equipment before flying agricultural drones?	271 (90.3%)	29 (9.7%)
7. Do you study the nearby weather before flying agricultural drones?	276 (92.0%)	24 (8.0%)
8. Do you study the airspace to be used before flying agricultural drones?	254 (84.7%)	46 (15.3%)
9. Do you explore the availability of fly zone before flying agricultural drones?	278 (82.7%)	22 (7.3%)
10. Do you assess your readiness before flying agricultural drones?	263 (87.7%)	37 (12.3%)
11. Do you have an emergency plan during flying agricultural drones?	276 (92.0%)	24 (8.0%)
12. Do you have flight recording during flying agricultural drones?	250 (83.3%)	50 (16.7%)
Agricultural chemicals security		
1. Do you understand in agriculture substances to be used?	256 (85.3%)	44 (14.7%)
2. Do you understand how to use an agriculture substances?	265 (88.3%)	35 (11.7%)
3. Do you understand the impact of agricultural substances on the environment?	274 (91.3%)	26 (8.7%)
4. Do you understand the impact of agricultural substances on the community?	266 (88.7%)	34 (11.3%)

กลุ่มตัวอย่างเกษตรกร มีความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร และความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเพื่อการเกษตร อยู่ในระดับสูง มีคะแนนระดับมากกว่า 90% เนื่องจากได้รับการอบรมเกี่ยวกับการบินโดรนเพื่อการเกษตร และการใช้สารเพื่อการเกษตรมาบ้างแล้ว หรือได้รับข่าวสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องผ่านช่องทางสื่อสารที่มีอยู่หลากหลาย จนก่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจในการปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยดังกล่าว สอดคล้องกับ Opanukul et al. (2021) และ Charoenwikkai and Polnok (2023) กล่าวไว้ว่า เกษตรกรควรมีความรู้ในเรื่องของสารที่ใช้การเกษตร ปริมาณ

และการคำนวณสารที่ใช้ให้เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดผลข้างเคียงหรือการตกค้าง อันอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่อาศัยในชุมชนและสิ่งแวดล้อมรอบข้าง

ปัจจัยด้านเจตคติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร

กลุ่มตัวอย่างจำนวน 300 คน แสดงความคิดเห็นในด้านเจตคติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร (โดยรวม) อยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.08 โดยมีความคิดเห็นว่าการให้ความสำคัญด้านการปฏิบัติก่อนทำการบินโดรนเพื่อการเกษตร เป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อความปลอดภัย แต่ให้ความสำคัญน้อยที่สุดที่ส่งผลต่อความปลอดภัยในด้านความรู้ในเรื่องการใช้สารเพื่อการเกษตร (Table 3)

Table 3 Mean and standard of Attitudes toward safety in flying agricultural drones

Attitudes toward safety in flying agricultural drones (N = 300)	Mean	S.D	Level
1. Do you have knowledge in the agricultural drone law?	2.96	1.043	Medium
2. Do you have knowledge in rule of the air?	2.99	1.011	Medium
3. Do you have knowledge in meteorology?	2.97	1.125	Medium
4. Do you have knowledge in navigation?	3.05	1.125	Medium
5. Do you have knowledge in airspace?	2.98	1.137	Medium
6. Do you have knowledge in human performance?	3.06	1.117	Medium
7. Do you have knowledge in safety management?	3.19	1.138	Medium
8. Do you have knowledge in agricultural drone operation system?	3.15	1.148	Medium
9. Do you have the ability to fly agricultural drones?	3.22	1.227	Medium
10. Do you have knowledge in pre-flight?	3.31	1.089	Medium
11. Do you have knowledge in during-flight?	3.23	1.141	Medium
12. Do you have knowledge in post-flight?	3.22	1.132	Medium
13. Do you have knowledge in using of agriculture substances?	2.79	1.118	Medium
14. Do you understand the impact of agricultural substances on the environment and community?	3.07	1.084	Medium
Overall			Medium

เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างมีเจตคติเกี่ยวกับความปลอดภัย (โดยรวม) อยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากการอบรมความรู้ที่ได้รับมาก่อนหน้าเป็นเพียงองค์ความรู้ระดับเบื้องต้น ยังไม่เฉพาะเจาะจงตามประเภทและวัตถุประสงค์ของการทำงาน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างมีวัตถุประสงค์จะนำโดรนมาใช้ในการเกษตร ซึ่งพฤติกรรมความปลอดภัยจะเกิดขึ้นได้ต้องประกอบด้วยปัจจัยหลายประการ Wajasuwan and Wongsansukcharoen (2022) กล่าวว่า การใช้โดรนสามารถช่วยประหยัดต้นทุนรายจ่าย เป็นนวัตกรรมทางการเกษตรที่คุ้มค่า ทำให้ผู้ใช้มีทัศนคติที่ดีต่อการใช้โดรน ส่งผลให้เกิดความตั้งใจในการใช้และตัดสินใจนำเทคโนโลยีทางการเกษตรมาใช้ในงานเกษตร และสอดคล้องกับความเห็นของ Jitnom (2019) ที่ได้จำแนกพฤติกรรมความปลอดภัยไว้ 3 ลักษณะ คือ 1) ปัจจัยโน้มน้าวบุคคลให้เกิดพฤติกรรมความปลอดภัย (Predisposing Factors) 2) ปัจจัยสนับสนุนให้เกิดพฤติกรรมความปลอดภัย (Enabling Factors) และ 3) ปัจจัยเสริมสร้างให้เกิดความปลอดภัย (Reinforcing Factors)

ปัจจัยด้านการปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร

กลุ่มตัวอย่างจำนวน 300 คน มีการปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร (โดยรวม) อยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.38 โดยมีความคิดเห็นว่าการปฏิบัติตามเงื่อนไขก่อนทำการบินโดรนเพื่อการเกษตรส่งผลต่อความปลอดภัย มากที่สุด แต่มีความเห็นว่าการได้รับการอบรมในการบังคับอากาศยานซึ่งไม่มีนักบินเพื่อการเกษตร จะส่งผลให้เกิดความปลอดภัยน้อยที่สุด (Table 4)

Table 4 Mean and standard of Safety practices of flying agricultural drones

Safety practices of flying agricultural drones (N = 300)	Mean	S.D	Level
1. You received training on agricultural drones.	3.13	1.338	Medium
2. You comply with the laws regarding flying agriculture drones.	3.35	1.296	Medium
3. You do as trained to fly agricultural drones.	3.38	1.328	Medium
4. You have complied with the conditions before flying agricultural drone.	3.49	1.360	Medium
5. You have complied with the conditions during flying agricultural drone.	3.47	1.347	Medium
6. You have complied with the conditions after flying agricultural drone.	3.44	1.369	Medium
7. You comply with the regulations for the use of agricultural substances.	3.38	1.327	Medium
8. You comply with the safety requirements for using agricultural substances that affect to the environment and community.	3.38	1.370	Medium
Overall	3.38	1.256	Medium

องค์ประกอบของการจัดการความปลอดภัย ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ คือ 1) นโยบายเกี่ยวกับความปลอดภัย (Safety policy) รวมถึงการประสานการวางแผนเผชิญเหตุ (Emergency Plan) 2) การจัดการความเสี่ยง (Safety Risk Management) เพื่อให้มั่นใจว่ามีการระบุสาเหตุ ประเมิน และควบคุมกำจัดความเสี่ยงให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ 3) หลักประกันความปลอดภัย (Safety Assurance) เพื่อให้มั่นใจว่าองค์กร หน่วยงาน และผู้ประกอบการมีความสามารถจัดการกับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้ และ 4) การส่งเสริมความปลอดภัย (Safety Promotion) เพื่อให้มั่นใจว่าเกษตรกรผู้ใช้โดรนเพื่อการเกษตรมีความรู้ ความเข้าใจ และทักษะที่จำเป็นในการบินความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินทั้งของผู้เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้อง รวมถึงสิ่งแวดล้อมในชุมชน และอาจก่อให้เกิดความรำคาญ บุกรุก หรือละเมิดสิทธิส่วนบุคคล สอดคล้องกับประกาศกระทรวงคมนาคม (Ministry of Transport, 2015)

การเปรียบเทียบความแตกต่างด้านพฤติกรรมความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร

จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 300 คน จำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคล ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มี เพศ อายุ ภูมิภาค ระดับการศึกษา ประสบการณ์ในการบินโดรนเพื่อการเกษตร และความเป็นผู้ครอบครอง (เจ้าของ) โดรนเพื่อการเกษตรตามปัจจัยที่ต่างกััน มีพฤติกรรมความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร แตกต่างกััน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (Table 5)

สอดคล้องกับ ABC Model (Quilley, 2010) อธิบายไว้ว่า ผู้ปฏิบัติงานกระทำการใดๆ ก็เพราะคาดหวังในผลที่ตามมาของการกระทำดังกล่าว การนำนวัตกรรมทางเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ ย่อมส่งผลให้การปฏิบัติงานนั้นเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดี สะดวกสบายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งไปในทิศทางเดียวกับผลการวิจัย

Table 5 The difference between personal factors and safety behaviors in flying agricultural drones

Personal factors (N = 300)	Safety behaviors in flying agricultural drones		
	t-test / F-test	P-Value	Interpret results
Gender	27.900	.000*	Difference
Age	4.106	.003*	Difference
Hometown	5.597	.001*	Difference
Education	9.277	.000*	Difference
Experience in flying agricultural drones	7.064	.000*	Difference
Owning agricultural drones	7.009	.000*	Difference

* Significance level at 0.05

ข้อเสนอแนะของกลุ่มตัวอย่าง

จากการสังเคราะห์ข้อมูลที่เป็นข้อเสนอแนะ พบว่า 1) ด้านการศึกษาอบรม รัฐควรจัดให้มีหลักสูตรอบรมความรู้ทั้งการปฏิบัติการบินโดรนและการใช้สารเคมีเพื่อความปลอดภัย โดยสนับสนุนค่าใช้จ่าย 2) ด้านการปฏิบัติการบินโดรนควรศึกษาคู่่มือปฏิบัติการและปฏิบัติการบินตามเงื่อนไขที่กฎหมายกำหนดอย่างเคร่งครัด และ 3) ส่งเสริมประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนได้รับทราบถึงกฎหมายที่เกี่ยวข้องและวิธีปฏิบัติในการบินและการใช้สารเคมีอย่างปลอดภัย

สรุปผลการศึกษา

กลุ่มเกษตรกรตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุระหว่าง 51-60 ปี มีภูมิลำเนาอยู่ในภาคเหนือ ระดับการศึกษาปริญญาตรี ไม่มีประสบการณ์ในการบินโดรนเพื่อการเกษตร และไม่มีโดรนเป็นของตนเอง กลุ่มตัวอย่างระบุว่ามีความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตรมากที่สุดในด้านก่อนทำการบินโดรนเพื่อการเกษตรต้องศึกษาคู่่มือการใช้ ด้านก่อนทำการบินโดรนเพื่อการเกษตรต้องศึกษาสภาพอากาศบริเวณทำการบินและบริเวณใกล้เคียง และด้านระหว่างทำการบินต้องมีแผนฉุกเฉินในกรณีเกิดเหตุไม่สามารถบังคับโดรนเพื่อการเกษตร กลุ่มตัวอย่างระบุว่ามีความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้สารเพื่อการเกษตรมากที่สุดในการบินโดรนเพื่อการเกษตรต้องมีความรู้ในเรื่องผลกระทบของสารที่ใช้เพื่อการเกษตรต่อสิ่งแวดล้อม กลุ่มตัวอย่างมีเจตคติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร (โดยรวม) อยู่ในระดับปานกลาง โดยแสดงความเห็นว่าการให้ความสำคัญด้านการปฏิบัติก่อนทำการบินโดรนเพื่อการเกษตร เป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อความปลอดภัย กลุ่มตัวอย่างมีการปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร (โดยรวม) อยู่ในระดับปานกลาง โดยแสดงความคิดเห็นว่าการปฏิบัติตามเงื่อนไขก่อนทำการบินโดรนเพื่อการเกษตรส่งผลต่อความปลอดภัยมากที่สุด และผลการเปรียบเทียบระหว่างปัจจัยด้านบุคคลกับพฤติกรรมความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร พบว่ามีความแตกต่างกันทุกปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

อภิปรายผลการวิจัยได้ว่า กลุ่มเกษตรกรมีความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร แต่มีเจตคติเกี่ยวกับความปลอดภัยและการปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตรเฉลี่ยในระดับปานกลาง ส่วนผลการเปรียบเทียบระหว่างปัจจัยด้านบุคคลกับพฤติกรรมความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตร พบว่ามีความแตกต่างกันทุกปัจจัย เนื่องจาก ความแตกต่างกันของปัจจัยด้านบุคคลในทุกๆ ด้านของกลุ่มเกษตรกรตัวอย่าง ส่งผลต่อความคิด วิเคราะห์เหตุผลด้านพฤติกรรมความปลอดภัยที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยขอเสนอแนะแนวทางส่งเสริมพฤติกรรมความปลอดภัยให้แก่กลุ่มเกษตรกร เช่น จัดอบรมส่งเสริมความรู้ทั้งการปฏิบัติการบินโดรนและการใช้สารเพื่อการเกษตรให้เป็นตามเงื่อนไขที่กฎหมายกำหนดอย่างเคร่งครัด และเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้ได้รับทราบถึงกฎหมาย ระเบียบปฏิบัติ ข้อบังคับต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการบินโดรนเพื่อการเกษตรต่อไปในอนาคต

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันการบินพลเรือน โดย นางสาวกัญญ์ มากช่วย ผู้ว่าการสถาบันการบินพลเรือน ที่ได้อนุมัติ ทุนอุดหนุนการวิจัยสถาบันการบินพลเรือน ปีงบประมาณ 2567 และขอขอบคุณเกษตรกรผู้เข้าร่วมโครงการ 1 ตำบล 1 ดิจิทัล (ชุมชนโดรนใจ) ทุกท่านที่สละเวลาให้ข้อมูลสำคัญอันเป็นประโยชน์ในการวิจัย

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม สมมุติฐาน การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล criteria การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ (manuscript) การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครูภัณฑ์: ชาติชาย เจริญสุข.

เอกสารอ้างอิง

- Bloom, B. S. (1975). **Taxonomy of Education**. David McKay Company Inc.
- Charoensook, C. (2020). People's attitudes and perception towards Thai aviation laws and regulations concerning the firing of the bamboo rocket (Bang fai). **Journal of Politics, Administration and Law**, 12(2), 559-577. (in Thai).
- Charoenwikkai, P., & Polnok, A. (2023). **Factors for Acceptance of Drone Technology for Spraying Herbicides in Sugarcane Fields Lan Krabue District Kamphaeng Phet Province**. Master's Thesis. Naresuan University. (in Thai).
- Grand View Research. (2017). **Agriculture Drone Market Analysis by Product**. Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/agriculturedrones>.
- Jitnom, J. (2019). **Safety Behaviors of Big Bike Motorcycle Riding of Youth in Maha Sarakham Municipality**. Master's Thesis. Rajabhat Maha Sarakham University. (in Thai).
- Ministry of Transport. (2015). **Announcement of the Ministry of Transport on Rules to Apply for Permission and Conditions to Control and Launch Unmanned Aircraft in the Category of Remotely Piloted Aircraft B.E. 2558 (A.D.2015)**. Retrieved from: <https://www.mot.go.th>.
- Office of Agricultural Economics. (2021). **Agricultural Statistics of Thailand in 2021**. Retrieved from: <https://www.oae.go.th/view/>. (in Thai).
- Opanukul, W., Saikumpoo, A., Punwattho, P., Tiamtat, I., & Jongjitmate, P. (2021). **Research and Development Sprayer Drone for Microbial Pesticide**. Retrieved from: <https://app-me.doa.go.th/research/ewfile13>. (in Thai).
- Quilley, A. (2010). **The ABCs of Human Behavior**. Retrieved from: <http://www.hsmemagazine.com/article/the-abcs-of-human-behaviour-171/>.
- Puey Ungphakorn Institute for Economic Research. (2019). **The Situation of Aging and the Productivity and Farming of Thai Agricultural Households**. Retrieved from: <https://www.pier.or.th/abridged/>. (in Thai).
- Wajasuwan, T., & Wongsansukcharoen, J. (2022). Acceptance of technology and innovation affecting the intention of using drone for agriculture in the agriculture industry. **Panyapiwat Journal**, 14(1), 143-157. (in Thai).

ผลของสารละลายเกลือและการทำแห้งต่อความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายก้ามกุ้ง
Effects of Salt Solution and Drying on the Stability of
Chlorophyll Pigments in *Chara corallina*

นพรัตน์ มะเห^{1*}, ดลฤดี พิชัยรัตน์¹ และวรรณณี จันทร์แก้ว²

Nopparat Mahae^{1*}, Donrudee Pichairat¹ and Wanninee Chankaew²

Received date: 7 ส.ค. 67 Revised date: 6 พ.ย. 67 Accepted date: 6 พ.ย. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.23.008>

บทคัดย่อ

การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารละลายเกลือและการทำแห้งต่อความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายก้ามกุ้ง การทดลองมีการศึกษาผลของสารละลายสามชนิด ($ZnCl_2$, $NaCl$ และ $NaHCO_3$) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรักษาความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์โดยใช้ response surface methodology (RSM) และการรักษาความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ โดยวิธีการห่อหุ้ม ด้วยกัมอารบิก และ มอลโทเดกซ์ทริน ผลการทดลองพบว่าสารละลาย $NaHCO_3$ ช่วยรักษาความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ได้ดีที่สุด โดยมีสภาวะที่เหมาะสมในการรักษาความคงตัวคือ ความเข้มข้นของ $NaHCO_3$ เท่ากับ 0.3% อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 10 นาที สำหรับการทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเตรียมผงสารสีซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะและคลอโรฟิลล์ (metallochlorophyll complexes) จากสาหร่ายก้ามกุ้ง โดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อห่อหุ้ม (encapsulation) สารสีคลอโรฟิลล์นั้น ตัวห่อหุ้ม (encapsulating agent) ที่เหมาะสมคือมอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการผลิตสารสีจากธรรมชาติ เพื่อลดความเสี่ยงจากการใช้สารสีสังเคราะห์ เพิ่มคุณประโยชน์จากคลอโรฟิลล์ และเป็นการนำวัตถุดิบในท้องถิ่นคือสาหร่ายก้ามกุ้งมาเพิ่มมูลค่าให้มากขึ้น

คำสำคัญ: สาหร่ายก้ามกุ้ง ความคงตัวของสารสี สีจากธรรมชาติ คลอโรฟิลล์

Abstract

This experiment aimed to study the effect of salt solution and drying on the stability of the chlorophyll pigment in *Chara corallina*. The experiment was performed to study the effects of three solutions ($ZnCl_2$, $NaCl$ and $NaHCO_3$), the optimum conditions for maintaining the stability of chlorophyll pigments by using response surface methodology (RSM), and the stabilization of chlorophyll pigments with encapsulation using gum arabic and maltodextrin. For the results, $NaHCO_3$ solution showed the best solution for maintaining stability of the chlorophyll pigment. The appropriate conditions for maintaining stability were 0.3% $NaHCO_3$ concentration, 90°C for reaction temperature, and 10 minutes for the reaction time. The drying method to prepare pigment powder which was a complex compound of metals and chlorophyll (metallochlorophyll complexes) from *Chara corallina* was using spray drying machine. The spray drying process was performed to encapsulate chlorophyll pigment and a suitable encapsulating agent was maltodextrin. The results of the experiment can be used as guidelines for the production of natural pigments, to reduce the risk of using synthetic dyes. Additionally, it increases the benefits of chlorophyll and adds more value to *Chara corallina*, which is a local raw material.

Keywords: *Chara corallina*, stability of pigment, natural color, chlorophyll

¹ สาขาวิชาอุตสาหกรรมอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.ตรัง 92150

² สาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.นครศรีธรรมราช 80110

¹ Food Industry Program, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang 92150

² Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat 80110

* Corresponding author: email: nopparat.rmutsv@gmail.com

คำนำ

การผลิตสารเติมแต่งทางอาหาร หรือวัตถุเจือปนทางอาหาร (food additive) จากธรรมชาติ ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบันรวมทั้งสารสีจากธรรมชาติ สารแต่งสีจากธรรมชาติหลายชนิดถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ และได้รับการอนุมัติให้ใช้ในสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรป เช่น แอนโทไซยานิน จากสารสกัดจากผิวองุ่น สารสกัดจากสีขององุ่น น้ำผลเบอร์รี่หรือน้ำแครอท และกะหล่ำปลี กลุ่มแคโรทีนอยด์ เช่น แอนแนตโต (annatto) เป็นสารสีธรรมชาติที่มีสีเหลืองส้มถึงสีแดง จาก คำแสด (*Bixa orellana* L.) แอสตาแซนธิน จาก สาหร่ายแดง (*Paracoccus carotinifaciens*) หรือ ยีสต์ *Phaffia rhodozyma* เบต้า-แคโรทีนจากแครอท น้ำมันแครอท เอนโดสเปิร์มข้าวโพด และพริกหยวก (*Capsicum annuum* L.) คลอโรฟิลล์จากต้นถั่ว อัลฟัลฟา (*Medicago sativa*) เคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชัน (*Curcuma longa* L.) เบตาเลนจากผงบีทรูท (*Beta vulgaris* L.) กรดคาร์มินิกจากสารสกัด cochineal (*Dactylopius coccus*) และคาราเมลจากการให้ความร้อนแก่น้ำตาล (Sigurdson et al., 2017) นอกเหนือจากแหล่งที่มาเหล่านี้ พืชใหม่และวัสดุจากพืชและผลไม้ จุลินทรีย์และแมลง ก็ได้รับความสนใจเพื่อจุดประสงค์ดังกล่าว (Martins et al., 2016)

สารจากธรรมชาติส่วนใหญ่ไม่มีความคงตัว คลอโรฟิลล์ก็เป็นสารให้สีเขียวอีกชนิดหนึ่งจากธรรมชาติที่ไม่มีความคงตัวในการนำมาทำเป็นสารสี หรือสีธรรมชาติ ความไม่คงตัวของคลอโรฟิลล์เกิดเนื่องจาก คลอโรฟิลล์ง่ายต่อการถูกทำลายหรือง่ายต่อการเสื่อมสภาพทั้งจาก เอนไซม์ กรด ออกซิเจน แสง และความชื้น ทำให้เกิดอนุพันธ์ต่างๆ ของคลอโรฟิลล์ เช่น pheophytin, pheophorbide, pyropheophytin และ pyropheophorbide การทำให้คลอโรฟิลล์มีความคงตัวสามารถทำได้โดยการแทนที่ magnesium ion ใน porphyrin ring ด้วย divalent cations เช่น zinc หรือ copper เพื่อเปลี่ยนรูปแบบธรรมชาติให้อยู่ในรูปที่มีโครงสร้างที่มีความคงตัว (Humphrey, 1980) ซึ่งอนุพันธ์ที่เกิดขึ้นจะมีสีเขียวเหมือนสีธรรมชาติของคลอโรฟิลล์แต่มีความคงตัวต่อกรดและความร้อน นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในด้านการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Tonucci and von Elbe, 1992)

ปัจจัยต่างๆ เช่น pH อุณหภูมิ การมีอยู่ของเกลือ เอนไซม์ และไอออนที่ออกฤทธิ์ที่พื้นผิว มีอิทธิพลต่อความคงตัวของคลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์มีความคงตัวดีขึ้นที่ pH สูงขึ้น (Ryan-Stoneham and Tong, 2000) โดยทั่วไปเกลือของแมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม แอมโมเนียม และสารออกฤทธิ์ที่พื้นผิวบางชนิดมีผลต่อการรักษาความคงตัวของคลอโรฟิลล์ (Woolf, 1979) จากการศึกษาของ Kaushal et al. (2013) ในการลวกใบเผือก (Taro : *Colocasia esculenta* (L.) Schott) พบว่า การลวกใบเผือกในน้ำเป็นเวลา 10 วินาที หรือในด่าง เช่น NaHCO_3 ความเข้มข้น 0.1% ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าการลวกด้วยน้ำหรือไม่ลวก โดยแสดงการสูญเสียสีเขียวที่น้อยที่สุดซึ่งสะท้อนจากปริมาณคลอโรฟิลล์และลักษณะทางโภชนาการ การศึกษาความคงตัวของคลอโรฟิลล์ในเกลือชนิดอื่นๆ เช่น เกลือ ZnCl_2 (Rahayuningsih et al., 2018) เกลือ NaCl เกลือ CaCl_2 และเกลือ $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (Kaur et al., 2018) เป็นต้น

นอกจากการทำให้คลอโรฟิลล์อยู่ในรูปที่มีความเสถียรยากต่อการเปลี่ยนรูปแล้ว การนำคลอโรฟิลล์มาผ่านกระบวนการทำแห้ง ด้วยกระบวนการ encapsulation เพื่อเก็บรักษา ก็เป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญ สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ได้ การทำแห้งด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีการนำมาใช้กันมากในการเปลี่ยนของเหลวเป็นผงแห้ง ซึ่งการทำแห้งแบบพ่นฝอยก็เป็นวิธีการหนึ่งที่น่านำมาใช้ในกระบวนการ encapsulation การทำแห้งนอกจากช่วยให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวยากต่อการเปลี่ยนแปลง ขั้นตอนเริ่มต้นในการทำแห้งสารสีเกี่ยวข้องกับการเลือกใช้วัสดุห่อหุ้มที่เหมาะสม ที่เรียกว่าตัวพา (carrier) หรือสารห่อหุ้ม (encapsulating agent) เช่น กัมอารบิก (gum arabic) ไฮโดรไลซ์สตาร์ช (hydrolyzed starches) และ แป้งดัดแปร (modified starches) วัสดุห่อหุ้มทั้งสามชนิดนี้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในกระบวนการ microencapsulation สารสี เช่น เบตาไซยานิน (Cai and Corke, 2000; Azeredo et al., 2007) แอนโทไซยานิน (Ersus and Yurdagel, 2007), เบตาเลน (Obón et al., 2009) และแคโรทีน (Wagner and Warthesen, 1995)

การทดลองครั้งนี้ต้องการศึกษาผลของสารละลายและการทำแห้งต่อความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายก้ามกุ้ง โดยศึกษาสารละลายที่ทำให้สารสีคลอโรฟิลล์อยู่ในรูปที่คงตัวมากขึ้น จากนั้นทำให้สารสีมีความคงตัวในการเก็บรักษาด้วยการทำแห้งโดยใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอย ในรูปแบบของการทำ encapsulation โดยศึกษาสารที่ใช้ห่อหุ้ม 2 ชนิดคือ กัมอารบิก และ มอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) นำสารห่อหุ้มที่มีความเหมาะสมมาใช้เป็นตัวห่อหุ้มเพื่อผลิตผงของสารสีจากคลอโรฟิลล์ ผงสารสีที่ได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

วิธีการศึกษา

การศึกษาชนิดของสารละลายที่เหมาะสมต่อการรักษาความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายก้ามกุ้ง

ศึกษาชนิดของสารละลายที่เหมาะสมต่อการรักษาความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายก้ามกุ้ง โดยใช้สารละลายเกลือโลหะ 3 ชนิดคือ $ZnCl_2$, $NaCl$ และ $NaHCO_3$ ความเข้มข้นของสารละลายเกลือโลหะที่ใช้ในการศึกษาคือ 1) $ZnCl_2$ ความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 600 ppm 2) $NaCl$ ความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2 และ 0.3% และ 3) $NaHCO_3$ ความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2 และ 0.3% โดยแยกศึกษาสารละลายแต่ละชนิด ตามความเข้มข้นที่กำหนด แล้วนำความเข้มข้นที่ดีที่สุดของสารละลายแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกันอีกครั้ง

การเตรียมตัวอย่าง

ล้างสาหร่ายก้ามกุ้งให้สะอาดด้วยน้ำประปา จากนั้นลวกสาหร่ายในน้ำเดือด เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำไปบดตัวอย่างให้ละเอียด ด้วยเครื่องปั่นอเนกประสงค์ (Philip 5000 series, เนเธอร์แลนด์) เก็บตัวอย่างด้วยการแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ระหว่างการรอดำเนินการภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง

การสังเคราะห์ metal-chlorophyll complexes

ทำการสังเคราะห์ metal-chlorophyll complexes โดยดัดแปลงวิธีการของ Rahayuningsih et al. (2018) และ Salama and Moharram (2007) นำสาหร่ายที่ผ่านการลวกและบดแล้ว 70 กรัม มาทำปฏิกิริยาสารละลายเกลือของโลหะต่างๆ ปริมาตร 280 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้สารละลายเกลือโลหะตามความเข้มข้นที่กำหนด

การสกัด metal-chlorophyll complexes

สกัด metal-chlorophyll complexes โดยดัดแปลงวิธีการของ Rahayuningsih et al. (2018) และ Salama and Moharram (2007) นำตัวอย่างสาหร่ายที่ได้จากการให้ความร้อน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาสกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้น 96% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask shaker ปิดปากพลาสติกด้วยอลูมิเนียมฟรอยด์ นำไปใส่ใน shaker water bath ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็ว 135 รอบต่อนาที เป็นเวลา 45 นาที

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์

วิเคราะห์ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ ตามวิธีการของ Rahayuningsih et al. (2018) โดยการนำสารสกัด 6 กรัม เจือจางด้วยอะซิโตน 30 มิลลิลิตร ผสมตัวอย่างด้วย magnetic stirrer ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำตัวอย่าง 5 มิลลิลิตรไปทำการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นกรองสารสกัดที่ได้ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายส่วนใสมาทำการวัดค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 nm คำนวณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ ตามสมการของ Zhang et al. (2009)

$$Chl_a \text{ (ug.g}^{-1}\text{)} = 12.72 OD_{663} - 2.59 OD_{645} \dots\dots\dots(1)$$

$$Chl_b \text{ (ug.g}^{-1}\text{)} = 22.90 OD_{645} - 4.67 OD_{663} \dots\dots\dots(2)$$

$$Chl_{total} \text{ (ug.g}^{-1}\text{)} = Chl_a + Chl_b = 20.31 OD_{645} + 8.05 OD_{663} \dots\dots\dots(3)$$

การวัดค่าสี

วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) ยี่ห้อ HunterLab รุ่น ColorFlex EZ (ประเทศสหรัฐอเมริกา) ทำการวัดค่า L^* , a^* , b^* , เมื่อ ค่า L^* บ่งบอกถึงความสว่าง (100 = ขาว, 0 = ดำ), a^* value ($+a^*$ = red, $-a^*$ = green), b^* value ($+b^*$ = yellow, $-b^*$ = blue)

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรักษาความคงตัวของสารสีในสาหร่ายก้ามกุ้งด้วยวิธี RSM

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรักษาความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายก้ามกุ้งด้วย วิธี RSM โดยใช้สารละลายที่คัดเลือกจากข้างต้น ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของสารสีในสาหร่ายก้ามกุ้ง โดยออกแบบการทดลองแบบ บ็อกซ์-เบห์นเคน ที่มี 3 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของสารละลาย (X_1) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (X_2) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (X_3)

การรักษาความคงตัวของสารสีด้วยการห่อหุ้ม (Encapsulation)

นำสารละลายและสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาก่อนหน้านี้ มาใช้ในการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะและคลอโรฟิลล์จากสาหร่ายหรือ metallochlorophyll complexes โดยดัดแปลงวิธีการของ Senklang and Anprung (2010) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการ encapsulation ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer ของ บริษัท Niro ประเทศเดนมาร์ก) โดยใช้ตัวห่อหุ้ม (wall material) 2 ชนิดคือ กัมอารบิก และ มอลโทเดกซ์ทริน เตรียมตัวอย่างโดยใช้ตัวห่อหุ้มความเข้มข้น

10% นำของผสมที่ได้เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มี nozzle ขนาด 0.5 mm ความดันและความเร็วลมของ atomizer เท่ากับ 50 kPa และ 0.70 m³/min ตามลำดับ อุณหภูมิของลมเข้าและลมออกเท่ากับ 150 ± 5 องศาเซลเซียส และ 90 ± 5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อัตราการเติมตัวอย่างเท่ากับ 300 ml/h เก็บตัวอย่างที่ได้เพื่อศึกษาค่าสีและวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ ตามวิธีการของ Rahayuningsih et al. (2018)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาชนิดของสารละลายที่เหมาะสมต่อการรักษาความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายก้ามกุ้ง

จากการศึกษาชนิดของสารที่เหมาะสมต่อการรักษาความคงตัวของสารสีในสาหร่ายก้ามกุ้ง โดยใช้สารละลาย 3 ชนิดคือ ZnCl₂ (ความเข้มข้น 0, 200, 400 และ 600 ppm) NaCl (ความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2 และ 0.3%) และ NaHCO₃ (ความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2 และ 0.3%) ผลการทดลองแสดงดัง Table 1-6

จากการศึกษาผลของ ZnCl₂ ต่อการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าสี และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ (Table 1-2) พบว่า เมื่อพิจารณาค่า -a* ซึ่งบ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว สาหร่ายสดจะมีความเป็นสีเขียวต่ำสุด และสาหร่ายที่ผ่านการลวกจะมีสีเขียวมากกว่าสาหร่ายสด นั่นคือการลวกจะช่วยรักษาความคงตัวของคลอโรฟิลล์ซึ่งวัดจากสีเขียวได้ระดับหนึ่ง แต่การให้คลอโรฟิลล์ทำปฏิกิริยากับโลหะคือ Zn ในรูปของ ZnCl₂ จะให้ผลที่ดีกว่า โดยที่ระดับความเข้มข้นของ ZnCl₂ ต่างๆกัน ให้ผลที่ต่างกัน ทั้งลักษณะของสีและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ โดยที่ระดับความเข้มข้น 600 ppm จะให้ค่าความเป็นสีเขียว (-a*) และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงสุด (p < 0.05)

คลอโรฟิลล์ เอ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแมกนีเซียม และพอร์ไฟริน (porphyrin) ที่มีวงแหวนไซโคลเพนทาโนน (cyclopentanone ring) คลอโรฟิลล์ เอ ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ดีในเอทานอลและเมทานอล สูตรทางเคมีของคลอโรฟิลล์ เอ คือ C₅₅H₇₂O₅N₄Mg ในอีกด้านหนึ่ง คลอโรฟิลล์ บี ก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งในรูปของคลอโรฟิลล์ที่ช่วยสังเคราะห์แสงโดยการดูดซับพลังงานแสง นอกจากนี้ยังไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ดีในเอทานอลและเมทานอล สูตรทางเคมีคือ C₅₅H₇₀O₆N₄Mg (Lide, 2009) คลอโรฟิลล์สามารถย่อยสลายได้ง่ายที่ค่า pH อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม และการสัมผัสกับออกซิเจนหรือแสงโดยตรง อนุพันธ์ที่เกิดขึ้นคือ ฟิโอฟิติน (pheophytin) ฟิโอฟอไรบด์ (pheophorbide) ไพโรฟิโอฟิติน (pyropheophytin) และไพโรฟิโอฟอไรบด์ (pyropheophorbide) การเสื่อมสภาพของสีเกิดขึ้นเนื่องจากของการแทนที่ของ Mg²⁺ ไอออนกับ H⁺ ไอออนจากพอร์ไฟริน (Koca et al. 2007) มีงานวิจัยซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารสกัดคลอโรฟิลล์สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีโดยการแทนที่ Mg²⁺ ในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ด้วย Zn²⁺ หรือ Cu²⁺ (Senklang and Anprung, 2010) การศึกษาครั้งนี้ใช้ ZnCl₂ คือใช้ Zn²⁺ มาช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ นอกจากนั้นจากการศึกษาของ Rahayuningsih et al. (2018) ซึ่งศึกษาในใบ suji (*Pleomele angustifolia* Roxb.) พบว่าการสกัดสารสีธรรมชาติจากใบ suji ด้วยน้ำและรักษาความคงตัวของสารสี สภาวะที่เหมาะสมคือการเติม ZnCl₂ ความเข้มข้น 700 ppm โดยใช้สภาวะที่ pH 7 และอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส สภาวะนี้ทำให้ได้คลอโรฟิลล์ทั้งหมดปริมาณ 47.297 มก./100 กรัม น้ำหนักสด

Table 1 Effect of ZnCl₂ solution on color value in *Chara corallina*

Sample	Color parameters		
	L* value	a* value	b* value
Raw algae	17.32 ± 0.06 ^a	-5.93 ± 0.01 ^e	16.13 ± 0.06 ^c
Blanched algae + 0 ppm ZnCl ₂	15.76 ± 0.05 ^b	-7.81 ± 0.03 ^d	18.07 ± 0.42 ^b
Blanched algae + 200 ppm ZnCl ₂	14.87 ± 0.02 ^d	-7.82 ± 0.01 ^{cc}	18.02 ± 0.04 ^b
Blanched algae + 400 ppm ZnCl ₂	14.42 ± 0.13 ^e	-7.85 ± 0.01 ^b	17.86 ± 0.12 ^b
Blanched algae + 600 ppm ZnCl ₂	15.23 ± 0.07 ^c	-7.89 ± 0.03 ^a	18.62 ± 0.03 ^a

Different letters within the same column indicate significant difference at p < 0.05.

Table 2 Effect of ZnCl₂ solution on chlorophyll concentration in *Chara corallina*

Sample	Chlorophyll concentration (ug.g ⁻¹)		
	Chl a	Chl b	Chl total
Raw algae	2.302 ± 0.010 ^e	1.095 ± 0.003 ^e	3.397 ± 0.011 ^e
Blanched algae + 0 ppm ZnCl ₂	3.540 ± 0.001 ^d	1.525 ± 0.003 ^d	5.065 ± 0.004 ^d
Blanched algae + 200 ppm ZnCl ₂	3.588 ± 0.001 ^c	1.531 ± 0.003 ^c	5.119 ± 0.004 ^{bc}
Blanched algae + 400 ppm ZnCl ₂	3.624 ± 0.001 ^b	1.540 ± 0.003 ^b	5.163 ± 0.004 ^b
Blanched algae + 600 ppm ZnCl ₂	3.662 ± 0.001 ^a	1.635 ± 0.003 ^a	5.297 ± 0.004 ^a

Different letters within the same column indicate significant difference at $p < 0.05$

การเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์เกิดขึ้นโดยตรงหลังจากใบไม้ถูกเก็บเกี่ยวผ่านปฏิกิริยาที่มีการใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์ (Oberhuber et al., 2003; Skutnik et al., 2004; Hörtensteiner and Kräutler, 2011) การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ด้วยเอนไซม์เกิดขึ้นเนื่องจาก การมีเอนไซม์ย่อยสลายคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อพืช เอนไซม์จะย่อยสลายคลอโรฟิลล์ในช่วงที่ใบไม้แก่ หรือการสุกของผลไม้/ผักสีเขียว (Kaewsuksaeng, 2011) ในขณะที่การย่อยสลายที่ไม่ใช้เอนไซม์ได้รับผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม และมักเกิดขึ้นในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว (Suzuki et al., 2005)

จากการศึกษาผลของ NaCl ต่อการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าสี และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ (Table 3-4) พบว่า เมื่อพิจารณาค่า $-a^*$ ซึ่งบ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว สาหร่ายสดจะมีความเป็นสีเขียวต่ำสุด และสาหร่ายที่ผ่านการลวกจะมีสีเขียวมากกว่าสาหร่ายสด แต่การให้คลอโรฟิลล์ทำปฏิกิริยากับโลหะคือ Na ในรูปของ NaCl จะให้ผลที่ดีกว่า โดยที่ระดับความเข้มข้นของ NaCl ต่างๆกัน ให้ผลที่ต่างกัน ทั้งลักษณะของสี และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ โดยที่ระดับความเข้มข้น 0.3% จะให้ค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงสุด ($p < 0.05$) จากการศึกษาของ Kaur et al. (2018) ซึ่งศึกษาผลของการลวกบรอกโคลีสดก่อนการอบแห้งด้วยเกลือชนิดต่างๆ พบว่า ความเข้มข้นของเกลือในการลวกที่แนะนำคือ โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5% โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 0.1% และโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.1% คือความเข้มข้นที่แนะนำของเกลือแต่ละชนิด

Table 3 Effect of NaCl solution on color value in *Chara corallina*

Sample	Color parameters		
	L* value	a* value	b* value
Raw algae	17.32 ± 0.06 ^a	-5.93 ± 0.01 ^d	16.13 ± 0.06 ^d
Blanched algae + 0 % NaCl	15.76 ± 0.05 ^c	-7.81 ± 0.03 ^c	18.07 ± 0.42 ^{bc}
Blanched algae + 0.1 % NaCl	16.00 ± 0.29 ^{bc}	-8.00 ± 0.09 ^b	18.28 ± 0.04 ^b
Blanched algae + 0.2 % NaCl	15.21 ± 0.02 ^d	-8.18 ± 0.02 ^a	17.88 ± 0.01 ^c
Blanched algae + 0.3 % NaCl	16.11 ± 0.23 ^b	-8.25 ± 0.02 ^a	18.70 ± 0.13 ^a

Different letters within the same column indicate significant difference at $p < 0.05$

Table 4 Effect of NaCl solution on chlorophyll concentration in *Chara corallina*

Sample	Chlorophyll concentration (ug.g ⁻¹)		
	Chl a	Chl b	Chl total
Raw algae	2.302 ± 0.010 ^e	1.095 ± 0.003 ^d	3.397 ± 0.011 ^e
Blanched algae + 0 % NaCl	3.540 ± 0.001 ^d	1.525 ± 0.003 ^b	5.065 ± 0.004 ^d
Blanched algae + 0.1 % NaCl	3.826 ± 0.001 ^c	1.454 ± 0.002 ^c	5.280 ± 0.003 ^c
Blanched algae + 0.2 % NaCl	4.001 ± 0.003 ^b	1.637 ± 0.003 ^a	5.638 ± 0.005 ^b
Blanched algae + 0.3 % NaCl	4.014 ± 0.004 ^a	1.646 ± 0.001 ^a	5.660 ± 0.005 ^a

Different letters within the same column indicate significant difference at $p < 0.05$

จากการศึกษาผลของ NaHCO_3 ต่อการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าสี และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ (Table 5-6) พบว่า เมื่อพิจารณาค่า $-a^*$ ซึ่งบ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว สาหร่ายสดจะมีความเป็นสีเขียวต่ำสุด และสาหร่ายที่ผ่านการลวกจะมีสีเขียวมากกว่าสาหร่ายสด แต่การให้คลอโรฟิลล์ทำปฏิกิริยากับโลหะคือ Na ในรูปของ NaHCO_3 จะให้ผลที่ดีกว่า โดยที่ระดับความเข้มข้นของ NaHCO_3 ต่างๆกัน ให้ผลที่ต่างกัน ทั้งลักษณะของสี และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ โดยที่ระดับความเข้มข้น 0.3% จะให้ค่าความเป็นสีเขียว ($-a^*$) และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงสุด ($p < 0.05$)

Kaushal et al. (2013) ศึกษาผลการลวกของใบเผือก (Taro : *Colocasia esculenta* (L.) Schott) โดยใช้ MgO , NaCl , NaHCO_3 และ EDTA ผลการทดลองพบว่า การลวกใบเผือกในน้ำเป็นเวลา 10 วินาที หรือในด่าง เช่น NaHCO_3 ความเข้มข้น 0.1% ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าการลวกด้วยไอน้ำหรือไม่ลวก โดยแสดงการสูญเสียสีเขียวที่น้อยที่สุดซึ่งสะท้อนจากปริมาณคลอโรฟิลล์และลักษณะทางโภชนาการ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Cao and Dong (2023) ที่มีการศึกษาในผักหวานบ้าน *Sauropus androgynus* ซึ่งเป็นสมุนไพรที่มีคลอโรฟิลล์จำนวนมาก สกัดคลอโรฟิลล์จาก *S. androgynus* โดยการกวนใบสดบดที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที สภาวะอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 25 นาที ด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้น 40% และเติมเกลือต่างๆ เช่น NaCl , Na_2CO_3 และ ZnSO_4 เพื่อเปรียบเทียบความเสถียรเมื่อเวลาผ่านไป ผลการวิจัยพบว่าภายใต้สภาวะการสกัดปกติที่อุณหภูมิห้องภายใน 25 นาที การเติมเกลือ Na_2CO_3 ความเข้มข้น 1% (น้ำหนักแห้ง) จะให้ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดที่ 1.351 ± 0.032 มก./กรัมน้ำหนักแห้ง

Table 5 Effect of NaHCO_3 solution on color value in *Chara corallina*

Sample	Color parameters		
	L* value	a* value	b* value
Raw algae	17.32 ± 0.06 ^a	-5.93 ± 0.01 ^e	16.13 ± 0.06 ^d
Blanched algae + 0 % NaHCO_3	15.76 ± 0.05 ^b	-7.81 ± 0.03 ^d	18.07 ± 0.42 ^a
Blanched algae + 0.1 % NaHCO_3	14.81 ± 0.03 ^e	-8.15 ± 0.03 ^c	17.21 ± 0.04 ^c
Blanched algae + 0.2 % NaHCO_3	15.04 ± 0.02 ^d	-8.51 ± 0.03 ^a	17.67 ± 0.04 ^b
Blanched algae + 0.3 % NaHCO_3	15.57 ± 0.01 ^c	-8.30 ± 0.03 ^b	18.13 ± 0.03 ^a

Different letters within the same column indicate significant difference at $p < 0.05$

Table 6 Effect of NaHCO_3 solution on chlorophyll concentration in *Chara corallina*

Sample	Chlorophyll concentration ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)		
	Chl a	Chl b	Chl total
Raw algae	2.302 ± 0.010 ^e	1.095 ± 0.003 ^e	3.397 ± 0.011 ^e
Blanched algae + 0 % NaHCO_3	3.540 ± 0.001 ^d	1.525 ± 0.003 ^d	5.065 ± 0.004 ^d
Blanched algae + 0.1 % NaHCO_3	3.917 ± 0.006 ^c	2.331 ± 0.000 ^c	6.248 ± 0.006 ^c
Blanched algae + 0.2 % NaHCO_3	4.049 ± 0.004 ^b	2.987 ± 0.017 ^b	7.037 ± 0.021 ^b
Blanched algae + 0.3 % NaHCO_3	4.340 ± 0.003 ^a	3.033 ± 0.006 ^a	7.372 ± 0.009 ^a

Different letters within the same column indicate significant difference at $p < 0.05$

ในกระบวนการลวกผักใบเขียวมักมีการปรับสภาวะให้เป็นด่างในการลวกผัก เพื่อป้องกันการเสียสภาพของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) โดยด่างที่มักมีการใช้ได้แก่ NaHCO_3 และ MgCO_3 ซึ่งเป็นเกลือที่เป็นด่าง (alkaline salt) จากการศึกษาของ Prangdimurti et al. (2006) พบว่า การสกัดโดยใช้ 0.75% Tween 80 ร่วมกับ Na-citrate ความเข้มข้น 12 mM เป็นเวลา 30 นาที ให้สารสกัดคลอโรฟิลล์จากใบ suji ที่สูง การศึกษาของ Hutajulu et al. (2008) พบว่าการใช้ MgCO_3 ช่วยรักษาสีเขียวของใบ suji นอกจากนี้การใช้ CaCO_3 และ MgCO_3 จะช่วยรักษาสีเขียวของคลอโรฟิลล์จากสารสกัดใบ suji (Caesar et al., 2018) เกลือเหล่านี้จะทำให้เกิดความเป็นกลางของกรดในเนื้อเยื่อของพืช ลดการทำให้เป็นกรด ยับยั้งการเกิดของฟีโอไฟติน (pheophytin) ซึ่งทำให้เกิดสีเขียวน้ำตาล ในสารสกัดของคลอโรฟิลล์ (Schwartz and Lorenzo, 1990; Weber et al., 2013)

จาก Table 1-6 พบว่า 0.3 % NaCl, 0.3 % NaHCO₃ และ 600 ppm ZnCl เป็นความเข้มข้นของสารละลายเกลือแต่ละชนิดที่ให้ค่าความเป็นสีเขียว และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์สูงสุด เมื่อทำการเปรียบเทียบสารทั้งสามชนิด ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 7-8

Table 7 Effects of three types of solutions at appropriate concentrations on color values in *Chara corallina*

Sample	Color parameters		
	L* value	a* value	b* value
Raw algae	17.32 ± 0.06 ^a	-5.93 ± 0.01 ^e	16.13 ± 0.06 ^d
Blanched algae + 0 %	15.76 ± 0.05 ^c	-7.81 ± 0.03 ^d	18.07 ± 0.42 ^b
Blanched algae + 0.3 % NaCl	16.11 ± 0.23 ^b	-8.25 ± 0.02 ^b	18.70 ± 0.13 ^a
Blanched algae + 0.3 % NaHCO ₃	15.04 ± 0.02 ^d	-8.51 ± 0.03 ^a	17.67 ± 0.04 ^c
Blanched algae + 600 ppm ZnCl	15.23 ± 0.07 ^d	-7.89 ± 0.02 ^c	18.62 ± 0.03 ^a

Different letters within the same column indicate significant difference at $p < 0.05$

Table 8 Effects of three types of solutions at appropriate concentrations on Chlorophyll concentration in *Chara corallina*

Sample	Chlorophyll concentration (ug.g ⁻¹)		
	Chl a	Chl b	Chl total
Raw algae	2.302 ± 0.010 ^e	1.095 ± 0.003 ^e	3.397 ± 0.011 ^d
Blanched algae + 0 %	3.540 ± 0.001 ^d	1.525 ± 0.003 ^d	5.065 ± 0.004 ^c
Blanched algae + 0.3 % NaCl	4.014 ± 0.004 ^b	1.646 ± 0.001 ^b	5.660 ± 0.005 ^b
Blanched algae + 0.3 % NaHCO ₃	4.340 ± 0.003 ^a	3.033 ± 0.006 ^a	7.372 ± 0.009 ^a
Blanched algae + 600 ppm ZnCl	3.662 ± 0.001 ^c	1.635 ± 0.003 ^c	5.296 ± 0.004 ^b

Different letters within the same column indicate significant difference at $p < 0.05$

จากตารางที่ 7 – 8 สารละลาย 0.3 % NaHCO₃ ช่วยในการรักษาความคงตัวของสารสีจากคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายก้ามกุ้งได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสารละลาย 0.3 % NaHCO₃ ในการศึกษาในหัวข้อต่อไป

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรักษาความคงตัวของสารสีในสาหร่ายก้ามกุ้งด้วยวิธี RSM

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรักษาความคงตัวของคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายก้ามกุ้งด้วย วิธี RSM โดยใช้สารละลายเกลือที่คัดเลือกจากการศึกษาก่อนหน้านี้ นั่นคือ NaHCO₃ ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายสาหร่ายก้ามกุ้ง ออกแบบการทดลองแบบ บ็อกซ์-เบห์นเคน ที่มี 3 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของ NaHCO₃ (X_1) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (X_2) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (X_3) ผลการทดลองพบว่าค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ด้วย NaHCO₃ ในสาหร่ายก้ามกุ้ง เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์สูงสุด โดยใช้ฟังก์ชัน response optimizer ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ และวัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability: D) ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลตอบมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ ผลการทดสอบมีดังนี้

- X_1 = ความเข้มข้นของ NaHCO₃ (%) = 0.3
- X_2 = อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส) = 90
- X_3 = ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที) = 10

โดยได้ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์สูงสุด เท่ากับ 7.647 ug.g⁻¹ เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้มาทำการทดสอบความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายก้ามกุ้งอีกครั้งพบว่า ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เท่ากับ 7.329 ± 0.007 (ug.g⁻¹) จากการศึกษาของ Rahayuningsih et al. (2018) ซึ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคลอโรฟิลล์จากใบ suji (*Pleomele angustifolia* Roxb.) โดยใช้ ZnCl₂ เป็นตัวรักษาความคงตัวของคลอโรฟิลล์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ pH 7 ความเข้มข้นของ ZnCl₂ เท่ากับ 700 ppm อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณ total chlorophyll content (TCC) เท่ากับ 47.297 mg/100 g fw

การรักษาความคงตัวของสารสีด้วยการห่อหุ้ม (encapsulation)

นำสารละลายและสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาก่อนหน้านี้ นั่นคือใช้ NaHCO_3 ความเข้มข้นเท่ากับ 0.3% อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที มาใช้ในการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะและคลอโรฟิลล์ หรือ metallochlorophyll complexes จากสาหร่ายก้ามกุ้ง จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการ encapsulation ด้วยเครื่องทำแท่งแบบพ่นฝอย โดยใช้ตัวห่อหุ้ม (wall material) 2 ชนิดคือ กัมอารบิก และ มอลโตเดกซ์ทริน วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) วิเคราะห์ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เปรียบเทียบกับสาหร่ายสด ผลการทดลองแสดงดัง Table 9 -10

Table 9 Color value of metal-chlorophyll complexes after the encapsulation process

Sample	Color parameters		
	L* value	a* value	b* value
Raw algae	14.06 ± 0.10 ^c	-7.77 ± 0.03 ^c	16.17 ± 0.03 ^c
encapsulation with gum arabic	24.36 ± 0.98 ^b	-11.92 ± 0.04 ^b	26.56 ± 0.18 ^b
encapsulation with maltodextrin	37.19 ± 0.34 ^a	-14.05 ± 0.03 ^a	34.80 ± 0.13 ^a

Different letters within the same column indicate significant difference at $p < 0.05$

Table 10 Chlorophyll concentration of metal-chlorophyll complexes after the encapsulation process

Sample	Chlorophyll concentration ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)		
	Chl a	Chl b	Chl total
Raw algae	2.90 ± 0.002 ^c	1.41 ± 0.003 ^c	4.30 ± 0.004 ^c
encapsulation with gum arabic	12.79 ± 0.005 ^b	4.71 ± 0.003 ^b	17.49 ± 0.007 ^b
encapsulation with maltodextrin	15.57 ± 0.002 ^a	5.21 ± 0.002 ^a	20.78 ± 0.003 ^a

Different letters within the same column indicate significant difference at $p < 0.05$

การศึกษาการรักษาความคงตัวของสารสีจากสาหร่ายก้ามกุ้ง โดยการ encapsulation ด้วยสารห่อหุ้มสองชนิดคือ กัมอารบิก และ มอลโตเดกซ์ทริน พบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ทรินจะช่วยรักษาความคงตัวของคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายก้ามกุ้งได้ดีกว่า กัมอารบิก เมื่อพิจารณาจากค่าสีเขียว (-a*) และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ สอดคล้องกับการทดลองของ Sarabandi et al. (2019) ที่พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นตัวห่อหุ้มสารสีจากเปลือกมะเขือยาวให้ผลที่ดีกว่าการใช้กัมอารบิก โดย Sarabandi et al. (2019) ได้ศึกษาการผลิตผงห่อหุ้มที่บรรจุสารสกัดจากเปลือกมะเขือยาวซึ่งเป็นแหล่งสีธรรมชาติและสารต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้กัมอารบิกและ มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม ศึกษาผลของอุณหภูมิทางเข้าของการทำแท่งแบบพ่นฝอย (140–170 องศาเซลเซียส) และตัวพาต่างๆ (มอลโตเดกซ์ทริน กัมอารบิก และส่วนผสมของตัวพาทั้งสอง) ต่อผลผลิตการผลิตผง คุณสมบัติทางกายภาพ การไหล สี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ อินฟราเรด ตรวจสอบสเปกโทรสโกปี (FTIR) โครงสร้างจุลภาค และขนาดอนุภาค ผลการทดลองพบว่าคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของผงได้รับอิทธิพลจากชนิดของตัวพาและอุณหภูมิทางเข้าผงที่ได้จากห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกซ์ทรินที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส แสดงค่า TPC สูงสุด (5.2 มก./กรัม) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 73.4% ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS) เท่ากับ 90.5% ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่าของ Trolox (TEAC) เท่ากับ 2.5 mM กิจกรรมการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radicals scavenging activity) เท่ากับ 79.1% และ ค่า reducing power (Abs700) เท่ากับ 1.2 ในกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด FTIR spectroscopy บ่งชี้ว่าสารสกัดถูกห่อหุ้มโดยตัวห่อหุ้ม การประเมินโครงสร้างจุลภาคของผงแสดงให้เห็นอนุภาคกลวงบางส่วนที่มีโครงสร้างแบบเมทริกซ์ การประเมินทางประสาทสัมผัสระบุว่า การเติมสารสกัดมะเขือยาวที่ผ่านกระบวนการห่อหุ้ม (encapsulation) ลงในผลิตภัณฑ์ gummy candy ทำให้สีและการยอมรับโดยรวมดีขึ้น

มอลโตเดกซ์ทรินนิยมใช้ในกระบวนการทำแท่งแบบพ่นฝอยเพื่อเป็นสารห่อหุ้มเนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้ำได้สูง (Tonon et al., 2008; Apintanapong and Noomhorm, 2003), ความหนืดต่ำในอัตราส่วนของแข็งสูง (Balasubramani et al., 2015) ไม่มีรสชาติ ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย เกิดการก่อตัวของผลิตภัณฑ์แบบห่อหุ้มที่มีเสถียรภาพต่อการเกิดออกซิเดชันที่ดี และต้นทุนต่ำ (Apintanapong and Noomhorm, 2003) แต่มีข้อจำกัดบางประการ ที่สำคัญคือ

ความสามารถในการผสมอิมัลชันค่อนข้างต่ำและการเก็บรักษาสารระเหยได้ค่อนข้างน้อย (Sturm et al., 2019) ดังนั้นจึงนิยมนำไปผสมกับวัสดุห่อหุ้มอื่นๆ เพื่อสร้างอิมัลชันที่เสถียร เช่น เวย์โปรตีน (Kang et al., 2019)

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาผลของสารละลายและการทำแห้งต่อความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายก้ามกุ้งพบว่า เกลือ NaHCO_3 ช่วยรักษาความคงตัวของสารสีคลอโรฟิลล์จากสาหร่ายก้ามกุ้งได้ดีที่สุด โดยมีสภาวะที่เหมาะสมในการรักษาความคงตัวคือ ความเข้มข้นของ NaHCO_3 เท่ากับ 0.3% อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 10 นาที และมอลโทเดกซ์ทรินมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นตัวห่อหุ้มเพื่อผลิตผงของสารสีจากคลอโรฟิลล์ สารสีที่ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอาหาร เพื่อลดการใช้สีสังเคราะห์ เพิ่มคุณประโยชน์จากคลอโรฟิลล์ และเป็นการนำวัตถุดิบในท้องถิ่นคือสาหร่ายก้ามกุ้งมาเพิ่มมูลค่าให้มากขึ้น

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริม ววน.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกว.) สำหรับทุนอุดหนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: นพรัตน์ มะเห. การปฏิบัติกรวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: นพรัตน์ มะเห, วรณิณี จันทร์แก้ว. การจัดเก็บข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: นพรัตน์ มะเห. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: นพรัตน์ มะเห. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: นพรัตน์ มะเห. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครุภัณฑ์: ดลฤดี พิษัยรัตน์

เอกสารอ้างอิง

- Apintanapong, M., & Noomhorm, A. (2003). The use of spray drying to microencapsulate 2-acetyl-1-pyrroline, a major flavour component of aromatic rice. *International Journal of Food Science and Technology*, 38(2), 95–102.
- Azeredo, H. M. C., Santos, A. N., Souza, A. C. R., Mendes, K. C. B., & Andrade, M. I. R. (2007). Betacyanin stability during processing and storage of a microencapsulated red beetroot extract. *American Journal of Food Technology*, 2(4), 307–312.
- Balasubramani, P., Palaniswamy, P. T., Visvanathan, R., Thirupathi, V., Subbarayan, A., & Prakash Maran, J. (2015). Microencapsulation of garlic oleoresin using maltodextrin as wall material by spray drying technology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72(1), 210-217.
- Caesar, J., Tamm, A., Ruckteschler, N., Leifke, A. L., & Weber, B. (2018). Revisiting chlorophyll extraction methods in biological soil crusts – methodology for determination of chlorophyll a and chlorophyll a+b as compared to previous methods. *Biogeosciences*, 15(1), 1415-1424.
- Cai, Y. Z., & Corke, H. (2000). Production and properties of spray-dried amaranthus betacyanin pigment. *Journal of Food Science*, 65(6), 1248-1252.
- Cao, H. K. N., & Dong, T. A. D. (2023). Study on the effect of metal salts on chlorophyll pigment extraction from fresh *Sauropus androgynus* leaves. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14(1), 100699.
- Ersus, S., & Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota L.*) by spray drier. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 805–812.
- Hörtensteiner, S., & Kräutler, B. (2011). Chlorophyll breakdown in higher plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*, 1807(8), 977-988.
- Humphrey, A. M. (1980). Chlorophyll. *Food Chemistry*, 5(1), 57-67.
- Hutajulu, T. F., Hartanto, E. S., & Subagja, S. (2008). Extraction of chlorophyll green color for food and its characterization. *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 2(1), 44 – 55.

- Kaewsuksaeng, S. (2011). Chlorophyll degradation in horticultural crops. **Walailak Journal of Science and Technology**, 8(1), 9-19.
- Kang, Y.-R., Lee, Y.-K., Kim, Y. J., & Chang, Y. H. (2019). Characterization and storage stability of chlorophylls microencapsulated in different combination of gum Arabic and maltodextrin. **Food Chemistry**, 272(1), 337-346.
- Kaur, N., Aggarwal, P., & RajputKaur, H. (2018). Effect of different blanching treatments on physicochemical, phytochemical constituents of cabinet dried broccoli. **Chemical Science Review and Letters**, 7(25), 262-271.
- Kaushal, M., Sharma, K. D. S., & Attri, S. (2013). Effect of blanching on nutritional quality of dehydrated colocasia, *Colocasia esculenta* (L.) Schott leaves. **Indian Journal of Natural Products and Resources**, 4(2), 161-164.
- Koca, N., Karadeniz, F., & Burdurlu, H. S. (2007). Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. **Food Chemistry**, 100(2), 609-615.
- Lide, D. R. (2009). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 90th Ed. CRC Press.
- Martins, N., Roriz, C. L., Morales, P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. **Trends in Food Science & Technology**, 52(1), 1-15.
- Oberhuber, M., Berghold, J., Breuker, K., Hörtensteiner, S., & Krautler, B. (2003). Breakdown of chlorophyll: a nonenzymatic reaction accounts for the formation of the colorless “nonfluorescent” chlorophyll catabolites. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 100(12), 6910- 6915.
- Obón, J. M., Castellar, M. R., Alacid, M., & FernándezLópez, J. A. (2009). Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. **Journal of Food Engineering**, 90(4), 491-479.
- Prangdimurti, E., Muchtadi, D., Astawan, M., & Zakaria, F. R. (2006). **Kapasitas Antioksidan Dan Hipokolesterolemik Ekstrak Daun Suji**. Bogor Agricultural University.
- Rahayuningsih, E., Pamungkas, M. S., Olvianas, M., & Putera, A. D. P. (2018). Chlorophyll extraction from suji leaf (*Pleomele angustifolia* Roxb.) with ZnCl₂ stabilizer. **Journal of Food Science and Technology**, 55(3), 1028-1036.
- Ryan-Stoneham, T., & Tong, C. H. (2000). Degradation kinetics of chlorophyll in peas as a function of pH. **Journal of Food Science**, 65, 1296-1302.
- Salama, M. F., & Moharram, H. A. (2007). Relationship between colour improvement and metallo-chlorophyll complexes during blanching of peas and broccoli. **Alexandria Journal of Food Science and Technology**, 4(2), 11-18
- Sarabandi, K., Jafari, S. M., Mahoonak, A. S., & Mohammadi, A. (2019). Application of gum Arabic and maltodextrin for encapsulation of eggplant peel extract as a natural antioxidant and color source. **International Journal of Biological Macromolecules**, 140(1), 59-68.
- Schwartz, S. J., & Lorenzo, T. V. (1990). Chlorophyll in foods. **Food Science and Nutrition**, 29(1), 1-17.
- Senklang, P., & Anprung, P. (2010). Optimizing enzymatic extraction of Zn-chlorophyll derivatives from pandan leaf using response surface methodology. **Journal of Food Processing and Preservation**, 34(2010), 759-776.
- Sigurdson, G. T., Tang, P., & Giusti, M. M. (2017). Natural colorants: food colorants from natural sources. **The Annual Review of Food Science and Technology**, 8(1), 261-280.
- Skutnik, E., Rabiza-Swider, J., Wachowicz, M., & Ęukaszewska, A. J. (2004). Senescence of cut leaves of *Zantedeschia aethiopica* and *Z. elliotiana*. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, 3(2), 57- 65.
- Šturm, L., Črnivec, I. G. O., Istenič, K., Ota, A., Megušar, P., Slukan, A., Humar, M., Levic, S., Nedović, V., Kopinč, R., Deželak, M., Gonzales, A. P., & Ulrih, N. P. (2019). Encapsulation of non-dewaxed propolis by freeze-drying and spray-drying using gum Arabic, maltodextrin and inulin as coating materials. **Food and Bioproducts Processing**, 116(2019), 196-211.
- Suzuki, T., Kunieda, T., Murai, F., Morioka, S., & Shioi, Y. (2005). Mg-dechelation activity in radish cotyledons with artificial and native substrates, Mg-chlorophyllin a and chlorophyllide a. **Plant Physiology and Biochemistry**, 43(5), 459-464.
- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, 88(3), 411-418.
- Tonucci, L. H., & von Elbe, J. H. (1992). Kinetic of the formation of zinc complex of chlorophyll derivatives. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 40(12), 2341- 2344.
- Wagner, L. A., & Warthesen, J. J. (1995). Stability of spraydried encapsulated carrot carotene. **Journal of Food Science**, 60(5), 1048-1053.
- Weber, B., Wessels, D. C. J., Deutschewitz, K., Dojani, S., Reichenberger, H., & Büdel, B. (2013). Ecological characterization of soilinhabiting and hypolithic soil crusts within the Knersvlakte, South Africa. **Ecological Processes**, 2(1), 1-13.
- Wolf, M. L. (1979). Pigments. In Priestley R. J. (Ed.), **Effect of Heat Processing on Food Stuffs**, pp. 76-120. Applied Science Publishers Ltd.
- Zhang, J. H., Han, C., & Liu, Z. H. (2009). Absorption spectrum estimating rice chlorophyll concentration: preliminary investigations. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, 1(5), 223-229.

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร
ในอำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ

Factors Affecting the Need to Extension the Cultivation of Mung Bean after Rice
Production for Farmers in Utumpornphisai District, Sisaket Province

จรรยา สิงห์คำ¹, นารีรัตน์ สีระสาร¹ และอินทอร วงศ์สทวิวัฒน์^{1*}

Junya Singkum¹, Nareerut Seerasarn¹ and Intion Wongsahawit^{1*}

Received date: 6 มิ.ย. 67 Revised date: 10 พ.ย. 67 Accepted date: 25 พ.ย. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.23.009>

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) การส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนา 2) ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาและ 3) ปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนา ประชากรที่ศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกถั่วเขียวหลังนาที่ขึ้นทะเบียนในปีผลิต 2566 และ 2567 อำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ จำนวน 200 ราย โดยกำหนดขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตร ของ Taro Yamane ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 134 ราย สุ่มตัวอย่างแบบง่าย เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์ และวิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ ผลการวิจัยพบว่า 1) เกษตรกรมีความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวในระดับมาก 2 ประเด็น ได้แก่ วิธีการส่งเสริมแบบรายบุคคล โดยต้องการการเยี่ยมเยียนที่บ้านหรือไร่ และวิธีการส่งเสริมแบบกลุ่ม เกษตรกรต้องการการศึกษา ดูงานและการประชุม 2) ปัจจัยที่มีผลต่อการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร พบว่า ไม่มีตัวแปรอิสระใดที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ เมื่อ อายุ ระดับการศึกษา ประสบการณ์ในการปลูกถั่วเขียว การได้รับการฝึกอบรม แรงงานในครัวเรือน พื้นที่ปลูกข้าวนาปี พื้นที่ปลูกถั่วเขียวหลังนา ต้นทุนการปลูกถั่วเขียว รายได้เฉลี่ยจากการปลูกถั่วเขียว แตกต่างกันไป ไม่มีผลต่อการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกรและ 3) เกษตรกรมีปัญหาในระดับมาก ด้านความรู้เกี่ยวกับพันธุ์ถั่วเขียว เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว เกษตรกรมีข้อเสนอแนะควรมีการรวมกลุ่มผู้ปลูกถั่วเขียว มีแปลงเรียนรู้ เพื่อเป็นจุดเรียนรู้ สาธิต และดูงานของเกษตรกรในพื้นที่

คำสำคัญ: ความต้องการ การส่งเสริม พืชตระกูลถั่ว การปลูกพืชหลังนา

Abstract

The objectives of this research were to study 1) the extension of mung bean after rice production the knowledge of beekeeping, 2) factors affecting the need to extend the cultivation of mung bean after rice production, and 3) problems and suggestions for extension of mung bean after rice production. The studied population consisted of 200 farmers who implemented mung bean extension after rice production and registered with the Department of Agricultural Extension in the crop year of 2023 and 2024 in Utumpornphisai District, Sisaket Province. Using Taro Yamane's formula with a 95% confidence level, the sample size was determined to be 134 farmers. For simple random sampling, data collection was conducted through interviews, and data were analyzed using frequency, percentage, mean, standard deviation, and multiple regression analysis. The results indicated the followings: 1) The farmers had a high level of extension needs for mung bean cultivation in 2 areas, namely, individual extension, which requires a visit to their home or farm, and group extension, which requires study tours and conferences. 2) For factors affecting mung bean after rice production for farmers, it was found that there were no independent variables with a statistically significant relationship at the 0.05 levels. This means that difference in age, education level, experience in growing mung beans, experience in training, household labor, rice growing area, mung beans planting area behind rice fields, cost of

¹ สาขาส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จ.นนทบุรี 11120

¹ Agricultural Extension and Development, School of Agriculture and Cooperatives, Sukhothai Thammathirat, Nonthaburi 11120

*Corresponding author, Email: intion5599@gmail.com

growing mung beans, and average income from growing mung beans did not affect farmers growing mung beans behind their rice fields and 3) The farmers had problems at a high level regarding knowledge about mung bean varieties and post-harvest technology. They also suggested that there should be a group of mung bean growers and a learning plot arranged as a learning center to demonstrate and view the work of the farmers in the area.

Keywords: needs, extension, legumes planting crops, planting crops after rice fields

คำนำ

ถั่วเขียว เป็นพืชที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ ใช้บริโภคและเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแปรรูปต่าง ๆ ปัจจุบันผลผลิตถั่วเขียวในประเทศไทยยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงจำเป็นต้องนำเข้าผลผลิตจากต่างประเทศ ส่งผลให้มูลค่าการนำเข้าถั่วเขียวสูงถึงหลายหมื่นล้านบาทต่อปี (Department of Agricultural Extension, 2022)

พื้นที่เพาะปลูกถั่วเขียวในประเทศไทยมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2566 มีพื้นที่เพาะปลูกเพียง 663,500 ไร่ ซึ่งลดลงจากปี 2565 และ 2564 ที่มีพื้นที่เพาะปลูก 701,931 ไร่ และ 743,180 ไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้ ปัญหาการผลิตในปี 2566 เกิดจากต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น โดยเฉพาะค่าแรงงานและค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยว ประกอบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงเพาะปลูก ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ลดลงเหลือเพียง 153 กิโลกรัมต่อไร่ สถานการณ์ดังกล่าวนำไปสู่การผลิตถั่วเขียวภายในประเทศที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลให้ต้องพึ่งพาการนำเข้าถั่วเขียวจากต่างประเทศ (Office of Agricultural Economics, 2023)

ในปี 2566 จังหวัดศรีสะเกษมีพื้นที่เพาะปลูกถั่วเขียวจำนวน 1,861 ไร่ โดยอำเภออุทุมพรพิสัยมีพื้นที่เพาะปลูก 720 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 38.69 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมดในจังหวัด (Department of Agricultural Extension, 2024) เกษตรกรในพื้นที่ต้องเผชิญกับปัญหาภัยแล้งและปริมาณน้ำไม่เพียงพอ ส่งผลกระทบต่อการเพาะปลูก นอกจากนี้ยังประสบปัญหาการขาดแคลนแหล่งรวบรวมรับซื้อในพื้นที่ ความผันผวนของราคาผลผลิต ปัญหาการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช การใช้สารเคมีเกินความจำเป็น ขนาดพื้นที่เพาะปลูกที่จำกัด รวมถึงปัญหาด้านคุณภาพของผลผลิต

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของ เกษตรกรในอำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนา พร้อมทั้งศึกษาปัญหาและข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมดังกล่าว ผลการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการวางแผนและพัฒนาการปลูกถั่วเขียวในอนาคต ซึ่งจะนำไปสู่การเสริมสร้างเศรษฐกิจ สร้างงาน สร้างอาชีพ และรายได้ที่ยั่งยืนแก่เกษตรกร

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) ประชากรที่ใช้ศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกถั่วเขียวหลังนา ที่มีรายชื่ออยู่ในระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านการเกษตร ในปีการผลิต 2566 ในอำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ จำนวน 200 ราย กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรคำนวณของ Taro Yamane ที่ระดับความคลาดเคลื่อน 0.05 (Yamane, 1973) ได้กลุ่มตัวอย่าง 134 ราย และสุ่มตัวอย่างเกษตรกรของแต่ละตำบล โดยการจับสลากตามรายชื่อเกษตรกร ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่ายจนกว่าจะครบตามจำนวนของแต่ละตำบล เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล คือ แบบสัมภาษณ์ มีลักษณะคำถามทั้งแบบปลายปิดและแบบปลายเปิด แบ่งเป็น 3 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ข้อมูลสภาพทางด้านสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา ประสบการณ์ ในการปลูกถั่วเขียว พื้นที่ปลูกข้าวนาปี พื้นที่ปลูกถั่วเขียว ต้นทุนการปลูกถั่วเขียวต่อไร่ และรายได้เฉลี่ยการปลูกถั่วเขียวต่อไร่

ตอนที่ 2 ความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร ได้แก่ ด้านความรู้ ด้านวิธีการส่งเสริม และด้านการสนับสนุน โดยวัดระดับความต้องการการส่งเสริมตามมาตรวัดลิเคิร์ต (Likert Type Scale) แบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ น้อยที่สุด น้อย ปานกลาง มาก และมากที่สุด

ตอนที่ 3 ปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร แบ่งประเด็นปัญหาและข้อเสนอแนะของเกษตรกร 3 ประเด็น ได้แก่ ด้านความรู้ ด้านวิธีการส่งเสริม และด้านการสนับสนุน โดยวัดระดับปัญหา และข้อเสนอแนะตามมาตรวัดลิเคิร์ต (Likert Type Scale) แบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ น้อยที่สุด น้อย ปานกลาง มาก และมากที่สุด

ในตอนต้นที่ 2 และตอนที่ 3 กำหนดเกณฑ์น้ำหนักการประเมิน 5 ระดับ ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.80 หมายความว่า น้อยมาก

- คะแนนเฉลี่ย 1.81 – 2.60 หมายความว่า น้อย
 คะแนนเฉลี่ย 2.61 – 3.40 หมายความว่า ปานกลาง
 คะแนนเฉลี่ย 3.41 – 4.20 หมายความว่า มาก
 คะแนนเฉลี่ย 4.21 – 5.00 หมายความว่า มากที่สุด

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability consistency) ตามวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Coefficient of alpha) ของ Cronbach โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ได้ค่าความน่าเชื่อถือของแบบสัมภาษณ์เท่ากับ 0.820 แล้วดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง 134 ราย สถิติที่ใช้วิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) โดยวิเคราะห์ตัวแปรอิสระ 9 ตัวแปร และตัวแปรตาม 1 ตัวแปร เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ข้อมูลสภาพทางด้านสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร

เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 56.0) อายุเฉลี่ย 56.39 ปี จบการศึกษาระดับประถมศึกษา (ร้อยละ 43.3) มีประสบการณ์ในการปลูกถั่วเขียวเฉลี่ย 3.1 ปี พื้นที่ปลูกข้าวนาปีเฉลี่ย 14.68 ไร่ มีพื้นที่ปลูกถั่วเขียวหลังนาเฉลี่ย 3.50 ไร่ มีต้นทุนการปลูกถั่วเขียวต่อไร่เฉลี่ย 805.60 บาท และมีรายได้เฉลี่ยจากการปลูกถั่วเขียวต่อไร่ 1,231.49 บาท ใกล้เคียงกับ Nakpradit (2015) พบว่า เกษตรกรร้อยละ 57.9 เป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 51.54 ปี ซึ่งแตกต่างจาก Santipracha (2018) พบว่า เกษตรกรร้อยละ 72.1 จบการศึกษาระดับประถมศึกษา

ความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร

ในภาพรวมเกษตรกรมีความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาอยู่ในระดับปานกลางทั้ง 3 ประเด็น ได้แก่ ด้านความรู้ (ค่าเฉลี่ย 3.24) ด้านการสนับสนุน (ค่าเฉลี่ย 3.21) และด้านวิธีการส่งเสริม (ค่าเฉลี่ย 3.17) ดังที่แสดงใน Table 1

ด้านความรู้ พบว่า เกษตรกรต้องการความรู้ภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากเกษตรกรมีวิธีการเตรียมแปลงปลูกแบบไม่มีการเผาตอซัง ใช้คนหว่านเมล็ดกระจายเมล็ดให้ทั่วเสมอกันทั้งแปลง เมื่อทำการหว่านเรียบร้อยแล้วพรวนดินกลบทันที เพื่อปิดผิวหน้าดินป้องกันการระเหยของน้ำใต้ดิน ซึ่งจะช่วยให้มีการควบคุมความชื้นและเมล็ดงอกดีขึ้น แต่ไม่มีการใช้ปุ๋ยรองพื้น หรือใส่ระหว่างปลูกซึ่งส่งผลต่อผลผลิตถั่วเขียวต่อไร่ต่ำ ไม่มีคลุมเมล็ดถั่วเขียวด้วยเชื้อไรโซเบียม เพื่อช่วยตรึงไนโตรเจนในอากาศมาเป็นอาหารของต้นถั่ว Department Of Agriculture, (2013) ได้กล่าวว่า ไรโซเบียมเป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถสร้างปุ๋ยไนโตรเจน โดยการตรึงไนโตรเจนในอากาศและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่ปมรากถั่วเขียว ปริมาณไนโตรเจนที่ไรโซเบียมสามารถตรึงได้สำหรับถั่วเขียวประมาณ 10 - 22 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

Table 1 Farmers' overall views on the need to promote post-field mung bean production

Items	Mean	(S.D)	Level	Ranking
1. Knowledge	3.24	0.850	moderate	1
2. Support	3.21	1.300	moderate	2
3. Extension methods	3.17	0.976	moderate	3

ด้านการสนับสนุน พบว่า เกษตรกรต้องการการสนับสนุนภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง ได้แก่ มีตลาดรับซื้อที่แน่นอน (ค่าเฉลี่ย 3.33) การสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (ค่าเฉลี่ย 3.19) และปัจจัยการผลิต เช่น เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว (ค่าเฉลี่ย 3.10) เมื่อพิจารณาแล้วเกษตรกรมีความต้องการตลาดรับซื้อที่แน่นอน เนื่องจากตลาดรับซื้อในพื้นที่มีน้อย เกษตรกรส่วนใหญ่ยังไม่สามารถเข้าถึงปัจจัยการผลิต แหล่งจำหน่ายปุ๋ยหรือสารเคมีที่มีคุณภาพที่จะช่วยยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวให้สูงขึ้น ควรมีการจัดตั้งศูนย์ผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่จะช่วยให้กระจายเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวสู่เกษตรกรที่ปลูกถั่วเขียวอย่างทั่วถึง ซึ่งสอดคล้องกับนโยบาย Department of Agricultural Extension, (2022) โครงการส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชตระกูลถั่วเพื่อความมั่นคงด้านอาหาร เพื่อสร้างแรงจูงใจแก่เกษตรกรให้หันมาปลูกพืชตระกูลถั่วเพิ่มมากขึ้น และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชตระกูลถั่วแก่เกษตรกร ตลอดจนเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตภายในประเทศเพื่อลดการนำเข้า

ด้านวิธีการส่งเสริม พบว่า เกษตรกรมีความต้องการภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง โดยเกษตรกรต้องการวิธีการส่งเสริมอยู่ในระดับมาก 2 ประเด็น ได้แก่ วิธีการส่งเสริมแบบรายบุคคล โดยต้องการการเยี่ยมเยียนที่บ้านหรือไร่ (ค่าเฉลี่ย 3.54) และวิธีการส่งเสริม

แบบกลุ่ม โดยต้องการการศึกษาดูงาน (ค่าเฉลี่ย 3.70) การประชุม (ค่าเฉลี่ย 3.51) ซึ่งจะทำให้เกษตรกรมีกิจกรรมในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ประสบการณ์หรือสิ่งที่เกษตรกรได้พบเจอซึ่งกันและกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Suttakarn (2021) พบว่า เกษตรกรมีความต้องการด้านวิธีการส่งเสริมในระดับมาก ได้แก่ วิธีการส่งเสริมแบบรายบุคคล และวิธีการส่งเสริมแบบกลุ่ม ได้แก่ การบรรยาย การฝึกอบรม การอภิปรายคณะ และการทัศนศึกษา

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกรในอำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร ใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยใช้ตัวแปรอิสระทั้งหมด 9 ตัวแปร ได้แก่ อายุ (X_1) ระดับการศึกษา (X_2) ประสบการณ์ในการปลูกถั่วเขียว (X_3) การได้รับการฝึกอบรม (X_4) แรงงานในครัวเรือน (X_5) พื้นที่ปลูกข้าวนาปี (X_6) พื้นที่ปลูกถั่วเขียวหลังนา (X_7) ต้นทุนการปลูกถั่วเขียว (X_8) รายได้เฉลี่ยจากการการปลูกถั่วเขียว (X_9) และตัวแปรตาม 1 ตัวแปร ได้แก่ ความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนา (Y) ผลการวิเคราะห์ พบว่า ประชากรที่ใช้ในการศึกษามีอายุเฉลี่ย 56.39 ปี มีประสบการณ์ในการปลูกถั่วเขียวเฉลี่ย 3.10 ปี ได้รับการฝึกอบรมเฉลี่ย 1.04 ครั้งต่อปี มีแรงงานในครัวเรือนเฉลี่ย 2.47 คน พื้นที่ปลูกข้าวนาปีเฉลี่ย 14.68 ไร่ พื้นที่ปลูกถั่วเขียวหลังนาเฉลี่ย 3.50 ไร่ ต้นทุนการปลูกถั่วเขียวเฉลี่ย 805.60 บาทต่อไร่ และรายได้เฉลี่ยจากการปลูกถั่วเขียว 1,231.49 บาทต่อไร่ ดังที่แสดงใน Table 2

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร พบว่า จากตัวแปรอิสระ 9 ตัวแปร ไม่มีตัวแปรอิสระใดที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ เมื่อ อายุ ระดับการศึกษา ประสบการณ์ในการปลูกถั่วเขียว การได้รับการฝึกอบรม แรงงานในครัวเรือน พื้นที่ปลูกข้าวนาปี พื้นที่ปลูกถั่วเขียวหลังนา ต้นทุนการปลูกถั่วเขียว รายได้เฉลี่ยจากการปลูกถั่วเขียว แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร ดังที่แสดงใน Table 2

Table 2 Mean and standard deviation of variables used in the binary logistic regression analysis

Variable	Mean	SD.
Independent variable		
X1 = Age (Years)	56.39	8.623
X2 = Education level (Years)	2.51	1.194
X3 = Experience in growing mung beans (Years)	3.10	1.785
X4 = Receiving training (Times/Year)	1.04	0.208
X5 = Household labor (People)	2.47	0.763
X6 = Area of rice cultivation (Rai)	14.68	6.214
X7 = Mung bean planting area behind rice fields (Rai)	3.50	1.946
X8 = Cost of growing mung beans (Baht/rai)	805.60	299.123
X9 = Average income from growing mung beans (Baht/rai)	1,231.49	432.747
Dependent variable		
Y = Extension needs of the cultivation of mung beans after rice fields.	3.19	0.747

Table 3 Analyze the relationship of variables of Mung bean cultivation after rice for farmers

Variable	Regression coefficient (b)	t	Sig
Constant	4.192	4.871	.000
X ₁ = Age (Years)	-.010	-1.079	.283
X ₂ = Education Level (Years)	-.124	-1.604	.111
X ₃ = Experience in growing mung beans (Years)	.015	.369	.713
X ₄ = Receiving training (Times/Year)	.184	.538	.592
X ₅ = Household labor (People)	-.165	-1.841	.068
X ₆ = Area of rice cultivation (Rai)	-.001	-.086	.932
X ₇ = Mung bean planting area after rice fields (Rai)	.027	.758	.450
X ₈ = Cost of growing mung beans (Baht/rai)	.000	-1.389	.167
X ₉ = Average income from growing mung beans (Baht/rai)	.000	1.368	.174
R ² = 0.081 SEE = 0.741 F = 1.212 Sig. of F = 0.293			

จาก Table 3 สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกรในอำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 4.888 + 0.001X_1 + 0.011 X_2 - 0.001 X_3 - 8.53E-05 X_4 \\
 & (4.499) \quad (0.068) \quad (1.324) \quad (-0.127) \quad (-0.489) \\
 + & 6.83E-06 X_5 + 6.78E-06 X_6 - 0.06 X_7 + 0.168 X_8 - 0.084 X_9 \\
 & (0.545) \quad (1.958) \quad (-1.851) \quad (1.339) \quad (-0.323) \\
 - & 0.274 X_{10} - 0.251 X_{11} - 0.155 X_{12} \\
 & (-2.688) \quad (-2.674) \quad (-1.509)
 \end{aligned}$$

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตาม (Dependent variable), X คือ ตัวแปรอิสระ (Independent variable), β_0 คือ ค่าคงที่ (Constant), β_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) และ ϵ คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error or Residual)

ดังนั้น เมื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร พบว่า ไม่มีตัวแปรอิสระใดที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับการปลูกถั่วเขียวหลังนา ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อายุ ระดับการศึกษา ประสบการณ์ในการปลูกถั่วเขียว การได้รับการฝึกอบรม แรงงานในครัวเรือน พื้นที่ปลูกข้าวนาปี พื้นที่ปลูกถั่วเขียวหลังนา ต้นทุนการปลูกถั่วเขียว และรายได้เฉลี่ยจากการปลูกถั่วเขียว ล้วนไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจของเกษตรกรในการปลูกถั่วเขียวหลังนา

ปัญหาเกี่ยวกับความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร

เกษตรกรมีปัญหาความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาในระดับมาก ได้แก่ ด้านความรู้ (ค่าเฉลี่ย 3.54) และด้านการสนับสนุน (ค่าเฉลี่ย 3.44) ได้แก่ พันธุ์ถั่วเขียว และเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มีปัญหาความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาในระดับปานกลาง ได้แก่ ด้านวิธีการส่งเสริม (ค่าเฉลี่ย 3.27) ดังที่แสดงใน Table 4 ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องมีการส่งเสริมให้ตรงกับความต้องการ อาศัยความรู้และวิทยาการด้านต่างๆ มีการนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมผสมผสานกับภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อช่วยยกระดับการผลิตถั่วเขียวให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น มีการสนับสนุนการรวมกลุ่มที่ต่อเนื่อง กลุ่มเข้มแข็งรวมตัวกันกู้เงินจากธนาคารในอัตราดอกเบี้ยต่ำ สนับสนุนการจัดทำแปลงเรียนรู้การผลิตเมล็ดพันธุ์ในรูปแบบกลุ่ม เมื่อได้ผลผลิตทำการจัดสรรให้สมาชิกมีเมล็ดพันธุ์ที่ดีไว้ใช้ ซึ่งแตกต่างจาก Inphuha (2018) พบว่า เกษตรกรมีปัญหาด้านวิธีการส่งเสริมในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.23) รองลงมามีปัญหาในระดับปานกลางด้านการสนับสนุน (ค่าเฉลี่ย 3.01) และด้านความรู้ (ค่าเฉลี่ย 2.93)

Table 4 Farmers' overall the problems in extension of the cultivation of mung beans after rice fields

Items	Mean	(S.D)	Level	Ranking
1. Knowledge	3.54	0.510	Hight	1
2. Support	3.44	0.720	The Most	2
3. Extension Methods	3.27	0.600	Moderate	3

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร

เกษตรกรมีข้อเสนอแนะในระดับมาก ได้แก่ ด้านความรู้ (ค่าเฉลี่ย 3.58) โดยการให้ความรู้เรื่องพันธุ์และลักษณะของ ถั่วเขียว วิธีการปลูก การดูแลรักษา โรคและแมลงศัตรูพืชในถั่วเขียว เทคโนโลยีการเก็บเกี่ยว และเทคโนโลยีหลังการเก็บ และด้านการสนับสนุน (ค่าเฉลี่ย 3.49) ควรมีการส่งเสริมการรวมกลุ่ม เพื่อจำหน่ายผลผลิตและจัดหาแหล่งรับซื้อที่แน่นอน ส่งเสริมการทำแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ดีในชุมชนเพื่อเป็นการกระจายเมล็ดพันธุ์ได้ทั่วถึง และมีการจัดนิทรรศการ งานรณรงค์เพื่อถ่ายทอดความรู้ และเทคโนโลยีใหม่ๆ ให้แก่เกษตรกรอย่างต่อเนื่อง ดังที่แสดงใน Table 5 ซึ่งแตกต่างจาก Sopa (2020) พบว่า เกษตรกรมีข้อเสนอแนะในระดับมาก ได้แก่ ข้อเสนอแนะด้านเนื้อหาการผลิตถั่วเหลืองคุณภาพ และข้อเสนอแนะด้านวิธีการส่งเสริม

Table 5 Farmers' overall recommendations for the extension of the cultivation of mung beans after rice fields

Items	Mean	(S.D)	Level	Ranking
1. Knowledge	3.58	0.510	Hight	1
2. Support	3.49	0.720	Hight	2
3. Extension Methods	3.39	0.563	Moderate	3

สรุปผลการศึกษา

จากศึกษาข้อมูลของเกษตรกรผู้ปลูกถั่วเขียวหลังนาในอำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 56.39 ปี จบการศึกษาระดับประถมศึกษา มีประสบการณ์ในการปลูกถั่วเขียวเฉลี่ย 3.10 ปี มีพื้นที่ปลูกข้าวนาปีเฉลี่ย 14.65 ไร่ มีพื้นที่ปลูกถั่วเขียวหลังนาเฉลี่ย 3.50 ไร่ มีแหล่งเงินทุนเป็นของตนเอง ต้นทุนการปลูกถั่วเขียวเฉลี่ย 805.60 บาทต่อไร่ มีรายได้เฉลี่ยจากการปลูกถั่วเขียวเฉลี่ย 1,231.49 บาทต่อไร่ เกษตรกรมีความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวในระดับปานกลาง ในประเด็นด้านความรู้ โดยเกษตรกรมีระดับความต้องการระดับมาก ในเรื่องการจัดการดินและปุ๋ย เนื่องจากเกษตรกรมีวิธีการเตรียมแปลงปลูกแบบไม่มีการเผาตอซัง หวานเมล็ดแล้วตัดตอซังกลบทันทีซึ่งจะช่วยให้มีการควบคุมความชื้นและเมล็ดงอกดีขึ้น แต่ไม่มีการใช้ปุ๋ยรองพื้น หรือใส่ระหว่างปลูกซึ่งส่งผลต่อผลผลิตถั่วเขียวต่อไร่ต่ำ และด้านการสนับสนุน สำหรับด้านวิธีการส่งเสริม มีความต้องการระดับมาก ในประเด็นวิธีการส่งเสริมแบบรายบุคคล ต้องการการเยี่ยมเยียนที่บ้านหรือโรงนา อาจเนื่องมาจากเกษตรกรนิยมการส่งเสริมแบบรายบุคคล โดยเฉพาะเจ้าหน้าที่ที่มีความใกล้ชิดกับเกษตรกร จะมีความกล้าที่จะสอบถามข้อมูลต่าง ๆ มุ่งเน้นการส่งเสริมเกษตรกรตามระบบ T&V System เพื่อให้เกษตรกรได้รับข้อมูลข่าวสารอย่างต่อเนื่อง และวิธีการส่งเสริมแบบกลุ่ม เกษตรกรต้องการการศึกษาดูงานและการประชุม ซึ่งจะทำให้เกษตรกรมีกิจกรรมในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ประสบการณ์หรือสิ่งที่เกษตรกรได้พบเจอซึ่งกันและกัน ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการการส่งเสริมการปลูกถั่วเขียวหลังนา พบว่า ไม่มีตัวแปรอิสระใดที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 0.05 คือ เมื่อ อายุ ระดับการศึกษา ประสบการณ์ในการปลูกถั่วเขียว การได้รับการฝึกอบรม แรงงานในครัวเรือน พื้นที่ปลูกข้าวนาปี พื้นที่ปลูกถั่วเขียวหลังนา ต้นทุนการปลูกถั่วเขียว รายได้เฉลี่ยจากการปลูกถั่วเขียว แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อการปลูกถั่วเขียวหลังนาของเกษตรกร เกษตรกรมีปัญหา ด้านความรู้ และด้านการสนับสนุน เนื่องจากการส่งเสริมและสนับสนุนด้านเทคโนโลยีการผลิตด้านปัจจัยการผลิตไม่เพียงพอและต่อเนื่อง ช่องทางการจำหน่ายมีน้อย ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องมีการส่งเสริมให้ตรงกับความต้องการของเกษตรกร อาศัยความรู้และวิทยาการด้านต่าง ๆ มีการนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมผสมผสานกับภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อช่วยยกระดับการผลิตถั่วเขียวให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น สนับสนุนการจัดทำแปลงเรียนรู้การผลิตเมล็ดพันธุ์ในรูปแบบกลุ่ม เมื่อได้ผลผลิตทำการจัดสรรให้สมาชิกมีเมล็ดพันธุ์ที่ดีไว้ใช้ ข้อเสนอแนะของเกษตรกร ควรมีการให้ความรู้เรื่องพันธุ์และลักษณะของถั่วเขียว วิธีการปลูก การดูแลรักษา โรคและแมลงศัตรูพืชในถั่วเขียว เทคโนโลยีการเก็บเกี่ยว และเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สนับสนุนให้มีการส่งเสริมการรวมกลุ่ม เพื่อจำหน่ายผลผลิต จัดหาแหล่งรับซื้อที่แน่นอน ส่งเสริมการทำแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ดีในชุมชนเพื่อเป็นการกระจายเมล็ดพันธุ์ได้ทั่วถึง มีการจัดนิทรรศการงานรณรงค์เพื่อถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีใหม่ ๆ ให้แก่เกษตรกรอย่างต่อเนื่อง

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: อินทอร วงศ์สทวิวัฒน์. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: นาริรัตน์ สีระสาร, อินทอร วงศ์สทวิวัฒน์. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: นาริรัตน์ สีระสาร, อินทอร วงศ์สทวิวัฒน์. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: จรรยา สิงห์คำ, นาริรัตน์ สีระสาร, อินทอร วงศ์สทวิวัฒน์. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript: นาริรัตน์ สีระสาร, อินทอร วงศ์สทวิวัฒน์.

เอกสารอ้างอิง

- Department of Agricultural Extension. (2022). **Agricultural Promotion Project Manual Fiscal Year 2022.: Project Promote Increasing The Efficiency of Legume Production For Food Security.** Retrieved from: http://www.agriman.doae.go.th/home/agriman62/65_Website_Project/65_13_Legumes.pdf. (in Thai).
- Department of Agricultural Extension. (2024). **Oily Skin Mung Beans.** Retrieved from: <https://production.doae.go.th/data-state-all/index>. (in Thai).
- Department of Agriculture. (2013). **Academic Publication on Mung Bean Production.** Agricultural Cooperative Community Publishing House of Thailand. (in Thai).
- Inphuwa, S. (2018). Extension Needs of Rice Production According to Appropriate Good Agricultural Standards of Member Farmers. Large Rice Field, Na Kae District, Nakhon Phanom Province. **Kaen Kaset**, 47(Special 1), 1023-1030. (in Thai).
- Nakpradit, S. (2015). **Factors Related to Farmers' Decision to Plant Mung Beans to Replace Second-Season Rice Farming in Uthai Thani Province.** Master's Thesis. Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics. (2023). **Agricultural Economic Information by Product, Year 2023, Mung Beans.** Retrieved from: <https://www.oae.go.th/view/1/Published/TH-TH>. (in Thai).
- Santipracha, K. (2018). **Growing Green Beans Behind Rice Fields and The Need for Promotion of Farmers in Nong Ma Mong District. Chainat Province.** . Master's Thesis. Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai).
- Sopa, S. (2020). **Guidelines for Promoting Quality Soybean Production for Farmers in Doi Luang District. Chiang Rai Province.** Master of Agriculture Thesis. Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai).
- Suttakarn, A. (2021). **Promoting Soybean Seed Production by Farmers in Na Noi District, Nan Province.** . Master's Thesis. Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai).
- Yamane, T. (1973). **Statistics: An Introductory Analysis.** 3rd Ed. Harper and Row Publication.

การยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense)
ของเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ
Adoption of Precision Agriculture Systems Smart Farm (HandySense)
of Nam Dok Mai Mango farmers, Bang Phli District, Samut Prakan Province

วรรณภา สมอาษา¹ พัชราวดี ศรีบุญเรือง^{1*} และพิชัย ทองดีเลิศ¹
Wannapa Somarsa¹, Patcharavadee Sriboonruang^{1*} and Pichai Tongdeelert¹
Received date: 17 ธ.ค. 67 Revised date: 20 ม.ค. 68 Accepted date: 22 ม.ค. 68
DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.23.010>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ และปัจจัยด้านการเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะ 2) การยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ของเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ 3) เปรียบเทียบการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) จำแนกตามปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ และปัจจัยด้านการเปิดรับข่าวสาร และ 4) ปัญหาและข้อเสนอแนะ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย คือ เกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 223 คน ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ และใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูล สถิติที่ใช้ คือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด การทดสอบสมมติฐานใช้ t-test และ F-test ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรเป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 57.1 ปี จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษา สถานภาพสมรส สมาชิกในครัวเรือน 4 คน มีประสบการณ์ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้เฉลี่ย 21.7 ปี โดยมีพื้นที่ปลูกเฉลี่ย 2.2 ไร่ มีปริมาณผลผลิตเฉลี่ย 446.4 กิโลกรัม/ไร่/ปี และมีรายได้จากการจำหน่ายมะม่วงน้ำดอกไม้เฉลี่ย 33,569.5 บาท/ปี/ราย ต้นทุนในการผลิตเฉลี่ย 3,337.3 บาท/ไร่/ปี แรงงานในครัวเรือน 2 คน เกษตรกรเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะจากสื่อบุคคล คือเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร สื่อกิจกรรมจากการอบรม สื่อมวลชนจากการดูโทรทัศน์ และสื่อสังคมออนไลน์ คือ ยูทูบ ด้านการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ของเกษตรกร โดยรวมค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพ ประสบการณ์ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ และการเปิดรับข่าวสารผ่านสื่อบุคคล สื่อมวลชน และสื่อสังคมออนไลน์ ที่แตกต่างกันมีผลต่อการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะของเกษตรกรแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ปัญหาและข้อเสนอแนะ คือ ระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ต้องลงทุนสูงเหมาะต่อการปลูกมะม่วงช่วงแรก ภาครัฐควรให้คำแนะนำในการใช้งานเพื่อให้เกษตรกรเข้าใจ ใช้ได้อย่างถูกต้อง และมีความต่อเนื่อง

คำสำคัญ: ระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ มะม่วงน้ำดอกไม้ การเปิดรับข่าวสาร การยอมรับ บางพลี

Abstract

The objectives of this research were to study 1) personal factors, economic factors, and exposure to news about smart farms; 2) compare the adoption of a precision agriculture and smart farms system (HandySense) classified according to personal factors, economic factors, and news exposure factors; 3) compare personal factors, economic factors, media exposure about smart farm and acceptance of precision agriculture and smart farm system (HandySense) of farmers; and 4) problems and suggestions. The sample consisted of 223 Nam Dok Mai mango farmers. Accidental sampling and data were collected using questionnaires. Statistics employed included mean, standard deviation, frequency, percentage, minimum and maximum. Hypotheses were tested using t-tests and F-tests. The results of the study revealed that the farmers were female, had an average age of 57.1 years old, attended secondary school for educational level, were married, had a family of 4 people, had an average cultivation experience with Nam Dok Mai mangoes of 21.7 years, had an average planting area of 2.2 rai, had an average yield of 446.4 kilograms/rai/year, had an average income from sales Nam Dok Mai mangoes at 33,569.5 baht/year/person, had an average production cost of 3,337.3 baht/year, and had an average labor of 2 people. Farmers received information about Smart Farming from personal media via

¹ ภาควิชาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Department of Agricultural Extension and Communication, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

* Corresponding author: fagrps@ku.ac.th

agricultural extension officers, from activity media via training, from mass media via television, and from social media via YouTube. Farmers' acceptance of the precision agriculture system (HandySense) overall average is at a high level. The hypotheses testing found that age, educational level, marital status, experience in growing Nam Dok Mai mangoes, and media exposure to smart farming from personal media, mass media, and social media were different in terms of farmers' adoption of the precision farming system and smart farming (HandySense) at a statistically significant level ($P < 0.05$). The problem and suggestion are that HandySense requires a high investment and is suitable for growing mangoes in the early stages. Thus, the government should provide guidance on its use so farmers can better understand and correctly and consistently employ the system.

Keywords: precision agriculture systems smart farm, Nam Dok Mai mango, exposure to news, adoption, Bangphli

คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการบริหารประเทศภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี โดยมุ่งเน้นการพัฒนาศักยภาพทางเศรษฐกิจให้เกิดความมั่นคงและก้าวทันการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น การพัฒนาด้านการเกษตรมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศอย่างมาก เพราะภาคการเกษตรเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญในการสร้างความมั่นคงทางอาหารให้กับประเทศ สร้างรายได้ทั้งภายในและภายนอกประเทศ รวมถึงการสร้างงานในภาคการเกษตรช่วยลดปัญหาการว่างงานและสร้างรายได้ให้กับประชาชน ดังนั้นการพัฒนาภาคการเกษตรจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยมีหน้าที่สำคัญในการดูแลและสนับสนุนให้เกษตรกรไทยมีคุณภาพชีวิตที่ดี รวมทั้งส่งเสริมและพัฒนาภาคการเกษตรที่สามารถให้ผลิตที่มีคุณภาพ มีประสิทธิภาพได้มาตรฐาน สอดคล้องกับความต้องการของตลาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และให้ความสำคัญในการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมเข้ามาใช้ในการผลิต โดยนำแนวคิด “เกษตรอัจฉริยะ” หรือ “SMART AGRICULTURE” มาเป็นหลักสำคัญในการพัฒนาสังคมเกษตรกรรมดั้งเดิมไปสู่สังคมเกษตรกรรมสมัยใหม่หรือเกษตรกรรม 4.0 สำหรับแนวคิดการทำเกษตรอัจฉริยะ คือ การทำเกษตรแม่นยำสูง (Precision Agriculture หรือ Precision Farming) โดยเป็นการทำเกษตรที่มีการวิเคราะห์สภาพพื้นที่ และเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ โดยใช้เทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะควบคุมขั้นตอนการผลิต เช่น การใช้ Agri - Map ตรวจสอบคุณภาพดิน การควบคุมอุณหภูมิให้มีความเหมาะสม โดยนาระบบ AI มาช่วยวางแผนและตัดสินใจทำการเกษตรบนฐานข้อมูลที่ต้องการ โดยการพัฒนา Big Data Platform ด้านเกษตรอัจฉริยะให้มีความแม่นยำในการผลิต ซึ่งผลลัพธ์ของการทำเกษตรอัจฉริยะ คือ การลดสิ่งเหลือใช้ทางการเกษตร ลดต้นทุน ลดการใช้สารเคมี และลดการใช้แรงงานคน รวมถึงการเพิ่มคุณภาพสินค้าและรายได้เกษตรกร (Office of the National Economic and Social Development Board, 2017)

ระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) มีบทบาทในขั้นตอนการผลิต โดยการทำระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ซึ่งเป็นระบบที่แสดงค่าข้อมูลปัจจัยในการผลิตด้านการเกษตร โดยการใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ในขั้นตอนการเพาะปลูก ทำให้สามารถกำหนดสถานะในการปลูกได้ตั้งแต่เริ่มต้น ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพและคำนวณปริมาณผลผลิต รวมถึงเพิ่มคุณค่าของผลผลิตได้ ระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) สามารถนำมาใช้ในขั้นตอนการผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ของเกษตรกร โดยใช้ในการควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยภายในแปลง เกษตรกรสามารถตั้งเวลาในการทำงานหรือสั่งการผ่านสมาร์ทโฟนได้ ทำให้ประหยัดเวลาและลดแรงงานในขั้นตอนการผลิตได้ ซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันที่ขาดแคลนแรงงานในภาคการเกษตร นอกจากนี้ระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้งานได้ง่าย ช่วยควบคุมการผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ภายในแปลงและสามารถให้ข้อมูลที่มีความแม่นยำ เกษตรกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์หรือใช้วางแผนเพื่อผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ให้มีคุณภาพดีต่อไปได้

อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ชุมชนดั้งเดิมประกอบอาชีพด้านการเกษตร ต่อมามีการพัฒนาของโรงงานอุตสาหกรรม ส่งผลให้พื้นที่ด้านการเกษตรลดน้อยลง ในปัจจุบันอำเภอบางพลี มีพื้นที่ทำการเกษตร 20,149.2 ไร่ เกษตรกรส่วนใหญ่ในพื้นที่ทำกิจกรรมการเกษตร ได้แก่ การเลี้ยงปลา การเลี้ยงกุ้ง การปลูกไม้ผล การปลูกผักกระเฉด และพืชผักอื่น ๆ สภาพดินมีความเหมาะสมต่อการปลูกพืช โดยเฉพาะไม้ผล โดยอำเภอบางพลีมีพื้นที่เพาะปลูกมะม่วง 964 ไร่ เกษตรกร 572 ครัวเรือน มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงที่มีรสชาติหวานหอมเป็นเอกลักษณ์ของอำเภอบางพลี ทำให้ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค สามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นอย่างมาก (Samut Prakan Provincial Agricultural Office, 2020) อย่างไรก็ตามปัจจุบันเกษตรกรประสบปัญหาในขั้นตอนการผลิต เนื่องจากต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ขาดแคลนแรงงานและเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ ประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่มีผลต่อการผลิตมะม่วง และเกษตรกรยังไม่มีการ

นำเทคโนโลยีหรือระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) มาใช้ในการผลิตมะม่วง รวมถึงเกษตรกรขาดการเข้าถึงเทคโนโลยีเพื่อใช้ในการผลิต (Bang Phil District Agricultural Extension Office, 2022)

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเรื่องการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ของเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ โดยศึกษาปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ และปัจจัยด้านการเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะต่อการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ของเกษตรกรเพื่อนำมาใช้วางแผนในการส่งเสริมเทคโนโลยีระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะในการพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ของเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ และในพื้นที่อื่น ๆ ต่อไป

วิธีการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้

ประชากร คือ เกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ขึ้นทะเบียนกับ กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในอำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 503 คน (Department of Agricultural Extension, 2023) กลุ่มตัวอย่างเกษตรกรที่ศึกษาคำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่าง (Sample size) โดยใช้สูตรการหาตัวอย่างของ Yamane (Yamane, 1973) ที่ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 223 ราย โดยหาขนาดกลุ่มตัวอย่างแบบสัดส่วน (Proportional Stratified Sampling) จำแนกตามตำบลดังที่แสดงใน Table 1

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยค้างนี้

แบบสอบถาม จำนวน 5 ตอน คือ 1) ข้อมูลปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล 2) ข้อมูลปัจจัย ด้านเศรษฐกิจ 3) ปัจจัยด้านการเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะ 4) การยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (Handy Sense) ของเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ และ 5) ปัญหาและข้อเสนอแนะที่มีต่อการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำ ฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ของเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

การทดสอบเครื่องมือในการวิจัยค้างนี้

ดำเนินการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา (Content Validity) โดย ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน และแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำ จากนั้นทำการทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability) โดยนำ แบบสอบถามไปทดสอบ (Try out) กับเกษตรกรในพื้นที่อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 30 ราย และวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ ความเชื่อมั่นแอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha reliability coefficient) ในส่วนของการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ของเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ ได้ผลการทดสอบค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.720

การแปลความหมายของการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) แบ่งเป็น 3 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน 2) ด้านการรับรู้ถึงประโยชน์ที่เกิดจากการใช้งาน และ 3) ด้านทัศนคติที่มีต่อการใช้งาน ผู้วิจัย ได้แบ่งระดับการยอมรับเป็นรายชื่อ 5 ระดับ และมีเกณฑ์การแปลความหมาย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย 4.21 - 5.00 ระดับมากที่สุด 3.41 - 4.20 ระดับมาก 2.61 - 3.40 ระดับปานกลาง 1.81 - 2.60 ระดับน้อย และ 1.00 - 1.80 ระดับน้อยที่สุด

Table 1 Number of the registered population of Nam Dok Mai Mango and number of sample sizes classified by sub-district

No.	Sub-district	Population	Samples
1	Bang Phli Yai	50	22
2	Bang Kaeo	56	25
3	Bang Pla	177	78
4	Bang Chalong	125	55
5	Racha Thewa	44	20
6	Nong Prue	51	23
Total		503	223

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2567 ซึ่งเป็นข้อมูลในฤดูการผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ในปี พ.ศ. 2566 โดยการใช้แบบสอบถามที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขสมบรูณ์เรียบร้อยแล้ว เก็บข้อมูลจากเกษตรกรในพื้นที่อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ โดยมีการชี้แจงให้เกษตรกรทราบถึงวัตถุประสงค์ในการวิจัยพร้อมอธิบายคำถามเป็นรายข้อ เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 223 คน นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ แปรผล สรุป และรายงานผลการวิจัยทางสถิติต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

ดำเนินการ ดังนี้ 1) การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) คือ ปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ ปัจจัยด้านการเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และ 2) การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ ปัจจัยด้านการเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะ กับการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำ ฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ของเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ใช้สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistic) ประกอบด้วย ค่าสถิติ t - test ใช้วิเคราะห์ปัจจัย ดังนี้ เพศ จำนวนสมาชิกในครัวเรือน การจ้างแรงงาน แหล่งเงินทุน และ F - test ใช้วิเคราะห์ปัจจัย ดังนี้ อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพ ประสิทธิภาพ พื้นที่ปลูก ปริมาณผลผลิต ต้นทุนในการผลิต รายได้จากการจำหน่าย จำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิต สื่อบุคคล สื่อกิจกรรม สื่อมวลชน สื่อสังคมออนไลน์ ในการทดสอบค่านัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 และ 0.01

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล

เกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ในอำเภอบางพลีเป็นเพศหญิง (ร้อยละ 57.0) และมีอายุเฉลี่ย 57.1 ปี ที่มีประสบการณ์ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้มานาน โดยเฉลี่ย 21.7 ปี จบการศึกษาในชั้นมัธยมศึกษา (ร้อยละ 39.9) เกษตรกรจะคอยช่วยเหลือปรึกษาหารือ มีการคิดตัดสินใจร่วมกัน เนื่องจากส่วนใหญ่มีสถานภาพสมรส (ร้อยละ 76.7) จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4 คน สอดคล้องกับการศึกษาของ Sawangsawai et al. (2019) ศึกษาเรื่องการเปิดรับสื่อของเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนในอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีระดับการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย (ร้อยละ 34.7) มีสถานภาพสมรส และมีสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4 คน

ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ

เกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ในอำเภอบางพลี ปลูกมะม่วงเป็นรายได้เสริม โดยปลูกในพื้นที่ว่างรอบคันบ่อ โดยมีพื้นที่เฉลี่ย 2.2 ไร่ และปลูกในพื้นที่ตนเอง (ร้อยละ 50.7) พันธุ์มะม่วงที่เกษตรกรนิยมปลูกมากที่สุด คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ (ร้อยละ 55.9) เนื่องจากมีเอกลักษณ์ของรสชาติที่หวานหอม ในปี พ.ศ. 2566 ที่ผ่านมา พบว่า ปริมาณผลผลิตเฉลี่ย คือ 446.4 กิโลกรัม/ไร่/ปี โดยมีต้นทุนในการปลูกเฉลี่ย 3,337.3 บาท/ไร่/ปี และรายได้จากการจำหน่ายมะม่วงน้ำดอกไม้เฉลี่ย 33,569.5 บาท/ปี/ไร่ เกษตรกรหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อป้องกันผลกระทบที่มีต่อปลาที่เกษตรกรเลี้ยง เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีการจ้างแรงงานในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ (ร้อยละ 85.7) แต่จะใช้แรงงานในครัวเรือนเพื่อช่วยในกิจกรรมการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้แทน ซึ่งมีจำนวน 2 คน (ร้อยละ 53.8) เนื่องจากแรงงานหายาก ส่วนใหญ่เกษตรกรจะใช้เงินทุนของตนเอง (ร้อยละ 86.1) สอดคล้องกับการศึกษาของ Nakklay et al. (2019) ศึกษาเรื่องความคิดเห็นของเกษตรกรที่มีต่อการปลูกมะยงชิดตามเกณฑ์สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ไทยในอำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก พบว่า มีแรงงานภายในครัวเรือน 2 คน (ร้อยละ 48.8) และส่วนใหญ่จะไม่จ้างแรงงานภายนอก (ร้อยละ 79.6) โดยส่วนใหญ่เกษตรกรผู้ปลูกมะยงชิดจะใช้แหล่งเงินทุนจากเงินตัวเอง (ร้อยละ 92.7)

ปัจจัยด้านการเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะ

เกษตรกรได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะจากสื่อบุคคลมากที่สุด คือ นักส่งเสริมการเกษตร (ร้อยละ 73.5) ซึ่งนักส่งเสริมการเกษตรมีความใกล้ชิดเกษตรกร ให้องค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีและระบบเกษตรอัจฉริยะที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ อยู่เสมอ การฝึกอบรม (ร้อยละ 40.4) เป็นสื่อกิจกรรมที่เกษตรกรได้รับจากหน่วยงานต่าง ๆ สื่อมวลชนที่เกษตรกรได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะส่วนใหญ่เป็นการดูโทรทัศน์ (ร้อยละ 71.3) เพราะเกษตรกรทุกครัวเรือนสามารถเข้าถึงได้ง่ายและสื่อสังคมออนไลน์ช่องทางยูทูป (ร้อยละ 65.9) เกษตรกรจะเปิดรับข่าวสารได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Naenna et al. (2016) ศึกษาเรื่องความต้องการความรู้การผลิตข้าวหอมมะลิตามมาตรฐาน GAP ของเกษตรกร พื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา พบว่า การเปิดรับข่าวสารด้านการเกษตรผ่านสื่อบุคคล เกษตรกรเปิดรับข่าวสารจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมมาก

ที่สุด (ร้อยละ 57.5) สื่อมวลชนเปิดรับข่าวสารจากโทรทัศน์ (ร้อยละ 60.6) และสื่อกิจกรรมเปิดรับข่าวสารจากการจัดประชุม (ร้อยละ 37.8) และการฝึกอบรม (ร้อยละ 29.0)

การยอมรับระบบแม่นยำและฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense)

ภาพรวมการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.80$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน โดยรวมค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X} = 3.94$) โดยเกษตรกรมีความคิดเห็นต่อระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) นั้นสามารถตั้งเวลาให้ระบบสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ ช่วยให้ประหยัดเวลาในกระบวนการผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งทำให้เกษตรกรมีเวลาไปทำกิจกรรมอื่น ๆ ได้มากขึ้น รองลงมา คือ ด้านการรับรู้ถึงประโยชน์ที่เกิดจากการใช้งาน โดยรวมค่าเฉลี่ย ($\bar{X} = 3.77$) โดยเกษตรกรมีความคิดเห็นต่อการใช้ระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ช่วยควบคุมในขั้นตอนผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ สามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว และเป็นการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) สามารถลดการใช้แรงงานในขั้นตอนการผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ และด้านทัศนคติที่มีต่อการใช้งาน โดยรวมค่าเฉลี่ย ($\bar{X} = 3.70$) โดยเกษตรกรมีความคิดเห็นต่อระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) เช่น ช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตและควบคุมคุณภาพของผลผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) นอกจากจะตั้งเวลาให้ระบบทำงานแล้ว เมื่อตรวจพบค่าที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชจะแจ้งเตือนและส่งงานระบบอื่น ๆ ให้ทำงานอัตโนมัติ โดยทั้งหมดที่กล่าวมาทำได้จากการสั่งงานระบบควบคุมต่าง ๆ ผ่านสมาร์ตโฟนได้ ทำให้สามารถทำงานได้ทุกที่ทุกเวลา ทำให้เกิดความสะดวกในการทำการเกษตรมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Buayen and Thirawanathaphong (2019) ศึกษาเรื่องการศึกษาแนวทางของเทคโนโลยีฟาร์มอัจฉริยะเพื่อรองรับการขับเคลื่อนแผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมสู่ประเทศไทย 4.0 กรณีศึกษาสวนผลไม้วังสวนบ้านแก้ว พบว่า ฟาร์มอัจฉริยะมีความแตกต่างกับฟาร์มธรรมดาตรงที่ใช้ทรัพยากรเป็นไปอย่างแม่นยำและตรงต่อความต้องการของพืช เกษตรแม่นยำสูงเน้นวิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียด เพื่อนำไปสู่การทำเกษตรกรรมให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด มีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุด ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Overall adoption of precision agriculture systems smart farm (HandySense)

(n= 223)

Overall adoption of precision agriculture systems smart farm (HandySense)	\bar{X}	S.D.	Level of adoption
1. Perceived Ease of Use	3.94	0.41	High
2. Perceived Usefulness	3.77	0.43	High
3. Attitude toward using	3.70	0.42	High
Overall	3.80	0.42	High

$\bar{X} = 4.21 - 5.00$ means highest level of adoption

$\bar{X} = 3.41 - 4.20$ means high level of adoption

$\bar{X} = 2.61 - 3.40$ means moderate level of adoption

$\bar{X} = 1.81 - 2.60$ means low level of adoption

$\bar{X} = 1.00 - 1.80$ means lowest level of adoption

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. ค่าใช้จ่ายในการทำระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ ต้องมีการลงทุนสูงเพื่อปรับเปลี่ยนระบบการผลิตในแปลง
2. ภาครัฐยังไม่ได้ส่งเสริมการใช้ระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ ขาดความต่อเนื่องในการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้งาน ภาครัฐ เอกชน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรพิจารณาพัฒนาในเรื่องเกษตรอัจฉริยะอย่างจริงจังในการให้ความรู้กับเกษตรกรให้เล็งเห็นถึงประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นหากเกษตรกรปรับเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีอัจฉริยะ
3. การเข้าถึงระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะอาจเป็นไปได้น้อย เพราะพื้นที่เกษตรกรลดลง และเกษตรกรไม่ค่อยได้ใช้สมาร์ตโฟน เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรควรมาให้คำแนะนำในช่วงแรก เพื่อให้เกษตรกรเข้าใจ และนำไปใช้ได้ถูกต้อง

4. ควรใช้ระบบแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ ในการปลูกมะม่วงช่วงแรกที่ดินมะม่วงยังเล็กเพราะต้องการใช้ระบบให้น้ำในแปลงเมื่อต้นมะม่วงต้นใหญ่แล้ว การให้น้ำผ่านระบบอาจจะยังไม่มีประสิทธิภาพ เพราะพื้นที่ปลูกมะม่วงของเกษตรกรส่วนใหญ่จะปลูกตามคันบ่อปลา ซึ่งจะใช้น้ำในบ่อใช้ในการเกษตร

สรุปผลทดสอบสมมุติฐานกับการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ของเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

จากการศึกษาพบว่า เกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ได้แก่ อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพ และประสบการณ์ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ที่แตกต่างกัน มีการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (Handy Sense) โดยรวมแตกต่างกัน อาจเป็นเพราะเกษตรกรที่อายุน้อยและมีการศึกษาระดับสูงมีโอกาสที่จะติดตามข่าวสารและเข้าถึงเทคโนโลยีอัจฉริยะได้รวดเร็ว เกษตรกรที่มีสถานภาพสมรสอาจจะมีคนช่วยคิด ร่วมตัดสินใจหากต้องการใช้หรือยอมรับเทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะ นอกจากนี้ประสบการณ์ในการปลูกมะม่วงมานาน สามารถเป็นปัจจัยจูงใจให้เกษตรกรเข้าสู่การเป็นเกษตรกรอัจฉริยะ และยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rungruangnathakul et al. (2019) ได้ทำการศึกษาเรื่องปัจจัยจูงใจที่มีผลต่อการเข้าสู่การเป็นเกษตรกรอัจฉริยะของเกษตรกรชาวสวนยางพารา อำเภอนาทวี จังหวัดสงขลา ผลการวิจัยพบว่า อายุมีผลทางลบต่อการเข้าสู่การเป็นเกษตรกรอัจฉริยะ อาจเป็นเพราะเกษตรกรที่อายุน้อยมีการยอมรับเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้าถึงแหล่งข้อมูลข่าวสารและความรู้ที่กว้างขวางมากกว่าเกษตรกรที่มีอายุมาก และระยะเวลาในการศึกษาของเกษตรกรมีผลทางบวกต่อการเข้าสู่การเป็นเกษตรกรอัจฉริยะ สะท้อนให้เห็นว่าระยะเวลาในการศึกษาส่งผลต่อการเข้าสู่การเป็นเกษตรกรอัจฉริยะ เกษตรกรที่มีการศึกษาสูงจะมีความพร้อมในการเรียนรู้และการยอมรับเทคโนโลยีใหม่ ๆ ได้ดี และประสบการณ์การทำสวนยางพารามีผลทางบวกต่อการเข้าสู่การเป็นเกษตรกรอัจฉริยะ อาจกล่าวได้ว่าหากมีประสบการณ์หรือระยะเวลาในการทำเกษตรที่ยาวนาน สามารถเป็นปัจจัยจูงใจให้เกษตรกรเข้าสู่การเป็นเกษตรกรอัจฉริยะได้

ปัจจัยพื้นฐานทางเศรษฐกิจ ได้แก่ พื้นที่ปลูก ปริมาณผลผลิต ต้นทุนในผลผลิต รายได้จากการจำหน่าย จำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิต การจ้างแรงงาน และแหล่งเงินทุนที่แตกต่างกัน มีการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) โดยรวมไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะพื้นที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ของเกษตรกรมีจำนวนไม่มากนักประกอบกับแรงงานส่วนใหญ่เป็นคนในครอบครัวเดียวกัน จึงไม่มีการจ้างแรงงาน สอดคล้องกับ Khaowiset (2020) ได้ทำการศึกษาเรื่องการยอมรับเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าว อำเภอสามชูก จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า จำนวนแรงงานในครอบครัว จำนวนการจ้างแรงงาน แหล่งที่มาของเงินทุนของเกษตรกรที่แตกต่างกันส่งผลต่อการยอมรับเกษตรอินทรีย์ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าว อำเภอสามชูก จังหวัดสุพรรณบุรี ไม่แตกต่าง

ปัจจัยด้านการเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะ ได้แก่ สื่อบุคคล สื่อมวลชน สื่อสังคมออนไลน์ที่แตกต่างกัน มีการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) โดยรวมแตกต่างกัน เนื่องจากนักส่งเสริมการเกษตรมีความใกล้ชิด สนับสนุนกับเกษตรกร โดยจะติดตามเยี่ยมเยียนกันอยู่เสมอ มีการถ่ายทอดความรู้กับเกษตรกรในด้านการเกษตรและเทคโนโลยีฟาร์มอัจฉริยะใหม่ๆ ทำให้เกษตรกรเข้าถึงข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะมากขึ้น สื่อมวลชนที่เกษตรกรนิยมใช้ในการเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะ คือ โทรทัศน์ อาจเป็นเพราะโทรทัศน์เป็นสื่อที่มีทั้งภาพและเสียง เกษตรกรสามารถเข้าใจง่ายและเป็นข่าวสารที่มีความทันสมัยและเป็นปัจจุบัน ในด้านของสื่อสังคมออนไลน์ที่เกษตรกรนิยมใช้เพื่อเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะ คือ ยูทูบ อาจเป็นเพราะยูทูบเป็นแพลตฟอร์มสำหรับแบ่งปันหรือรับชมวิดีโอเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะจากผู้ใช้รายอื่นๆ เช่น เพื่อการเรียนรู้หรือการหาข้อมูลต่างๆ ซึ่งสอดคล้องกับ Naenna et al. (2016) ศึกษาเรื่องความต้องการความรู้การผลิตข้าวหอมมะลิตามมาตรฐาน GAP ของเกษตรกรพื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา พบว่า การเปิดรับข่าวสารทางการเกษตรของเกษตรกรผ่านสื่อบุคคล เกษตรกรเปิดรับข่าวสารจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมมากที่สุด (ร้อยละ 57.5) สื่อมวลชนเปิดรับข่าวสารจากโทรทัศน์ (ร้อยละ 60.6) และสื่อกิจกรรมเปิดรับข่าวสารจากการจัดประชุม (ร้อยละ 37.8) รองลงมา คือ ฝึกอบรม (ร้อยละ 29.0) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sukkanjana et al. (2024) ได้ศึกษาเรื่องการรับรู้สารสนเทศทางการเกษตรผ่านสื่อของเกษตรกรจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า สื่อออนไลน์ที่เกษตรกรนิยม คือ ผ่านช่องทางยูทูบ (ร้อยละ 30.0) ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Comparison between personal, factors economic, factors media exposure about intelligent agriculture and adoption of precision agriculture systems smart farm (HandySense) of farmers

Factors	Adoption of precision agriculture systems smart farm (HandySense)	
	t-test/F-test	p-value
1. Gender	0.591	0.555 ^{ns}
2. Age	25.318	0.000 ^{**}
3. Education level	29.582	0.000 ^{**}
4. Status	5.212	0.002 ^{**}
5. Number of household members	0.275	0.784 ^{ns}
6. Nam Dok Mai Mango planting experience	10.948	0.000 ^{**}
7. Nam Dok Mai Mango planting area	0.266	0.766 ^{ns}
8. Mango production volume	0.783	0.458 ^{ns}
9. Production cost of Nam Dok Mai Mango	1.587	0.207 ^{ns}
10. Income from selling Nam Dok Mai Mango	0.445	0.776 ^{ns}
11. Number of household workers	0.375	0.688 ^{ns}
12. Hire laborers	1.736	0.091 ^{ns}
13. Source of funds	1.437	0.159 ^{ns}
14. Personal media	3.226	0.023 [*]
15. Activity media	0.337	0.799 ^{ns}
16. Mass media	5.996	0.003 ^{**}
17. Social media	7.497	0.000 ^{**}

ns means not statistically significant at the 0.05 level.

* means statistically significant at the 0.05 level.

** means statistically significant at the 0.01 level.

สรุปผลการศึกษา

เกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นเพศหญิง เฉลี่ยอายุ 57.1 ปี จบการศึกษามัธยมศึกษา โดยส่วนใหญ่ มีสถานภาพสมรส มีสมาชิกเฉลี่ย 4 คน และมีประสบการณ์การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้เฉลี่ย 21.7 ปี มีพื้นที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้เฉลี่ย 2.2 ไร่ โดยมากจะปลูกตามบริเวณคันบ่อ ปริมาณผลผลิตเฉลี่ย 446.4 กิโลกรัม/ไร่/ปี ในด้านต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 3,337.3 บาท/ไร่/ปี เกษตรกรมีรายได้จากการจำหน่ายมะม่วงน้ำดอกไม้เฉลี่ย 33,569.5 บาท/ปี/ราย แรงงานที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ส่วนใหญ่เป็นคนในครอบครัวเดียวกันเฉลี่ย 2 คน และไม่มีการจ้างแรงงาน แหล่งเงินทุนใช้เงินของตนเอง การเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะพบว่า เกษตรกรเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร เนื่องจากมีความใกล้ชิด สนับสนุนกับเกษตรกร เจ้าหน้าที่ติดตามเยี่ยมเยียนอยู่เสมอ มีการถ่ายทอดองค์ความรู้กับเกษตรกรในด้านการเกษตรและเทคโนโลยีฟาร์มอัจฉริยะใหม่ ๆ มีการเปิดรับข่าวสารจากช่องทางอื่น ๆ เช่น การฝึกอบรมจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรหรือหน่วยงานต่าง ๆ การเปิดรับข่าวสารจากโทรทัศน์ เนื่องจากเป็นสื่อที่มีทั้งภาพและเสียง เกษตรกรสามารถเข้าใจง่ายและเป็นข่าวสารที่มีความทันสมัยและเป็นปัจจุบัน นอกจากนี้เกษตรกรเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะจากช่องทางยูทูป เพราะเป็นแพลตฟอร์มที่สามารถแบ่งปันหรือรับชมวิดีโอเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะจากผู้เชี่ยวชาญอื่น ๆ มีเนื้อหาหลากหลายกลุ่มตามความสนใจของเกษตรกร ใ้รับชมเพื่อการเรียนรู้หรือการหาข้อมูลต่าง ๆ ในด้านการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ของเกษตรกร โดยรวมค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับ ได้แก่ อายุ การศึกษา สถานภาพ ประสบการณ์ในการปลูก สื่อบุคคล สื่อมวลชน และสื่อสังคมออนไลน์

ทั้งนี้ขอเสนอแนะจากการวิจัยเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ให้มีการยอมรับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ ดังนี้

1. ควรมีการส่งเสริมการทำเกษตรอัจฉริยะ โดยการใช้สื่อสังคมออนไลน์มาประยุกต์ใช้ในการทำเกษตร เช่น การสร้างช่องยูทูป (YouTube Chanel) เนื่องจากการเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับเกษตรอัจฉริยะของเกษตรกรส่วนใหญ่มาจากช่องทางยูทูป (YouTube) ที่มีบทบาทในการเผยแพร่ข้อมูลและความรู้ต่างๆ รวมถึงข้อมูลในการทำเกษตรอัจฉริยะหรือระบบเกษตรแม่นยำ ฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ที่เข้าถึงได้ง่าย มีเนื้อหาที่หลากหลาย เป็นการนำเสนอผ่านวิดีโอที่ช่วยให้เกษตรกรเข้าใจง่าย โดยต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายภาคส่วน ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน โดยการผลิตเนื้อหาเกี่ยวกับระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) หรือเกษตรอัจฉริยะที่มีคุณภาพในการส่งเสริมการเกษตร

2. หน่วยงานภาครัฐควรมีการสนับสนุนงบประมาณ เพื่อทำแปลงสาธิตการทำระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) ให้เกษตรกรได้เห็นถึงภาพรวมของประโยชน์และวิธีการใช้งานครอบคลุมในพื้นที่ เพื่อให้เกษตรกรสามารถเข้ามาเรียนรู้ได้จากแปลงสาธิต ซึ่งเป็นการสร้างแรงจูงใจให้เกษตรกรมีความต้องการใช้ระบบเกษตรแม่นยำและเกษตรอัจฉริยะมากขึ้น

3. หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรส่งเสริมและสนับสนุนให้เกษตรกรนำระบบเกษตรแม่นยำฟาร์มอัจฉริยะ (HandySense) มาปรับใช้ในกระบวนการผลิตให้มีความเหมาะสมกับระยะการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยขับเคลื่อนการทำเกษตรอัจฉริยะนำไปสู่ภาคปฏิบัติได้อย่างเป็นรูปธรรม ให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงได้ง่าย

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (idea) และ สมมุติฐาน: วรรณภา สมอาษา. การปฏิบัติกรวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: วรรณภา สมอาษา, พัชรชาติ ศรีบุญเรือง, พิชัย ทองดีเลิศ. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: วรรณภา สมอาษา. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: วรรณภา สมอาษา, พัชรชาติ ศรีบุญเรือง, พิชัย ทองดีเลิศ. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: วรรณภา สมอาษา, พัชรชาติ ศรีบุญเรือง, พิชัย ทองดีเลิศ. การให้การสนับสนุน specimens: วรรณภา สมอาษา, พัชรชาติ ศรีบุญเรือง.

เอกสารอ้างอิง

- Bang Phli District Agricultural Extension Office. (2022). **Bang Phli District Agricultural Development Plan**. Department of Agricultural Extension. (in Thai).
- Buayen, P., & Thirawanathaphong, C. (2019). **Study Guide of Smart Farming Technology to Support the Development of a Digital and Economic Development Plan for Thailand. 4.0 Case Study of Ban Kaew Orchard**. Master's Thesis. Rambhai Barni Rajanhat University. (in Thai).
- Department of Agricultural Extension. (2023). **Improving the Farmer Register**. Retrieved from <https://farmer.doe.go.th/>. (in Thai).
- Khaowiset, T. (2020). Acceptance of organic agriculture by rice farmers in Sam Chuk District, Suphan Buri Province. In **15th Graduate Research Presentation Conference**, pp. 943-954. Rangsit University. (in Thai).
- Naenna, N., Sriboonruang, P., & Thongdeelert, P. (2016). The need in production knowledge of gap Thai jasmine rice of farmers in Thungsumrith, Phimai District, Nakhon Ratchasima Province. **King Mongkut's Agricultural Journal**, 34(2), 59-66. (in Thai).
- Nakklay, R., Sriboonruang, P., & Thongdeelert, P. (2019). Farmers' opinions toward Mayongchid Nakhon Nayok Cultivation in Mueang Nakhon, Nayok District, Nakhon Nayok Province. **Agricultural Science and Innovation Journal**, 50(3), 228-238. (in Thai).
- Office of the National Economic and Social Development Board. (2017). **National Strategy B.E. 2018- 2037**. Office of the Prime Minister.
- Rungruangnathakul, P., Somboonsuke, B., Nissapa, A., & Tarasook, P. (2019). Motivation factors affecting rubber farmers in the Na Thawi District of Songkhla Province to be "smart farmers". **Hat Yai Academic Journal**, 17(2), 159-180. (in Thai).
- Samut Prakan Provincial Agricultural Office. (2020). **Manual for Requesting Registration as a Geographic Indication and Requesting the Use of a Geographic Indication Seal**. Samut Prakan Provincial Agricultural Office.
- Sawangswai, T., Sriboonruang, P., & Thongdeelert, P. (2019). Media exposure of durian farmers in Tha Mai District, Chanthaburi Province. **Agricultural Science and Innovation Journal**, 50(2), 156-166. (in Thai).
- Sukkanjana, P., Rungkawa, N., Kruekum, P., & Palapunya, P. (2024). Reception of agricultural information by farmer's media in Chiang Mai Province. **Agricultural Production Journal**, 6(1), 131-139. (in Thai).
- Yamane, T. (1973). **Statistics: An Introductory Analysis**. Harper and Row.

ความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งเพื่อส่งเสริมการสร้างคาร์บอนเครดิตในการผลิตข้าวของ ศูนย์ข้าวชุมชน จังหวัดเพชรบุรี

Needs for Alternate Wetting and Drying Technology to Promote the Creation of Carbon Credits in Rice Production at the Community Rice Centers, Phetchaburi Province

คณินิจ เจียวพวง¹, พัชราวดี ศรีบุญเรือง^{1*} และสุภาภรณ์ เลิศศิริ¹

Khanungnit Jieopuang¹, Patcharavadee Sriboonruang^{1*} and Supaporn Lertsiri¹

Received date: 23 ต.ค. 67 Revised date: 19 ธ.ค. 67 Accepted date: 20 ธ.ค. 67

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.23.011>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคม 2) ความรู้เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิต 3) ความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง 4) ความแตกต่างระหว่างข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ สังคม ความรู้ ความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิตและ 5) ปัญหา ข้อเสนอแนะต่อการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งของสมาชิกศูนย์ข้าวชุมชน จังหวัดเพชรบุรี ประชากร ได้แก่ สมาชิกศูนย์ข้าวชุมชน อำเภอบ้านลาดและอำเภอมืองเพชรบุรี รวม 155 คน มีขนาดของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 111 คน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้การสัมภาษณ์ พบว่าเกษตรกรเป็นเพศชายมากกว่าเพศหญิง อายุเฉลี่ย 56.91 ปี จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4.41 คน ประสบการณ์ปลูกข้าวเฉลี่ย 30.87 ปี จำนวนแรงงานในครัวเรือนที่ปลูกข้าวเฉลี่ย 2 คน พื้นที่ปลูกข้าวเฉลี่ย 17 ไร่ พื้นที่นาส่วนใหญ่เป็นนาลุ่ม ลักษณะดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย มีแหล่งน้ำเพียงพอในการปลูกข้าวเนื่องจากใช้น้ำชลประทาน ปลูกข้าวทั้งนาปีและนาปรัง นิยมปลูกข้าวพันธุ์ กข85 ต้นทุนการผลิตข้าวเฉลี่ย 4,476.22 บาท/ไร่/ฤดูกาล มีรายได้ในการปลูกข้าวเฉลี่ย 5,242.12 บาท/ไร่/ฤดูกาล จำนวนผลผลิตข้าวเฉลี่ย 813.74 กิโลกรัม/ไร่ มีความรู้ระดับมาก มีความต้องการด้านแรงจูงใจ ด้านการลดต้นทุน และด้านสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยระดับมากที่สุด มีปัญหาโดยรวมเฉลี่ยระดับน้อย ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า เพศ อายุ ระดับการศึกษา ประสบการณ์ในการปลูกข้าว จำนวนแรงงานในการปลูกข้าวที่อยู่ในครัวเรือน พื้นที่นา ฤดูกาล ต้นทุนการผลิตข้าว และสถานที่จำหน่ายข้าวที่แตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 และ 0.01 มีปัญหาขาดความรู้ความเข้าใจในการขายคาร์บอนเครดิต และมีข้อเสนอแนะควรมีการปล่อยน้ำให้ตรงเวลาและเพียงพอสำหรับการจัดการแบบเปียกสลับแห้ง และสร้างการรับรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับคาร์บอนเครดิต

คำสำคัญ: ความต้องการ เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง คาร์บอนเครดิต การผลิตข้าว ศูนย์ข้าวชุมชน

Abstract

The objectives of this research were to study 1) personal, economic, and social basic information; 2) knowledge of alternate wetting and drying technology and carbon credits; 3) needs for alternate wetting and drying technology; 4) differences among information regarding personal information, economic and social background, knowledge, the needs for alternate wetting and drying technology, and carbon credits; and 5) problems and suggestions for using alternate wetting and drying technology among members of the Phetchaburi Community Rice Center. The population consisted of 155 members of the Community Rice Center in Ban Lat District and Mueang Phetchaburi District. The sample size was 111 people. Data were collected using interviews. It was found that the farmer consisted of more males than females. The average age was 56.91 years. The average number of household members was 4.41 people. The average rice cultivation experience was 30.87 years. The average number of household laborers who planted rice was 2 people. The average rice cultivation area was 17 rai. Most rice fields were lowland rice fields. The soil was mostly sandy loam. There was sufficient water for rice cultivation because irrigation was used. For RD85 variety, the average rice production cost was 4,476.22 baht/rai/season. The average income from rice cultivation was 5,242.12 baht/rai/season. The average amount of rice was 813.74 kilogram/rai. The farmer's knowledge was at a high level. The needs for motivation, cost reduction, and environment were at the highest average level. The overall problems were at

¹ ภาควิชาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Department of Agricultural Extension and Communication, Kasetsart University, Bangkok 10900

* Corresponding author: fagrpds@ku.ac.th

the lowest average level. The results of the hypothesis testing found that gender, age, education level, rice planting experience, number of rice planting laborers in the household, rice field area, season, rice production cost, and rice selling location had different needs for using alternate wetting and drying technology with statistical significance at 0.05 and 0.01. There was a problem of lack of knowledge and understanding in selling carbon credits, and there was a suggestion that water should be released on time and sufficiently for alternate wetting and drying management. Awareness and understanding about carbon credits should also be promoted.

Keywords: needs, wetting and drying technology, carbon credits, rice production, community rice centers

คำนำ

ประเทศไทยมีปริมาณเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้เพาะปลูกปีละ 1,373,000 ตัน เกษตรกรต้องการซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าวไปเพาะปลูกเพียงปีละ 689,400 ตัน คิดเป็น 50.21% ส่วนที่เหลือคือเมล็ดพันธุ์ที่เกษตรกรได้มาจากการเก็บไว้ใช้เองปีละ 683,000 ตัน คิดเป็น 49.79% ในขณะที่ทั้งประเทศมีการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวสำหรับจำหน่ายเพียงปีละ 528,000 ตัน ทำให้การผลิตมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการซื้อถึงจำนวนปีละ 158,600 ตัน (Rice Department, 2021) กรมการข้าวเห็นถึงความสำคัญได้จัดตั้ง “ศูนย์ข้าวชุมชน” มีหน้าที่ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวให้มีคุณภาพดีเพื่อให้เกษตรกรได้ใช้เมล็ดพันธุ์ดี ให้ค่าปรึกษาแนะนำวิธีต่างๆ ที่ใช้ในการปลูก รวมถึงการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้สำหรับการปลูกข้าว (Rice Department, 2022) ปัจจุบันประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำที่ใช้ในการปลูกข้าวซึ่งภาคเกษตรไทยใช้น้ำชลประทานมากที่สุด ประมาณ 80% ของปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด โดยเฉพาะการปลูกข้าวเขตชลประทานที่มีการใช้น้ำอย่างสูญเสียบ่อยโดยเปล่าประโยชน์ จากการศึกษาของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (TDRI) ระบุว่า ถ้าสามารถลดการใช้น้ำลงได้ 10% ปัญหาการขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภคในฤดูแล้งในปีที่มีภาวะฝนแล้งรุนแรงจะลดลง (Thailand Development Research Institute, 2015) นอกจากนี้ ภาคเกษตรไทยยังปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากถึง 14.7 – 25.23% ของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในประเทศไทย ปี 2559 ถึง 2562 การปลูกข้าวเป็นแหล่งกำเนิดของก๊าซเรือนกระจกเกิดก๊าซมีเทนปริมาณ 4-117 กรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร (Kroeze, 1996) การปลูกข้าวโดยใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง จะช่วยประหยัดน้ำ ทำให้สามารถนำไปปลูกพืชชนิดอื่นที่ใช้น้ำน้อยหรือกิจกรรมอื่นที่สร้างมูลค่าสูงกว่าข้าว ส่งผลให้ GDP เพิ่มขึ้นและยังช่วยลดก๊าซมีเทนที่เป็นต้นเหตุภาวะโลกร้อนที่สร้างความเสียหายต่อโลก ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรอีกด้วย

จังหวัดเพชรบุรีมีพื้นที่ปลูกข้าวนาปี 275,113 ไร่ เกษตรกร 18,726 ครัวเรือน และพื้นที่ปลูกข้าวนาปรัง 101,776 ไร่ จังหวัดเพชรบุรีมีแผนส่งเสริมการปลูกข้าวนาปรังในพื้นที่เขตชลประทานตามปริมาณน้ำที่สามารถสนับสนุนให้มีการเพาะปลูกได้ในพื้นที่ 100,000 ไร่ และพื้นที่นอกเขตชลประทานมีแหล่งน้ำเพียงพอต่อการเพาะปลูก พื้นที่ 9,206 ไร่ รวมทั้งสิ้น 109,206 ไร่ (Phetchaburi Provincial Agricultural Extension Office Strategy and Information Group, 2024)

ในปี 2567 จังหวัดเพชรบุรีประสบปัญหาน้ำในอ่างเก็บน้ำค่อนข้างน้อย จึงมีความจำเป็นต้องจัดการจัดสรรน้ำในการเพาะปลูกข้าวรอบที่ 2 (Phetchaburi Water Transmission and Maintenance Project, 2024) จึงส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งในจังหวัดเพชรบุรี โดยในปัจจุบันมีเกษตรกรใช้เทคโนโลยีการทำแบบเปียกสลับแห้งน้อยมากเนื่องจากเกษตรกรกังวลปัญหาระบบชลประทานปล่อยน้ำไม่ถูกช่วงเวลา หรือได้น้ำไม่เพียงพอในช่วงที่ต้องการน้ำและปัญหาพื้นที่นาไม่เหมาะแก่การทำนาเปียกสลับแห้ง ซึ่งพื้นที่ที่เหมาะสมต้องเรียบเสมอกัน เพื่อง่ายต่อการควบคุมปริมาณน้ำ ทั้งนี้ ในพื้นที่ที่เป็นที่ลุ่มอาจต้องอาศัยการปรับเปลี่ยนนาด้วยเลเซอร์หรือเครื่องจักร ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยประมาณ 2,500 – 3,000 บาท/ไร่ (Puapongsakron et al., 2023)

โดยมีการส่งเสริมการสร้างคาร์บอนเครดิตในนาข้าวโดยต้องปรับเปลี่ยนวิธีการจากน่าน้ำขังเป็นนาเปียกสลับแห้งผ่านโครงการก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER) ที่องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) พัฒนาขึ้นเพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้ทุกภาคส่วนมีส่วนร่วมในการลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศโดยความสมัครใจ และสามารถนำปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น ที่เรียกว่าคาร์บอนเครดิต ซึ่งภายใต้โครงการ T-VER ไปขายในตลาดคาร์บอนภาคสมัครใจในประเทศได้ ทั้งนี้ อบก. ได้กำหนดหลักเกณฑ์ การขึ้นทะเบียนและการรับรองปริมาณก๊าซเรือนกระจก พื้นที่ปลูกข้าวต้องเป็นพื้นที่นาชลประทานจะมีการคำนวณการลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากพื้นที่ปลูกข้าวที่มีการดำเนินการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้ง

การวิจัยนี้จึงศึกษาความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งเพื่อส่งเสริมการสร้างคาร์บอนเครดิตในการผลิตข้าวของศูนย์ข้าวชุมชน จังหวัดเพชรบุรี เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำในการปลูกข้าว เพิ่มรายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต เป็นต้นแบบให้กับศูนย์ข้าวชุมชนอื่นๆ และต่อยอดการพัฒนาในการผลิตข้าว

วิธีการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

สมาชิกศูนย์ข้าวชุมชนในจังหวัดเพชรบุรีที่มีการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง จำนวนทั้งหมด 3 กลุ่มที่มีการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง ในอำเภอบ้านลาดและอำเภอเมืองเพชรบุรี รวมทั้งหมด 155 คน (Government Organization, 2023) ใช้วิธีการคำนวณขนาดตัวอย่าง โดยคำนวณจากสูตรของ Krejcie and Morgan (1970) ได้จำนวน 111 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสัมภาษณ์ปลายเปิดและปลายปิด จำนวน 5 ตอน ได้แก่ 1) ปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล 2) ปัจจัยพื้นฐานทางสังคมและเศรษฐกิจ 3) ความรู้เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิต 4) ความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งและ 5) ปัญหา ข้อเสนอแนะต่อการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง

ระยะเวลาเก็บรวบรวมข้อมูล ระหว่างเดือนมกราคม 2567 – สิงหาคม 2567

การทดสอบเครื่องมือ

ตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา โดยผู้เชี่ยวชาญ ทั้งหมด 3 ท่าน แก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำ จากนั้นทำการทดสอบความเชื่อมั่น โดยนำไปทดสอบกับตัวแทนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน คำนวณหาค่าความเชื่อมั่นด้านความรู้เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิต โดยใช้สูตรของ KR-20 ตามแบบคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder and Richardson, 1937) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.701 ด้านความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง และปัญหา ข้อเสนอแนะต่อการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งเพื่อส่งเสริมการสร้างคาร์บอนเครดิตในการผลิตข้าวโดยใช้วิธีการคำนวณสัมประสิทธิ์อัลฟา (Alpha Coefficient) ของ Cronbach (Cronbach, 1970) ได้ค่าความเชื่อมั่นของความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง เท่ากับ 0.909 ปัญหา ข้อเสนอแนะต่อการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งเท่ากับ 0.894 จากนั้นจึงนำข้อมูลมาปรับปรุงและแก้ไขให้มีความสมบูรณ์ ก่อนนำแบบสัมภาษณ์ไปเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistic) ของข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล ข้อมูลด้านเศรษฐกิจและสังคม ความรู้เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิต ความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง ปัญหา ข้อเสนอแนะ ประกอบด้วย ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด การแปลความหมายด้านความรู้เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิต กำหนดการวัดแบบอันตรภาคชั้น (Niyamangkul, 2013) แบ่งระดับความรู้ของเกษตรกรจากคำถามทั้งหมด 20 ข้อ ดังนี้ ช่วงคะแนนเฉลี่ย 0.67 - 1.00 หมายถึง มีความรู้ด้านการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิตระดับมาก ช่วงคะแนนเฉลี่ย 0.34 - 0.66 หมายถึง มีความรู้ด้านการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิตระดับปานกลาง ช่วงคะแนนเฉลี่ย 0 - 0.33 หมายถึง มีความรู้เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิตระดับน้อย การแปลความหมายของความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง กำหนดการวัดแบบอันตรภาคชั้น (Niyamangkul, 2013) ซึ่งสามารถแบ่งระดับการปฏิบัติของเกษตรกรจากข้อคำถามทั้งหมด 25 ข้อ โดยมีระดับความต้องการแบ่งออกเป็น 5 ระดับ มากที่สุด 5 คะแนน มาก 4 คะแนน ปานกลาง 3 คะแนน น้อย 2 คะแนน และน้อยที่สุด 1 คะแนน โดยมีช่วงคะแนนเฉลี่ย ดังนี้ คะแนนเฉลี่ย 4.21 - 5.00 หมายถึง ต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งระดับมากที่สุด คะแนนเฉลี่ย 3.41 - 4.20 หมายถึง ต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งระดับมาก คะแนนเฉลี่ย 2.61 - 3.40 หมายถึง ต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งระดับปานกลาง คะแนนเฉลี่ย 1.81 - 2.60 หมายถึง ต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งระดับน้อย และคะแนนเฉลี่ย 1.00 - 1.80 หมายถึง ต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งระดับน้อยที่สุด การแปลความหมายของปัญหกำหนดการวัดแบบอันตรภาคชั้น แบ่งระดับปัญหา ดังนี้ ช่วงคะแนนเฉลี่ย 1.00 - 1.67 หมายถึง มีปัญหาในระดับมาก ช่วงคะแนนเฉลี่ย 1.68 - 2.34 หมายถึง มีปัญหาในระดับปานกลาง ช่วงคะแนนเฉลี่ย 2.35 - 3.00 หมายถึง มีปัญหาในระดับมาก และ 2) การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล ข้อมูลพื้นฐานทางสังคมและเศรษฐกิจ ความรู้เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิต ความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง โดยใช้ค่าสถิติ t-test, F-test, LSD และ One-way ANOVA ทำการทดสอบโดยการกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทีละระดับ 0.05 และ 0.01 (Niyamangkul, 2013)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล ด้านเศรษฐกิจและสังคม

เกษตรกรเป็นเพศชาย จำนวน 60 คน มีอายุเฉลี่ย 56.91 ปี ส่วนมากมีการศึกษาระดับประถมศึกษา มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4.41 คน เป็นสมาชิกโครงการศูนย์ข้าวชุมชนมากที่สุด (ร้อยละ 44.76) มีประสบการณ์ในการปลูกข้าว 19 - 32 ปี มีประสบการณ์ในการปลูกข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 31 ปี มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือนที่เป็นแรงงานในการปลูกข้าว 2 คน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Moompakron (2013) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวของสมาชิกศูนย์ข้าวชุมชน อำเภอละหานทราย จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่าเกษตรกรส่วนมากจบการศึกษาระดับประถมศึกษา มีจำนวนสมาชิกในครอบครัวที่เป็นแรงงานในการทำนาเฉลี่ย 2.30 คน โดยเฉลี่ยมีพื้นที่ทำนา 17.10 ไร่ มีพื้นที่ปลูกข้าว 11 - 20 ไร่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Moompakron (2013) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวของสมาชิกศูนย์ข้าวชุมชน อำเภอละหานทราย จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่าเกษตรกรส่วนมากมีพื้นที่ทำนาเฉลี่ย 17.10 ไร่ พื้นที่นาส่วนใหญ่เป็นนาลุ่ม ลักษณะดินของเกษตรกรส่วนมากเป็นดินร่วนปนทราย (ร้อยละ 78.87) เกษตรกรเกือบทั้งหมดใช้น้ำชลประทาน (ร้อยละ 98.20) เกษตรกรส่วนมากมีแหล่งน้ำเพียงพอ (ร้อยละ 74.80) ปลูกข้าวทั้งนาปีและนาปรัง (ร้อยละ 91.90) ข้าวพันธุ์ที่นิยมปลูกคือ กข85 (ร้อยละ 37.13) มีต้นทุนการผลิตข้าว 3,901 - 4,600 บาท/ไร่/ฤดู (ร้อยละ 52.25) ต้นทุนการผลิตข้าวเฉลี่ย 4,476.22 บาท/ไร่/ฤดู มีรายได้จากการจำหน่ายข้าว 3,521 - 4,890 บาท/ไร่/ฤดู รายได้จากการผลิตข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 5,242.12 บาท/ไร่ มีจำนวนผลผลิตข้าวเฉลี่ย เท่ากับ 813.74 กิโลกรัม/ไร่/ฤดู จำหน่ายเป็นข้าวสด จำหน่ายข้าวให้กับโรงสี (ร้อยละ 68.50) แหล่งเงินทุนเป็นเงินของตนเอง (ร้อยละ 75.37) ใช้เทคโนโลยีรถไถนา/รถแทรกเตอร์ในการทำนามากที่สุด (ร้อยละ 25.93) แนวโน้มการใช้เทคโนโลยีปลูกข้าวที่ใช้ในการปลูกข้าวภายใน 3 ปีข้างหน้า ใช้เทคโนโลยีรถไถนา/รถแทรกเตอร์ (ร้อยละ 22.93) เหตุผลในการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการปลูกข้าวช่วยประหยัดเวลา (ร้อยละ 29.86) ส่วนมากรับรู้ข้อมูลข่าวสารเทคโนโลยีเป็ยกสลับแห่งจาก Facebook (ร้อยละ 33.84) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Petrak (2024) รายงานว่า เกษตรกรมีเหตุผลในการใช้เทคโนโลยีในการปลูกข้าวเพื่อลดแรงงาน ช่วยประหยัดเวลา และมีช่องทางการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านสมาร์โฟน เพราะสะดวกรวดเร็วและมีเนื้อหาที่น่าสนใจ

ตอนที่ 2 ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีเป็ยกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิตของศูนย์ข้าวชุมชน จังหวัดเพชรบุรี

ภาพรวมความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีเป็ยกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิตของสมาชิกศูนย์ข้าวชุมชนจังหวัดเพชรบุรีอยู่ในระดับมาก (\bar{X} = 0.79) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า 1) ความต้องการน้ำกับระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าวมีความรู้ในระดับมาก (\bar{X} = 0.80) 2) เทคโนโลยีการจัดการน้ำแบบเป็ยกสลับแห้งมีความรู้ในระดับมาก (\bar{X} = 0.82) และ 3) คาร์บอนเครดิต มีความรู้ในระดับมาก (\bar{X} = 0.84) ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Mean (\bar{X}) standard deviation (S.D.) and knowledge level on the use of alternate wetting and drying technology and carbon credit

	\bar{X}	S.D.	Level of knowledge
1. Need for water and rice growth stage	0.80	0.336	High
2. Alternate Wetting and Drying Technology	0.82	0.371	High
3. Carbon Credit	0.84	0.353	High
Overall of Knowledge	0.79	0.353	High

ตอนที่ 3 ความต้องการใช้เทคโนโลยีเป็ยกสลับแห้งของสมาชิกศูนย์ข้าวชุมชน จังหวัดเพชรบุรี

ระดับความต้องการใช้เทคโนโลยีเป็ยกสลับแห้งของสมาชิกศูนย์ข้าวชุมชน จังหวัดเพชรบุรี ภาพรวมเฉลี่ยในระดับมากที่สุด (\bar{X} = 4.41) โดยเกษตรกรมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเป็ยกสลับแห้ง ในด้านต่างๆ ดังนี้ 1) ด้านขั้นตอนการใช้ โดยความต้องการการเตรียมดินโดยต้องปรับพื้นที่นาให้เรียบสม่ำเสมอ เฉลี่ยในระดับมากที่สุด (\bar{X} = 3.86) 2) ด้านแรงจูงใจ มีความต้องการข้าวที่มีคุณภาพดี เฉลี่ยในระดับมากที่สุด (\bar{X} = 4.58) 3) ด้านการลดต้นทุน มีความต้องการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้สูงขึ้น เฉลี่ยในระดับมากที่สุด (\bar{X} = 4.58) และ 4) ด้านสิ่งแวดล้อม มีความต้องการรักษาสุขภาพของตนเองจากโรคที่มากับน้ำ เฉลี่ยในระดับมากที่สุด (\bar{X} = 4.61) ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 2 สอดคล้องกับ Dariwan et al. (2013) ที่กล่าวว่า กิจกรรมการทำนาที่มีการแช่น้ำนานทำให้เกิดโรคริ่หนูมีอันตรายมากจนอาจถึงชีวิต

Table 2 Percentage mean (\bar{X}) standard deviation (S.D.) and needs level on the use of alternate wetting and drying technology and carbon credit

(n=111)			
Need for Alternate Wetting and Drying Technology	\bar{X}	S.D.	Level of Need
1. Steps to use	3.86	0.773	High
2. Motivation	4.58	0.676	Very High
3. Reduce cost	4.58	0.459	Very High
4. Environment	4.61	0.576	Very High
Overall of Need for Alternate Wetting and Drying Technology	4.41	2.484	Very High

ตอนที่ 4 ปัญหาและข้อเสนอแนะต่อการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง

ปัญหาการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งของสมาชิกศูนย์ข้าวชุมชน จังหวัดเพชรบุรี โดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับน้อย (\bar{X} =0.78) โดยเกษตรกรมีปัญหาการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้ง ด้านการเตรียมดินโดยเฉลี่ยในระดับน้อย (\bar{X} =0.66) ด้านการจัดทำอุปกรณ์ โดยเฉลี่ยในระดับน้อย (\bar{X} =0.39) ด้านการติดตั้งอุปกรณ์ โดยเฉลี่ยในระดับน้อย (\bar{X} =0.16) ด้านขั้นตอนการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้ง โดยเฉลี่ยในระดับน้อย (\bar{X} =0.59) ด้านการใช้แรงงาน โดยเฉลี่ยในระดับน้อย (\bar{X} =0.46) และด้านขายคาร์บอนเครดิตโดยเฉลี่ยในระดับมาก (\bar{X} =2.40) ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 3 เกษตรกรมีปัญหาประเด็นความรู้เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งและคาร์บอนเครดิตของศูนย์ข้าวชุมชนจังหวัดเพชรบุรีในระดับมาก ข้อเสนอแนะเกษตรกรมีความต้องการใช้งานเทคโนโลยีเปียกสลับแห้งแต่ควรมีการปล่อยน้ำให้ตรงช่วงเวลาเพื่อให้การจัดการน้ำมีประสิทธิภาพ และหน่วยงานภาครัฐหรือภาคเอกชนควรมีการทำโครงการฝึกอบรมหรือดูงานการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งเพื่อส่งเสริมการสร้างคาร์บอนเครดิตสอดคล้องกับ Phuttharatraksa, P., & Leknoi, U. (2021) ในด้านการติดตั้งอุปกรณ์ และ) ด้านขั้นตอนการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้ง ที่กล่าวว่า เกษตรกรให้ความตระหนักในเรื่องของความไม่สลับซับซ้อนของวิธีการทำเนื่องจากการทำงานเปียกสลับแห้งสามารถทำได้ง่ายไม่ซับซ้อนมี ขั้นตอนในการทำน้อยไม่ยุ่งยาก

Table 3 Percentage mean (\bar{X}) standard deviation (S.D.) and problems on the use of alternate wetting and drying technology and carbon credit

(n=111)			
Problems	\bar{X}	S.D.	Level of Need
1. Soil preparation	0.66	0.849	Less
2. Equipment preparation	0.39	0.633	Less
3. Equipment installation	0.16	0.416	Less
4. Alternating wetting and drying management procedures	0.59	0.755	Less
5. Labor	0.46	0.723	Less
6. Carbon credit sales	2.40	1.003	High
Overall of Problems	0.78	0.661	Less

ผลการวิเคราะห์สมมติฐานในการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า เกษตรกรที่มีข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล สังคม และเศรษฐกิจที่แตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งแตกต่างกัน และเกษตรกรที่มีเพศแตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งด้านขั้นตอนการใช้แตกต่างกัน ($p < 0.01$) ส่วนเกษตรกรที่มีอายุแตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งด้านขั้นตอนการใช้แตกต่างกัน

($p < 0.01$) เกษตรกรที่มีประสบการณ์ในการปลูกข้าวแตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งด้านขั้นตอนการใช้แตกต่างกัน ($p < 0.01$) ประสบการณ์ปลูกข้าวแตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งด้านแรงจูงใจแตกต่างกัน ($p < 0.01$) จำนวนสมาชิกในครัวเรือนแตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งด้านแรงจูงใจ ด้านการลดต้นทุน และด้านสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน ($p < 0.01$) พื้นที่นาแตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งด้านขั้นตอนการใช้แตกต่างกัน ($p < 0.05$) ภาพแหล่งน้ำที่ใช้ในการปลูกข้าวตลอดฤดูกาลผลิตแตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งด้านการลดต้นทุนแตกต่างกัน ($p < 0.05$) ต้นทุนการปลูกข้าวแตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งด้านขั้นตอนการใช้ ด้านแรงจูงใจ และด้านการลดต้นทุนแตกต่างกัน เกษตรกรที่มีสถานที่จำหน่ายข้าวแตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเปียกสลับแห้งด้านแรงจูงใจ และด้านการลดต้นทุน และด้านสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 4 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kamnerd (2014) ความต้องการในด้านแรงจูงใจ รายงานว่า หากเกษตรกรมีความสนใจเทคโนโลยีสิ่งจะส่งผลต่อความต้องการสามารถขับเคลื่อนให้เกิดการรับรู้ประโยชน์และการรับรู้ถึงความยากง่ายในการใช้งานได้

Table 4 Comparison of the average demand for wet-dry alternating technology among members of the community rice center, Ban Lat District and Mueang Phetchaburi District, Phetchaburi Province

(n=111)		
Need for Alternate Wetting and Drying Technology	P-value	Significance
Steps to use		
Gender		
Male	0.000**	Sig.
Female		
Age		
38-55 years	0.018*	Sig.
56-72 years		
72 years or more		
Rice cultivation experience		
5 - 18 years	0.005**	Sig.
19 - 32 years		
33 - 46 years		
46 years or more		
Characteristics of rice fields		
Inland	0.046*	Sig.
Depressed		
Rice production cost		
3,900 baht or less	0.000**	Sig.
3,901 - 4,600 baht		
4,601 - 5,300 baht		
5,301 - 6,000 baht		
Motivation		
Rice cultivation experience		
5 - 18 years	0.006**	Sig.
19 - 32 years		
33 - 46 years		
46 years or more		
number of household members who are laborers in rice cultivation		
1 person	0.001**	Sig.

Need for Alternate Wetting and Drying Technology	P-value	Significance
2 person		
3 person or more		
Rice production cost		
3,900 baht or less	0.017*	Sig.
3,901 - 4,600 baht		
4,601 - 5,300 baht		
5,301 - 6,000 baht		
Rice sales locations		
Rice mill	0.003*	Sig.
Rice fields		
Agricultural cooperatives		
Middleman		
Other		
Reduce cost		
Education level		
Below primary school	0.027*	Sig.
Elementary school		
High school, Vocational Certificate, Bachelor's Degree		
Number of household members who are laborers in rice cultivation		
1 person	0.000**	Sig.
2 person		
3 person or more		
Condition of water sources used for rice cultivation throughout the production season		
Sufficient	0.024*	Sig.
Partially sufficient		
Insufficient		
Rice production cost		
3,900 baht or less	0.033*	Sig.
3,901 - 4,600 baht		
4,601 - 5,300 baht		
5,301 - 6,000 baht		
Rice sales locations		
Rice mill	0.000**	Sig.
Rice fields		
Agricultural cooperatives		
Middleman		
Other		
Environment		
Number of household members who are laborers in rice cultivation		
1 person	0.003**	Sig.
2 person		
3 person or more		

Need for Alternate Wetting and Drying Technology	P-value	Significance
Rice sales locations		
Rice mill	0.000**	Sig.
Rice fields		
Agricultural cooperatives		
Middleman		
Other		

*Significance level at 0.05

**Significance level at 0.01

สรุปผลการศึกษา

เกษตรกรเป็นเพศชายมากกว่าเพศหญิง อายุเฉลี่ย 56.91 ปี จบการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษา มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือน เฉลี่ย 4.41 คน เป็นสมาชิกโครงการศูนย์ข้าวชุมชน มีประสบการณ์ปลูกข้าวเฉลี่ย 30.87 ปี มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือนที่เป็นแรงงานในการปลูกข้าวเฉลี่ย 2 คน มีพื้นที่ปลูกข้าวเฉลี่ย 17 ไร่ พื้นที่นาเป็นนาถุ่ม ใช้น้ำชลประทาน มีแหล่งน้ำเพียงพอสำหรับปลูกข้าวทั้งนาปีและนาปรัง ปลูกข้าวพันธุ์ กข85 มีต้นทุนการปลูกข้าวเฉลี่ย 4,476.22 บาท/ไร่/ฤดู รายได้จากการผลิตข้าวเฉลี่ยต่อฤดู 5,242.12 บาท/ไร่ จำนวนผลผลิตข้าวเฉลี่ย 813.74 กิโลกรัม/ไร่/ฤดู หลังจากเก็บเกี่ยวจะจำหน่ายเป็นข้าวสด เงินทุนทำนาเป็นเงินของตนเอง เทคโนโลยีที่ใช้ส่วนมากใช้รถไถนา/รถแทรกเตอร์ มีแนวโน้มใช้เทคโนโลยีการปลูกข้าวภายใน 3 ปี ใช้เทคโนโลยีรถไถนา/รถแทรกเตอร์ รับรู้ข้อมูลข่าวสารเทคโนโลยีเป็ยกสลับแห่งจาก Facebook มีความต้องการใช้เทคโนโลยีเป็ยกสลับแห่งและคาร์บอนเครดิตโดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ปัญหาในการใช้เทคโนโลยีเป็ยกสลับแห่งของสมาชิกศูนย์ข้าวชุมชนจังหวัดเพชรบุรี โดยรวมเฉลี่ยอยู่ในระดับน้อย ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า เพศ ประสบการณ์ปลูกข้าว จำนวนสมาชิกในครัวเรือนที่เป็นแรงงานปลูกข้าว ต้นทุนการผลิตข้าว และสถานที่จำหน่ายข้าวแตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเป็ยกสลับแห่งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 และอายุ ระดับการศึกษา พื้นที่นา ฤดูกาลแตกต่างกันมีความต้องการใช้เทคโนโลยีเป็ยกสลับแห่งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ปัญหาและข้อเสนอแนะความต้องการใช้เทคโนโลยีเป็ยกสลับแห่งเพื่อส่งเสริมการสร้างคาร์บอนเครดิตในการปลูกข้าวของศูนย์ข้าวชุมชน คือ ด้านการขายคาร์บอนเครดิตที่ยังขาดความรู้ความเข้าใจ หน่วยงานภาครัฐหรือภาคเอกชนควรมีการทำโครงการฝึกอบรมหรือดูงานการใช้เทคโนโลยีเป็ยกสลับแห่งเพื่อส่งเสริมการสร้างคาร์บอนเครดิต เพิ่มการรับรู้เกี่ยวกับคาร์บอนเครดิตให้เกษตรกรได้มีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น จัดทำสื่อรูปแบบต่างๆที่เกี่ยวกับการส่งเสริมการสร้างคาร์บอนเครดิตในการปลูกข้าวเพื่อเป็นช่องทางประชาสัมพันธ์ให้เกษตรกรได้รับรู้ข้อมูลข่าวสารได้อย่างรวดเร็ว และเพิ่มช่องทางรายได้ในการขายคาร์บอนเครดิตจากการปลูกข้าว ภาครัฐควรสนับสนุนส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีเป็ยกสลับแห่งกับเกษตรกรเพื่อส่งเสริมการขายคาร์บอนเครดิตในนาข้าวและหาช่องทางการจำหน่าย ลดขั้นตอนการจำหน่ายเพื่อให้เกษตรกรสะดวกในการจำหน่าย

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (idea) และ สมมติฐาน: นางสาวคณินิจ เจียวพวง. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ Criteria: พัชราวดี ศรีบุญเรือง, คณินิจ เจียวพวง, สุภาภรณ์ เลิศศิริ. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: คณินิจ เจียวพวง. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎีเดิม: พัชราวดี ศรีบุญเรือง, คณินิจ เจียวพวง, สุภาภรณ์ เลิศศิริ. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript ผลงานสร้างสรรค์ นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์: พัชราวดี ศรีบุญเรือง, คณินิจ เจียวพวง, สุภาภรณ์ เลิศศิริ.

เอกสารอ้างอิง

- Cronbach, L. J. (1970). **Essentials of Psychological Testing**. 3rd Ed. Harper and Row.
- Dariwan, S., Kanjana, N., Wannapa, I., & Taweesak, P. (2013). Risky behaviors and factors affecting the health of rice farmers. **KKU Journal for Public Health Research**, 6(2), 4-12. (in Thai).
- Government Organization. (2023). **Rice Department Support Community Rice Centers as a Source of Good Rice Varieties, Guaranteed by "Rice Inspectors" Who Advise, Control, and Inspect Every Step**. Retrieved from: <http://siamrath.co.th/432721>.
- Kamnerd, S. (2014). **A Study of Agriculturist's Technology Readiness Effecting to Behavioral Intention to Communicate by Social Media: Focusing on Line Application**. Master of Science Program. Thammasat University.
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. **Educational and Psychological Measurement**, 30(3), 607 – 610.
- Kroeze, C. (1996). **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. General Guidance and Reporting. (in Thai).
- Kuder, G. F., & Richardson, M. W. (1937). The theory of estimation of test reliability. **Psychometrika**, 2(3), 151-160.
- Moompakron, K. (2013). The use of rice seed production technology by members of the Community Rice Center, Lahan Sai District, Buriram Province. In **The 10th Kasetsart University National Academic Conference**, pp. 2886-2893. Kasetsart University. (in Thai).
- Niyamangkul, S. (2013). **Research Methodology and Statistics**. Book 2 You Publishing. (in Thai).
- Petrak, M. (2024). **The Acceptance of Smart Technology of Large Scale Rice Farmers in Bang Bo District, Samut Prakan Province**. Master's Thesis. Kasetsart University.
- Phetchaburi Provincial Agricultural Extension Office Strategy and Information Group. (2024). **Phetchaburi Provincial Development Plan 2023-2027 (Revised Edition for Fiscal Year 2024)**. Department of Agricultural Extension (DOAE).
- Phetchaburi Water Transmission and Maintenance Project. (2024). **information of Phetchaburi Province (March 2024)**. Retrieved from: www.opsmoac.go.th/phetchaburi-dwl-files-461091791201. (in Thai).
- Phuttharatraksa, P., & Leknoi, U. (2021). **The Effect and Acknowledgement of Wet-Dry Cycles Farming in Order to Cope with Climate of Farmers in Sriprachan District Suphanburi Province**. *Journal of MCU Nakhondhat* Vol.8 No.1 Jan, 2021. (in Thai).
- Puapongsakron, N., Jintawet, A., Chaowakul, M., Sriamun, N., Puntakua, K., Jantarasiri, A., & Ratchakom, S. (2023). **Rice and Vegetable Policy Platform**. Research report of the National Research Office.
- Rice Department. (2021). **The Action Plan (Roadmap) is to Produce and Distribute Rice Seeds Sufficient to Meet Farmers Needs and to Research and Improve Rice Varieties to Meet Market and Farmer Needs**. Retrieved from: <https://xn--42ca1c5gh2k.com/wp-content/uploads/2021/08/34.Road Map>. (in Thai).
- Rice Department. (2022). **Community Rice Centers Distributes Good Rice Seeds to Thai Farmers**. Retrieved from : <http://www.ricethailand.go.th/page.php?pid=14140>.
- Thailand Development Research Institute (TDRI). (2015). **TDRI Recommends Strengthening Thai Farmers Potential to Cope with Climate Change and Reduce the Risk of Flooding and Drought**. Retrieved from: <https://tdri.or.th/water/prachachat20150924/>. (in Thai).

ความแตกต่างของความคิดเห็นด้านปัจจัยส่วนประสมการตลาดที่มีผลต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ ตำบลหลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

Different Opinions on Marketing Mix Affecting the Choice of Buying Organic Rice of Luang Nuea Sub-District, Doi Sa Ket District, Chiang Mai, Thailand

เกศสุดา สิทธิสันติกุล¹, บัญจรัตน์ โจลานันท์², วรารณณ์ นันทะเสน¹, เก นันทะเสน¹, อนุพันธ์ สมบูรณ์วงศ์³ และวาสนา จักรแก้ว⁴
Katesuda Sitthisuntikul¹, Banjarata Jolanun², Waraporn Nunthasen¹, Ke Nunthasen¹
Anupan Somboonwong³ and Wassana Chakkaew⁴

Received date: 2 ก.ค. 67 Revised date: 24 ธ.ค. 67 Accepted date: 7 ม.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.23.012>

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคด้านปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ และวิเคราะห์ความแตกต่างของปัจจัยส่วนบุคคลที่มีต่อความคิดเห็นด้านปัจจัยส่วนประสมการตลาดที่มีผลต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ของตำบลหลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม โดยเก็บจากผู้เคยซื้อข้าวอินทรีย์ของตำบลหลวงเหนือจำนวน 400 คน มีการใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวิเคราะห์ระดับความคิดเห็น และใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของปัจจัยส่วนบุคคลที่มีต่อระดับความคิดเห็น ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดด้านผลิตภัณฑ์มีค่าเฉลี่ยของระดับความคิดเห็นมากที่สุด ถัดมา คือ ราคา สถานที่จัดจำหน่าย และการส่งเสริมการตลาด อีกทั้งยังพบว่า ความคิดเห็นด้านปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์มีความแตกต่างกันตามปัจจัยส่วนบุคคลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ ที่อยู่อาศัย อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส อาชีพ และระดับรายได้

คำสำคัญ: ข้าวอินทรีย์, ความคิดเห็น, ส่วนประสมทางการตลาด, ผู้บริโภค

Abstract

This study was aimed at surveying consumer's opinions about marketing mix affecting the choice of buying organic rice and to analyze the differences in demographic factors affecting consumer opinions about marketing mix affecting the choice of buying organic rice. The study area was located at Luang Nuea Sub-District, Doi Sa Ket District, Chiang Mai Province. Data were collected from 400 questionnaires for buyers of organic rice in Luang Nuea Sub-District. In data analysis, opinion levels were analyzed by average and standard deviation, and different personal affecting consumer opinions were analyzed by ANOVA. The result indicated that the marketing mix with the maximum average opinion was product, and the subsequent average opinions were price, place, and promotion, respectively. Different factors also influence consumer opinions about marketing mix affecting the choice of buying organic rice at a statistically significance level of 0.05, namely, residence, age, education, married status, occupation, and incomes.

Keywords: organic rice, opinion, marketing mix, consumer

¹ สาขาเศรษฐศาสตร์เกษตรและสิ่งแวดล้อม คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

² สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50300

³ กองบริหารงานวิจัย สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

⁴ สาขาวิชาการจัดการบิน โรงเรียนการท่องเที่ยวและการบริการ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์การศึกษา ลำปาง 52100

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

² Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50300

³ Research Division, the office of Agricultural Research and Extension Maejo University 50290

⁴ Airline Business, School of Tourism and Hospitality, Suan Dusit University Lampang Center 52100

*Corresponding author, Email: ktieng71@hotmail.com, katesuda@mju.ac.th

คำนำ

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ให้การสนับสนุนการยกระดับมาตรฐานการผลิตและผลักดันการตลาดข้าวอินทรีย์ทั้งในและต่างประเทศนับตั้งแต่ปี 2545 (Chutrakun et al., 2022) ตลาดข้าวอินทรีย์ในประเทศส่วนใหญ่เป็นตลาดเฉพาะสำหรับสมาชิก เช่น สหกรณ์การเกษตรอินทรีย์ เครือข่ายวิสาหกิจชุมชน และสหกรณ์การเกษตรเพื่อการตลาดลูกค้า ธ.ก.ส. ส่วนตลาดส่งออกข้าวอินทรีย์กระจายไปหลายประเทศ เช่น สวิสเซอร์แลนด์ อเมริกา รัสเซีย สิงคโปร์ ฮองกง ยุโรป และญี่ปุ่น อีกทั้งยังมีแนวโน้มการขยายตัวของข้าวอินทรีย์เพิ่มขึ้นในตลาดโลกภายใต้กระแสคนรักสุขภาพ (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2018) ระหว่างปี 2560-2563 มูลค่าการส่งออกข้าวอินทรีย์ไทยขยายตัวในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 24.60 ต่อปี อย่างไรก็ตามกลับพบข้อจำกัดของการขยายตลาดข้าวอินทรีย์ของประเทศไทย ได้แก่ การสร้างมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ไทย การวางแผนการผลิตและตลาดบนฐานข้อมูล การปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีในการเพิ่มมูลค่าข้าวอินทรีย์ การพัฒนาช่องทางการจัดจำหน่ายที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยเฉพาะกลุ่มคนรักสุขภาพและผู้สูงอายุ และการวิจัยและพัฒนาเพื่อการต่อยอดข้าวอินทรีย์เชิงพาณิชย์ (National Organic Agriculture Development Committee, 2022)

ภายใต้สถานการณ์ดังกล่าวสามารถนำหลักการของส่วนประสมทางการตลาด (Marketing Mix) มาประยุกต์ใช้ในฐานะเครื่องมือหนึ่งของการดำเนินธุรกิจและพัฒนาการตลาดให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าหรือผู้บริโภค (Kotler, 2003) โดยทั่วไปส่วนประสมทางการตลาดประกอบด้วย 4 Ps ที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน ได้แก่ Product หรือผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและเป็นที่ต้องการของตลาด Price หรือราคาที่เหมาะสมกับพฤติกรรมและกำลังซื้อของผู้บริโภค Place หรือการจัดจำหน่ายสินค้าให้ไปถึงมือผู้บริโภคผ่านช่องทางต่างๆ และ Promotion หรือการส่งเสริมการตลาดที่รวมถึงการประชาสัมพันธ์และการให้บริการลูกค้า (Etzel et al., 2004) อย่างไรก็ตามยังมีผู้เสนอองค์ประกอบอื่นเพิ่มเติม เช่น Booms and Bitner (1981) ชื่อเสนอ 7 Ps โดยเพิ่มเติมจาก 4 Ps คือ People หรือการพัฒนาบุคลากรให้มีความสามารถในการขายและให้บริการ Process หรือกระบวนการที่ใช้เพื่อเข้าถึงกลุ่มลูกค้า และ Physical Evidence หรือสิ่งแวดล้อมทางกายภาพที่เป็นภาพลักษณ์ของสินค้า รวมทั้งเสนอเพิ่ม P ตัวที่ 8 คือ Productivity and Quality หรือผลิตภาพและคุณภาพซึ่งหมายถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยคงความแตกต่างของสินค้าและบริการ (Santiwong, 1997) เป็นต้น

องค์ประกอบของส่วนประสมทางการตลาดล้วนมีผลต่อลูกค้าต่างกันไปใน การตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าและบริการ ดังที่ Siripipat and Chaiwun (2016) พบว่า ผู้สูงอายุตัดสินใจซื้อสินค้าออนไลน์ผ่านช่องทางการจัดจำหน่ายมากที่สุด ถัดมา คือ การส่งเสริมการตลาด กระบวนการ ผลิตภัณฑ์ และราคา ตามลำดับ (Siripipat and Chaiwun, 2016) ขณะที่การส่งเสริมการตลาด สิ่งแวดล้อมกายภาพ และกระบวนการให้บริการกลับไม่ส่งผลต่อการซื้อเคมีภัณฑ์ด้านการเกษตรของชาวนาในจังหวัดสุพรรณบุรี (Tittayawong and Sansook, 2015) ผู้ประกอบการข้าวอินทรีย์ไทยเชื่อว่า ราคาข้าวอินทรีย์ที่ใกล้เคียงกับข้าวทั่วไปจะทำให้เป็นที่รู้จักของผู้บริโภคและขายได้ง่ายกว่าการตั้งราคาข้าวอินทรีย์ที่สูงกว่าข้าวทั่วไป และการกระจายข้าวอินทรีย์ไปในหลายช่องทางจะช่วยเพิ่มความสนใจต่อข้าวอินทรีย์ (Taweasuk, 2015) ส่วนผู้บริโภคเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลกลับพิจารณาผลิตภัณฑ์มากที่สุด รองลงมา คือ ราคาสินค้า และช่องทางจัดจำหน่าย และสิ่งที่พิจารณาน้อยที่สุด คือ การส่งเสริมการตลาด (Srijam, et al., 2015) เป็นต้น ในทำนองเดียวกันผู้บริโภคข้าวอินทรีย์ในเมืองยอร์กการ์การ์ตาร์ อินโดนีเซียตัดสินใจซื้อเพราะคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ และราคาที่สามารถจ่ายได้ รวมทั้งต้องมีหลายราคาที่มีน้ำหนักแตกต่างกันให้เลือกซื้อได้ และยังคงกระจายสถานที่จัดจำหน่ายให้สามารถหาซื้อได้ง่ายในร้านค้าและซูเปอร์มาร์เกต (Kristanti et al., 2024)

ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับความคิดเห็นที่มีต่อปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดจึงสำคัญในการวางแผนการตลาดสินค้าและบริการท่ามกลางสภาวะต่อเนื่องของการแข่งขันทางธุรกิจ ความคิดเห็นที่แตกต่างกันมักขึ้นกับอิทธิพลของปัจจัยส่วนบุคคล เช่น พันธุกรรมและสรีระ การศึกษา ความรู้ ความเชื่อ สถานภาพทางสังคม และประสบการณ์ เป็นต้น และปัจจัยแวดล้อม เช่น การเลี้ยงดูของครอบครัว ประสบการณ์ส่วนตัว ค่านิยมหรือบรรทัดฐานของกลุ่มและสังคม วัฒนธรรมประเพณี สื่อมวลชน (Oskamp and Schultz, 2005) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ และเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปัจจัยส่วนบุคคลต่อความคิดเห็นด้านปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาเฉพาะข้าวอินทรีย์ตำบลลวงเหนือที่ผลิตโดยกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ตำบลลวงเหนือ อำเภอคอยสะเกิด จังหวัดเชียงใหม่ แม้ว่าข้าวอินทรีย์ตำบลลวงเหนือจะเป็นที่รู้จักมายาวนาน แต่ยังมีปัญหาด้านการตลาดที่อยู่ในวงจำกัดและยอดจัดจำหน่ายที่ไม่แน่นอนจนกระทบต่อรายได้ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอินทรีย์ ผลการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการตลาดเชิงกลยุทธ์ข้าว

อินทรีย์ของเกษตรกรอินทรีย์ตำบลลวงเหนือและชุมชนอื่นที่ต้องประสบกับปัญหาด้านการตลาดเช่นเดียวกัน ตลอดจนเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานด้านการเกษตรในแง่ของการสนับสนุนการพัฒนาตลาดข้าวอินทรีย์ระดับชุมชนให้มีความแน่นอนและมั่นคงยิ่งขึ้น

วิธีการศึกษา

กรอบแนวคิดการวิจัย

คณะผู้วิจัยกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยจากองค์ประกอบ 4 Ps ของส่วนประสมทางการตลาด ได้แก่ Product (ผลิตภัณฑ์) Price (ราคา) Place (สถานที่จัดจำหน่าย) และ Promotion (การส่งเสริมการตลาด) (Etzel et al., 2004) โดยนำไปกำหนดเป็นข้อคำถามเกี่ยวกับความคิดเห็นต่อปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด และนำผลการสำรวจความคิดเห็นมาวิเคราะห์ความแตกต่าง และกำหนดให้ปัจจัยส่วนบุคคลเป็นตัวแปรอิสระ ได้แก่ ที่อยู่อาศัย เพศ อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส อาชีพ และระดับรายได้ และกำหนดให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ เป็นตัวแปรตาม ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ ราคา สถานที่จัดจำหน่าย และการส่งเสริมการตลาด

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

คณะผู้วิจัยใช้ตารางสำเร็จรูปของ Yamane ในการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง โดยเทียบค่าเป็นอินฟินิตี (∞) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 400 ตัวอย่าง เนื่องจากไม่ทราบจำนวนประชากรผู้ซื้อข้าวอินทรีย์ที่แน่นอน (Aekkul, 2007) สำหรับวิธีการสุ่มตัวอย่างเป็นแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) และเก็บข้อมูลจากผู้ที่เคยซื้อข้าวอินทรีย์ของตำบลลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ บริเวณตลาดนัดชุมชนในตำบลลวงเหนือ และตลาดเครือข่ายเกษตรกรอินทรีย์ในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

วิธีการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

คณะผู้วิจัยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยนำแบบสอบถามไปทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) กับผู้เชี่ยวชาญ เพื่อการพิจารณาตรวจสอบและปรับปรุงข้อคำถามในแบบสอบถาม จากนั้นจึงนำแบบสอบถามไปทดสอบ (Pre-test) กับผู้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มเป้าหมายจำนวน 50 คน แล้วนำแบบสอบถามที่เก็บรวบรวมได้ไปคำนวณหาความเชื่อมั่น (Reliability) ด้วยวิธีของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient Reliability) โดยใช้เกณฑ์ยอมรับที่ค่ามากกว่า 0.7 เพื่อแสดงว่าแบบสอบถามนี้มีความเชื่อมั่นเพียงพอ (Pipitkun, 2018) ซึ่งผลการคำนวณค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.85 ทั้งนี้แบบสอบถามแบ่งออกเป็นชุดคำถามเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ ที่อยู่อาศัย เพศ อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส อาชีพ และระดับรายได้

ในส่วนของความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ ราคา สถานที่จัดจำหน่าย และการส่งเสริมการตลาด โดยใช้ Likert Scale ในการแบ่งระดับความคิดเห็นออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ 5 = คิดว่ามีผลมากที่สุด 4 = คิดว่ามีผลมาก 3 = คิดว่ามีผลปานกลาง 2 = คิดว่ามีผลน้อย 1 = คิดว่ามีผลน้อยที่สุด สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ มีการใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) และนำเสนอผลเป็นค่าเฉลี่ย (\bar{X}) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยกำหนดเกณฑ์ในการวิเคราะห์ค่าคะแนนเฉลี่ยความคิดเห็นดังนี้ 1.00 – 1.50 = น้อยที่สุด, 1.51 – 2.50 = น้อย, 2.51 – 3.50 = ปานกลาง, 3.51 – 4.50 = มาก, 4.51 – 5.00 = มากที่สุด นอกจากนี้ยังดำเนินการวิเคราะห์ความแตกต่างของความคิดเห็นด้านปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ โดยการใช่วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (ANOVA) (Srisaard, 2017)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ปัจจัยส่วนบุคคล

ผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามอาศัยอยู่ในตำบลลวงเหนือร้อยละ 55.75 ขณะที่อยู่นอกตำบลด้อยละ 44.25 เป็นเพศชายหญิงใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 49.87 และ 46.60 นอกจากนี้ยังอยู่ในช่วงอายุระหว่าง 50-59 ปี มากที่สุด คือ ร้อยละ 27.02 รองลงมา คือ อายุ 18-29 ปี และ 40-49 ปี ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ร้อยละ 38.23 มีสถานภาพสมรสมากที่สุด ร้อยละ 48.74 มีอาชีพหลักรับจ้างทั่วไปมากที่สุด ร้อยละ 23.81 มีรายได้ส่วนตัวต่อเดือน 6,001-9,000 บาทมากที่สุด ร้อยละ 30.90 ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Demographic factors of respondents

Demographic Factors	Number	Percent	Demographic Factors	Number	Percent
1. residential areas			2. sex		
Luang Neua Sub-District	223	55.75	Female	185	46.60
Others	177	44.25	Male	198	49.87
			Others	14	3.53
Total	400	100	Total	397	100
3. age			4. status		
Under 18 years	2	0.51	Single	157	39.45
18-29 years	97	24.49	Married	194	48.74
30-39 years	74	18.69	Divorced	38	9.55
40-49 years	81	20.45	Widow	9	2.26
50-59 years	107	27.02			
more than 59 years	35	8.84			
Total	396	100	Total	398	100
5. education			6. occupation		
Primary school/equivalent	119	30.13	Government/state enterprise employers	73	18.30
Primary high school/equivalent	24	6.08	Private company employers		
Secondary high school/equivalent	31	7.85	Sellers	45	11.28
Diploma/equivalent			Freelance	24	6.02
Undergraduate	31	7.85	Farmers	62	15.54
Postgraduate	151	38.23	General work	21	5.26
	39	9.87	Business	95	23.81
			Others	13	3.26
				66	16.54
Total	395	100	Total	399	100
7. salary					
Less than 3,000 baht	10	2.51			
3,001-6,000 baht	52	13.07			
6,001-9,000 baht	123	30.90			
9,001-15,000 baht	102	25.63			
More than 15,000 baht	111	27.89			
Total	398	100			

ความคิดเห็นของผู้บริโภคด้านปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด

จาก Table 2 พบว่า ความคิดเห็นต่อปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยค่าเฉลี่ยของระดับความคิดเห็นที่มากที่สุด ร้อยละ 4.02 คือ ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ ถัดมาคือ ราคา สถานที่จัดจำหน่าย และการส่งเสริมการตลาด โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 3.81, 3.78 และ 3.60 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (Srijam et al., 2015) ขณะเดียวกันข้อค้นพบนี้กลับขัดแย้งกับการดำเนินธุรกิจของผู้ประกอบการ

วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี ซึ่งพบว่า ราคามีความสำคัญมากที่สุด (Srijannin, 2010) การที่ผลิตภัณฑ์และราคาที่มีความสำคัญมากกว่าสถานที่จัดจำหน่ายและการส่งเสริมการตลาดอาจเป็นเพราะตลาดข้าวอินทรีย์เป็นที่นิยมเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพ ซึ่งมักจะเลือกผลิตภัณฑ์ที่เชื่อว่ามีคุณภาพดี และมีราคาที่ไม่สูงจนเกินไป อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้พบว่า ระดับค่าเฉลี่ยความคิดเห็นสูงสุดของด้านผลิตภัณฑ์ ได้แก่ คุณประโยชน์ของข้าวอินทรีย์ต่อสุขภาพ สามารถนำข้าวอินทรีย์ไปเป็นของฝากได้ และข้าวอินทรีย์กินแล้วอร่อยถูกปาก ระดับค่าเฉลี่ยความคิดเห็นสูงสุดของด้านราคา สถานที่ และการส่งเสริมการตลาด คือ การกำหนดราคาที่เหมาะสม สามารถหาซื้อได้ง่ายในตลาดหรือร้านค้าใกล้เคียง และการให้ลองชิม ตามลำดับ ดังนั้นในการส่งเสริมการตลาดข้าวอินทรีย์ ตำบลลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ควรมุ่งเน้นการพัฒนาด้านผลิตภัณฑ์มากกว่าด้านอื่น โดยการสื่อสารและประชาสัมพันธ์ให้ความรู้เกี่ยวกับคุณประโยชน์ของข้าวอินทรีย์ต่อสุขภาพ ส่งเสริมการพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับเป็นของฝากให้หลากหลาย รวมไปถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตและคิดค้นสายพันธุ์ข้าวอินทรีย์ที่อร่อยถูกปากมากขึ้น นอกจากนี้ควรกำหนดราคาที่เหมาะสมกับต้นทุนการผลิตข้าวอินทรีย์ของเกษตรกร และรายได้ของผู้บริโภคมากกว่ากำหนดตามราคาคู่แข่งซึ่งมีน้อยราย รวมทั้งควรเน้นการจัดจำหน่ายให้กับคนในตำบลลวงเหนือเป็นหลักเนื่องจากสามารถเข้าถึงผู้ผลิตข้าวอินทรีย์และหาซื้อได้ง่ายกว่าสอดคล้องกับความคิดเห็นของผู้ประกอบการข้าวอินทรีย์ในด้านราคาข้าวอินทรีย์ที่ควรใกล้เคียงกับข้าวทั่วไปเพื่อให้ขายง่าย ส่วนที่แตกต่างไป คือ ช่องทางการจัดจำหน่าย ผู้ประกอบการเห็นว่า ควรวางขายในซูเปอร์มาร์เก็ตทั่วไปและให้สมาชิกของสหกรณ์เป็นตัวแทนจำหน่ายสินค้า (Taweasuk, 2015)

Table 2 The level of opinion on factors of marketing mix affecting demand for buying organic rice, Luang Neua Sub-District, Doi Sa Ket District, Chiang Mai Province

Marketing mix	Average	S.D.	Level of opinion
1. Product	4.02	0.86	High
Believe in no using chemical substances	4.04	1.09	High
Varieties of organic rice species	3.91	0.71	High
Attracted packaging of organic breed	3.76	0.94	High
Giving details on labels about advantage and nutritional value	3.81	1.01	High
Labelling standard certification of organic rice	3.88	1.09	High
Having many processed products	3.88	0.82	High
Tasty and delicious organic rice	4.23	0.75	High
Cooked organic rice soft and fragrant	4.22	0.79	High
Advantage of organic rice for health	4.38	0.74	High
Be able to use as a component of herbs	3.88	0.79	High
Be able to use as a gift	4.25	0.77	High
2. Place	3.78	1.04	High
Easy to buy in market or shop nearby	3.89	0.98	High
Be able to buy in organic markets	3.85	0.99	High
Be able to order by phone	3.84	0.99	High
Be able to order by social online	3.63	1.15	High
Be able to buy at farmer home	3.82	0.99	High
Be able to arrange delivery	3.62	1.14	High
3. Price	3.81	1.01	High
Provide worthy price for purchase	3.93	0.90	High
Clear price on label	3.86	1.05	High
Having different prices for buyers	3.80	0.97	High

Marketing mix	Average	S.D.	Level of opinion
Be able to bargain with buyers	3.63	1.12	High
4. Promotion	3.60	1.14	High
Direct sell from sellers	3.69	0.92	High
Public relations by internet and social online (Facebook, Line)	3.60	1.15	High
labelling farms and contact	3.65	1.07	High
Organizing learning activities about organic rice cultivation	3.61	1.05	High
Providing discount	3.68	1.20	High
Providing sample product	3.69	1.20	High
Giving free products	3.58	1.26	High
Providing product testing	3.71	1.14	High
Providing accumulate points	3.19	1.29	Moderate
Total	3.80	1.01	High

ความแตกต่างของปัจจัยส่วนบุคคลที่มีต่อความคิดเห็นด้านปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อการเลือกข้าวอินทรีย์

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อความต้องการซื้อข้าวอินทรีย์จากค่าเฉลี่ยความคิดเห็นของผู้บริโภคกับปัจจัยส่วนบุคคล ดังในแสดงใน Table 3 พบว่า ความคิดเห็นด้านปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่มีต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์มีความแตกต่างกันตามปัจจัยส่วนบุคคลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความแตกต่างของปัจจัยส่วนบุคคลที่มีต่อปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อความต้องการซื้อข้าวอินทรีย์ของตำบลลวงเหนือ ได้แก่ ที่อยู่อาศัย อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส อาชีพ และระดับรายได้ ส่วนเพศนั้นไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม Srijam et al. (2015) พบว่า อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส อาชีพ และรายได้ต่อเดือน ของผู้บริโภคข้าวอินทรีย์ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่แตกต่างกันส่งผลต่อปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ต่างกัน ในทำนองเดียวกันผลการศึกษาร่วมประสมทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อผู้บริโภคข้าวอินทรีย์วิสาหกิจชุมชนบ้านหัวเรือ จังหวัดอุบลราชธานี พบว่าผู้บริโภคที่มีอายุแตกต่างกันมีความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์และราคาข้าวอินทรีย์แตกต่างกัน ขณะที่ผู้บริโภคที่มีรายได้ต่อเดือนแตกต่างกันมีความคิดเห็นต่อช่องทางการจัดจำหน่ายและคุณภาพการบริการแตกต่างกัน (Promcharoen and Harasam, 2024) นอกเหนือจากนี้ Phitthayaphinant (2024) ยังพบปัจจัยที่ส่งผลเชิงบวกต่อการใช้จ่ายในการซื้อข้าวอินทรีย์บรรจุถุงจังหวัดพัทลุง ได้แก่ อาชีพหลัก รายได้ ปัญหาสุขภาพ ปริมาณข้าวอินทรีย์ที่บรรจุในถุง สำหรับผลการวิจัยนี้พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของที่อยู่อาศัยของผู้บริโภคข้าวอินทรีย์ต่อปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อความต้องการซื้อข้าวอินทรีย์ โดยคนที่อยู่ภายในตำบลลวงเหนือมีความคิดเห็นต่อปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดมากกว่าคนนอกตำบลลวงเหนือ สิ่งนี้แสดงถึงความจำเป็นในการจัดการส่วนประสมทางการตลาดที่ต้องคำนึงถึงตลาดผู้บริโภคข้าวอินทรีย์ที่อยู่ภายในตำบลมากกว่านอกตำบล อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงการนำเสนอผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายสำหรับคนทุกกลุ่ม อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส อาชีพ และรายได้ของผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้บริโภคช่วงอายุ 40-49 ปี มีระดับการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นหรือเทียบเท่า มีสถานะหม้าย มีอาชีพรับราชการและรัฐวิสาหกิจ และมีรายได้ระหว่าง 6,000-9,000 บาท ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคิดเห็นด้านปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดมากที่สุดของปัจจัยส่วนบุคคลแต่ละตัว

Table 3 Different demographic factors affecting opinion on marketing mix affecting demand for buying organic rice, Luang Neua Sub-District, Doi Sa Ket District, Chiang Mai Province

Personal factors	Marketing mix affecting demand for buying organic rice										T/F	P
	Product		Place		Price		promotion		total			
	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.		
residential areas												
1. Luang Neua Sub-District	4.14	.513	4.00	.640	4.05	.687	3.90	.822	4.03	.576	7.381	.000*
2. Others	3.86	.554	3.47	.956	3.49	.957	3.22	1.025	3.50	.777		
Sex												
1. Female	4.07	.575	3.79	.864	3.87	.868	3.67	.980	3.85	.743	1.965	.142
2. Male	3.97	.517	3.77	.804	3.75	.860	3.56	.973	3.76	.693		
3. Others	3.92	.592	3.40	.971	3.48	.840	3.16	1.005	3.48	.770		
Age												
1. Under 18 years	3.95	.578	3.75	.589	3.87	.530	3.88	.314	3.86	.503	12.515	.000*
2. 18 – 29 years	3.78	.633	3.21	1.101	3.32	1.019	3.01	1.135	3.32	.865		
3. 30 – 39 years	4.18	.491	3.94	.829	3.91	.869	3.73	1.028	3.94	.731		
4. 40 – 49 years	4.15	.509	4.04	.566	4.00	.824	3.81	.932	3.99	.636		
5. 50 – 59 years	4.01	.483	3.88	.589	3.98	.635	3.83	.670	3.93	.490		
6. More than 60 years	4.04	.508	4.02	.424	4.00	.573	3.81	.620	3.97	.449		
Education												
1. Primary school/equivalent	3.91	.455	3.87	.467	3.90	.587	3.68	.560	3.84	.408	3.768	.002*
2. Primary high school/equivalent	4.33	.440	4.09	.518	4.25	.607	4.12	.771	4.20	.482		
3. Secondary high school/equivalent	4.23	.557	3.98	.869	3.98	1.058	3.87	1.220	4.02	.870		
4. Diploma/equivalent	4.11	.617	3.85	.826	3.81	.903	3.54	1.181	3.84	.820		
5. Undergraduate	3.96	.589	3.58	1.047	3.61	.966	3.39	1.120	3.63	.843		
6. Postgraduate	4.12	.549	3.81	.836	3.89	.934	3.76	.935	3.89	.719		
Status												
1. Single	3.91	.609	3.50	1.050	3.60	.998	3.32	1.101	3.58	.849	10.010	.000*
2. Married	4.10	.496	3.97	.600	3.93	.758	3.83	.864	3.96	.598		

Personal factors	Marketing mix affecting demand for buying organic rice											T/F	P
	Product		Place		Price		promotion		total				
	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.			
3. Divorced	3.93	.457	3.76	.588	3.83	.624	3.42	.619	3.72	.422			
4. Widow	4.38	.519	4.33	.424	4.44	.609	4.24	.779	4.35	.539			
Occupation													
1. Government/state enterprise employers	4.16	.477	4.04	.713	4.00	.722	3.94	.745	4.04	.571	9.769	.000*	
2. Private company employers	4.17	.500	3.88	.718	3.81	.949	3.65	1.110	3.88	.769			
3. Sellers	4.12	.443	4.00	.663	4.04	.907	3.80	.924	3.99	.644			
4. Freelance	3.97	.510	3.91	.681	3.96	.707	3.67	.805	3.88	.601			
5. Farmer	4.24	.581	4.11	.580	4.02	.838	3.64	1.247	4.00	.751			
6. General work	3.97	.495	3.82	.561	3.84	.702	3.72	.741	3.84	.522			
7. Business	4.18	.568	3.84	.869	3.82	.850	3.61	.972	3.86	.752			
8. Others	3.70	.648	2.98	1.127	3.22	1.053	2.87	1.143	3.18	.871			
Salary													
1. Less than 3,000 baht	3.76	.616	3.48	.650	3.72	.711	3.44	.755	3.63	.601	7.421	.000*	
2. 3,001 – 6,000 baht	3.87	.640	3.05	1.088	3.28	1.063	3.14	1.142	3.30	.849			
3. 6,001 – 9,000 baht	3.98	.480	3.92	.560	3.97	.628	3.71	.670	3.91	.485			
4. 9,001 – 15,000 baht	4.00	.615	3.78	.909	3.82	.932	3.57	1.166	3.79	.838			
5. More than 15,000 baht	4.15	.484	3.92	.759	3.85	.866	3.72	.970	3.90	.691			

Note : differences at significance level 0.05

สรุปผลการศึกษา

ผู้บริโภควิวินทรีย์ที่ผลิตโดยกลุ่มเกษตรกรตำบลลวงเหนือ ให้ความคิดเห็นต่อปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดด้านผลิตภัณฑ์ ด้วยค่าเฉลี่ยระดับความคิดเห็นสูงสุด ถัดมาเป็นค่าเฉลี่ยด้านราคา สถานที่จัดจำหน่าย และการส่งเสริมการตลาด ตามลำดับ ในแต่ละด้าน มีหัวข้อที่มีค่าเฉลี่ยความคิดเห็นเรียงจากมากไปหาน้อย ดังนี้ ด้านผลิตภัณฑ์ ได้แก่ คุณประโยชน์ของข้าวอินทรีย์ต่อสุขภาพ สามารถนำข้าวอินทรีย์ไปเป็นของฝากได้ และข้าวอินทรีย์กินแล้วอร่อยถูกปาก ตามลำดับ ด้านราคา ได้แก่ การกำหนดราคาที่เหมาะสม การติดป้ายบอกราคาอย่างชัดเจน และการมีหลายราคาให้เลือกซื้อ ตามลำดับ ด้านสถานที่จัดจำหน่าย ได้แก่ สามารถหาซื้อได้ง่ายในตลาดหรือร้านค้าใกล้บ้าน สามารถหาซื้อได้ในตลาดนัดสินค้าอินทรีย์ และสามารถสั่งซื้อได้ทางโทรศัพท์ ตามลำดับ ส่วนด้านการส่งเสริมการตลาด ได้แก่ การให้ลองชิม การนำเสนอขายสินค้าโดยตรงจากผู้ขาย และการให้ส่วนลด ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปัจจัยส่วนบุคคลที่มีต่อความคิดเห็นด้านปัจจัยส่วนประสมการตลาดที่มีผลต่อการเลือกซื้อข้าวอินทรีย์ของตำบลลวงเหนือ พบว่า ความแตกต่างของที่อยู่อาศัย อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส อาชีพ และระดับรายได้ มีผลต่อความคิดเห็นของปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด ดังนั้น กลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ตำบลลวงเหนือควรมุ่งเน้นการส่งเสริมการตลาดโดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดเป็นสำคัญ โดยเฉพาะการสื่อสารและประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับคุณประโยชน์ข้าวอินทรีย์ต่อสุขภาพให้กว้างขวางยิ่งขึ้น และการทำบรรจุภัณฑ์ให้ดึงดูด หลากหลาย และควรค่าแก่การนำไปเป็นของฝากอย่างแพร่หลาย อีกทั้งควรกำหนดราคาให้สอดคล้องกับต้นทุนและรายได้ของผู้บริโภค ควรส่งเสริมการตลาดกับกลุ่มเป้าหมายเฉพาะที่มีความแตกต่างด้านทำเลที่พักอาศัย อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส อาชีพ และรายได้ นอกจากนี้หน่วยงานด้านการเกษตรควรให้การสนับสนุนการพัฒนาการตลาดของเกษตรกรโดยการศึกษาวิจัยเพื่อการปรับปรุงสายพันธุ์และกระบวนการผลิตข้าวอินทรีย์เพื่อพัฒนาการผลิตข้าวอินทรีย์คุณภาพดี และอร่อยถูกปากผู้บริโภคมากขึ้น รวมทั้งควรศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการตลาดของกลุ่มผู้บริโภคที่อาจมีความต้องการซื้อข้าวอินทรีย์แตกต่างกันในหลากหลายบริบทพื้นที่ อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส อาชีพ และรายได้

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และสมมติฐาน: เกศสุดา สิทธิสันติกุล, บัญจรัตน์ โจลานันท์. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบวิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: เกศสุดา สิทธิสันติกุล, บัญจรัตน์ โจลานันท์. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: เกศสุดา สิทธิสันติกุล, บัญจรัตน์ โจลานันท์, วราภรณ์ นันทะเสน, เก นันทะเสน, อนุพันธ์ สมบูรณ์วงศ์. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดงการเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: เกศสุดา สิทธิสันติกุล, เก นันทะเสน, วราภรณ์ นันทะเสน, วาสนา จักรแก้ว. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: เกศสุดา สิทธิสันติกุล บัญจรัตน์ โจลานันท์. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ: วราภรณ์ นันทะเสน, เก นันทะเสน, อนุพันธ์ สมบูรณ์วงศ์.

เอกสารอ้างอิง

- Aekkakul, T. (2007). **Research Methodology of Behavioral and Social Sciences**. 5th Ed. Wittaya Offset Publishing. (in Thai).
- Booms, B., & Bitner, M. (1981). Marketing strategies and organizational structures for service firms. In Donney, J. H. & George, W. R. (Ed.), **Marketing of services**, pp. 47-51. American Marketing Association.
- Chutrakun, P., Suksan, B., & Sanposh, K. (2022). Strategy for the development of the modern organic rice market of organic rice farmers in Udon Thanii province. **Journal of Social Science and Buddhistic Anthropology**, 7(8), 41-54. (in Thai).
- Etzel, J. M., Walker, B. J., & Stanton, W. J. (2004). **Marketing**. 13rd Ed. McGraw-Hill, Inc.
- Kotler, P. (2003). **Marketing management**. 11st Ed. Prentice-Hall.
- Kristanti, N. E., Salisa, H. D., & Mawadati, N. P. (2024). Marketing mix analysis of JOSS organic rice based on consumer acceptance. In **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 1377(1), pp. 1-7. IOP Publishing.
- Oskamp, S., & Schultz, P. W. (2005). **Attitudes and Opinions**. Lawrence Erlbaum Associates.
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2018). **The Trend of Bright Organic Rice Responding to the Increasing of Lifestyle of Health-loving Consumers**. Retrived from: <https://www.moac.go.th/news-preview-402991791824>. (in Thai).
- National organic agriculture development committee. (2022). **Action Plan for Organic Rice Year 2023-2027**. Retrieved from: <https://www.mhesi.go.th/index.php/all-media/book/8857-2566-2570.html>. (in Thai).
- Phitthayaphinant, P. (2024). Packed organic rice: purchasing behavior and determinants of expenditure in Phatthalung province. **Suranaree Journal of Social Science**, 18(1), 1-28.
- Pipitkun, K. (2018). Quality of questionnaire tools: validity and reliability in public administration for research. **NEU Academic and Research Journal**, 8(2), 104-110. (in Thai).
- Promcharoen, L., & Harasam, A. (2024). Marketing mix, quality and production innovation influencing on the decision-making process of buying organic rice at Ban Hua Ruea community enterprise, Ubon Rachathani province. **Phuket Rajabhat University Academic Journal**, 20(1), 19-35. (in Thai).
- Santiwong, T. (1997). **Marketing consumer behaviour**. 9th Ed. Thai Wattana Panich. (in Thai).
- Siripipat, P., & Chaiwun, T. (2016). Marketing mix factors affecting the decision-making to purchase online-products of Thai-elder people. **Journal of Payap University**, 26(2), 135-149. (in Thai).
- Srijam, J., Koohasawanvate, S., & Rojnirutikul, N. (2015). Marketing mix in consumer decision for buying organic rice in Bangkok and metropolitan area. **Journal of Industrial Education**, 14(3), 697-704. (in Thai).
- Srijannin, S. (2010). **Marketing Mix Strategies for Entrepreneurs in Small and Medium sized in Bang Kruai, Nonthaburi Province**. School of Rajapruk. (in Thai).
- Srisaard, B. (2017). **Basic Research**. 10th Ed. Suweereyasan Co, Ltd.
- Taweasuk, P. (2015). Thai entrepreneur's opinion on marketing mix strategy for organic rice. **Suthiparthat Journal**, 29(92), 166-181.
- Tittayawong, S., & Sansook, J. (2015). Factors influencing the decisions in purchasing agricultural chemical products from agricultural chemicals suppliers of rice farmers in Suphan Buri Province. **Journal of Southern Technology**, 8(1), 63-70. (in Thai).

การศึกษาความเหมาะสมในกระบวนการระเบิดดินสำหรับการปลูกสับปะรดในพื้นที่ตำบลบ้านคา อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี

A Study of the Suitability of Subsoiler Process for Pineapple Planting in Ban Kha Subdistrict, Ban Kha District, Ratchaburi Province

อัจฉริยา โชติกลาง¹, วิภาวี จันทศรี² และศุภฤกษ์ สายแก้ว^{3*}

Atchareeya Chotklang¹, Wipawee Chanthasri² and Suphroek Saikew^{3*}

Received date: 17 ก.ย. 67 Revised date: 24 ธ.ค. 67 Accepted date: 11 ม.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.30.013>

บทคัดย่อ

ดินดานมีลักษณะของเนื้อดินที่อัดตัวกันแน่นขนานไปกับหน้าดิน โดยมีความลึกแตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นที่ซึ่งส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเหมาะสมในกระบวนการระเบิดดินสำหรับการปลูก สับปะรดในพื้นที่ตำบลบ้านคา อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี โดยใช้รูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม และแปลงสาธิต ในผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย จำนวน 100 คน จากการคัดเลือกแบบเจาะจง เก็บข้อมูลผ่านการประชุมกลุ่มย่อย และใช้แบบสอบถาม วิเคราะห์ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และบรรยายเนื้อหาเชิงพรรณนา ผลการวิจัยพบว่า การไถพรวนดินเป็นกระบวนการหลักที่ เกษตรกรปฏิบัติเหมือนกัน มีต้นทุนเฉลี่ย 1,296.55 บาท/ไร่ สำหรับกระบวนการระเบิดดินที่เหมาะสมการปลูกสับปะรด มี 2 รูปแบบ 1) การใช้รีเปอร์แบบ 2 ขา ระยะห่างขา 50 เซนติเมตร จำนวน 4 ครั้ง ตามแนวแกน X และแกน Y ที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร เหมาะสมกับพื้นที่ลาดชันมีชั้นหินอยู่ใต้ดิน ซึ่งมีต้นทุนสูงกว่ากระบวนการไถแบบเดิม 901.15 บาท/ไร่ 2) การใช้ รีเปอร์แบบ 3 ขา (ระยะห่างขา 20 เซนติเมตร) จำนวน 2 ครั้ง ตามแนวแกน X และแกน Y ระดับความลึก 50 เซนติเมตร เหมาะสมกับพื้นที่ไม่ลาดชันมีชั้นหินอยู่ใต้ดินเล็กน้อย ซึ่งมีต้นทุนสูงกว่ากระบวนการไถแบบเดิม 367.82 บาท/ไร่ ด้านประสิทธิภาพ พบว่าสามารถลดต้นทุนการกำจัดวัชพืช การบำรุงผลผลิต การให้น้ำแปลงปลูก เฉลี่ยไร่ละ 1,100 บาท/ 1 รอบการผลิต เพิ่มแหล่ง เก็บสะสมน้ำใต้ดิน สร้างระบบรากที่สมดุล ลดการใช้แรงงานทักษะ เพิ่มรายได้ ลดการใช้สารเคมี และเพิ่มน้ำในกาบใบ

คำสำคัญ: การเตรียมดิน ดินดาน ราชบุรี รูปแบบการระเบิดดิน สับปะรดบ้านคา

Abstract

Hard soil has a soil texture that is compacted parallel to the soil surface, with a depth that varies from area to area, affecting plant growth and yield. This research aimed to study the process and development of the innovation of subsoiler for pineapple planting in Ban Ka Subdistrict by using the process of participatory action research (PAR) and demonstration field. The sample group of 100 stakeholders was selected by purposive sampling methods. The data were collected by using questionnaires and participatory activities. The statistics used for data analysis were frequency, percentage, mean, and descriptive content. The results showed that tillage was the main process that all farmers implemented, but the tillage tools were different, with an average cost per rai of 2,400 - 3,889.65 baht and an average total area of 1,296.55 baht/rai. The subsoiler innovations for pineapple planting in Ban Kha Subdistrict consisted of 2 models: 1) Using a 2-legged ripper (leg spacing of 50 centimeters) 4 times along the X and Y axes at a depth of 50 centimeters. This model was suitable for steep areas with a layer of rocks underground. The cost was 901.15 baht/rai higher than the traditional tilling process. 2) Using a 3-legged ripper (leg spacing of 20 centimeters) 2 times along the X and Y axes at a depth of 50 centimeters. This model was suitable for areas with a gentle slope and a small layer of rocks underground. The cost was 367.82 baht/rai higher than the traditional tilling process. In terms of efficiency, it was found that costs

¹ สาขาวิชาการตลาด คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150

² สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะวิทยาลัยมวยไทยศึกษาและการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150

³ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150

¹ Fields of Department of Marketing, Faculty of Management Science, Muban Chom Bueng Rajabhat University, Ratchaburi 70150

² Fields of Department of Thai Traditional Medicine, Faculty of College of Muaythai Study and Thai Traditional Medicine, Muban Chom Bueng Rajabhat University, Ratchaburi 70150

³ Faculty of Management Science, Muban Chom Bueng Rajabhat University, Ratchaburi 70150

* Corresponding author: Maisay24@gmail.com

of various processes could be reduced, including weed control processes, yield maintenance, and plot watering processes by an average of 1,100 baht/rai/1 production cycle. The models increased underground water storage, balanced the root system, reduced the skilled workers, increased income, reduced chemical substance utilization, and increased water retention between the leaves.

Keywords: soil preparation, hard soil, Ratchaburi, soil blasting pattern, Ban Kha pineapple

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิต และส่งออกผลิตภัณฑ์แปรรูปสับปะรดกระป๋องเป็นอันดับ 1 ของโลก โดยมีมูลค่าการส่งออกมากกว่าสองหมื่นล้านบาท ซึ่งตลาดส่งออกสำคัญ ได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และตะวันออกกลาง (Changeraja et al., 2019) จากการรายงานของ Ratchaburi Provincial Agriculture (2023) เปิดเผยถึงสถานการณ์ เมื่อปี พ.ศ. 2566 เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ ภาวะภัยแล้ง และฝนทิ้งช่วง ทำให้ผลผลิตออกสู่ตลาดน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของโรงงานแปรรูป และตลาดต่างประเทศ โดยพบว่า การส่งออกสับปะรด และผลิตภัณฑ์ของไทยในปี พ.ศ. 2566 ลดลงจากปี พ.ศ. 2565 ทั้งปริมาณ และมูลค่า โดยปี พ.ศ. 2566 ส่งออกเป็นสับปะรดกระป๋องมากที่สุด ปริมาณ 281,300 ตัน ลดลงจากปี พ.ศ. 2565 ร้อยละ 28.48 รองลงมาเป็นการส่งออกน้ำสับปะรด 37,847 ตัน ลดลงจาก 64,662 ในปี พ.ศ. 2565 หรือลดจรร้อยละ 41.47 และการส่งออกสับปะรดผลสด 37,148 ตัน เพิ่มขึ้นจาก 33,848 ในปี พ.ศ. 2565 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.75 โดยภาคตะวันตกเป็นแหล่งเพาะปลูกสับปะรดที่สำคัญของประเทศ ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี เพชรบุรี และกาญจนบุรี โดยจังหวัดราชบุรีมีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 38,262 ไร่ ลดลง 843 ไร่ หรือร้อยละ 2.16 ผลผลิตรวม 115,564 ตัน ลดลง 6,891 ตัน หรือร้อยละ 5.63 ผลผลิตเฉลี่ย 3,020 กิโลกรัมต่อไร่ ลดลง 111 กิโลกรัม หรือร้อยละ 3.55 จากการศึกษาของ Sribunkhum et al. (2021) พบว่า การใช้สารเคมีทางการเกษตรในการกำจัดวัชพืชในปริมาณมากทำให้เกิดมลพิษทางน้ำและมลพิษทางดิน ส่งผลกระทบต่อผลผลิตลดลงได้จากการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ พบว่า ประเทศไทยมีแนวโน้มการเกิดชั้นดานมากถึง 27,672,394 ไร่ ครอบคลุมพื้นที่ถึง 52 จังหวัด ความรุนแรงของสภาพปัญหาดินดานก่อให้เกิดความเสี่ยงของดินที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตร และระบบเศรษฐกิจของประเทศ (Wichian and Leknoi, 2022) โดยปัญหาสิ่งแวดล้อมส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ ราคาสินค้าเกษตร นโยบายภาครัฐภัยแล้ง การใช้สารเคมีเพื่อเร่งผลผลิตทางการเกษตรส่งผลให้มีการใช้สารเคมีในการกำจัดวัชพืชมากขึ้น เกิดมลพิษทางด้านน้ำ ทางดิน จึงส่งผลให้ผลผลิต และรายได้ของเกษตรกรลดลง (Sribunkhum et al., 2021)

สำหรับการปลูกสับปะรดของจังหวัดราชบุรี มีพื้นที่ปลูกทั้งหมด 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอบ้านคา อำเภอสวนผึ้ง อำเภอปากท่อ และอำเภोजอมบึง โดยอำเภอบ้านคา มีพื้นที่ปลูกสับปะรดมากที่สุด จำนวน 83,200 ไร่ มีครัวเรือนที่ปลูกสับปะรด จำนวน 2,195 ครัวเรือน และส่วนใหญ่ปลูกเพื่อขายเป็นผลสด ไม่นิยมปลูกเพื่อส่งโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ (Pokaisawan and Jawaut, 2022) จากต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น ปัญหาดินดาน การปลูกขายผลสดให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าปลูกเพื่อส่งโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 20 - 30 จากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตสับปะรดทั้งระบบของกลุ่มเกษตรกรในตำบลบ้านคา พบว่า มีค่าเฉลี่ยต่อไร่ 21,580.52 บาท เกษตรกรมีต้นทุนค่าบำรุงผลผลิตมากที่สุดเฉลี่ยไร่ 6,291.84 บาท คิดเป็น 29.16 % รองลงมาคือค่ากำจัดวัชพืชเฉลี่ยไร่ 4,505.00 บาท คิดเป็น 20.88 % ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด โดยมีผลมาจากการแย่งสารอาหารของวัชพืชที่สะสมได้ดิน (Chotklang and Saikew, 2023)

จากปัญหาและความสำคัญดังกล่าวคณะผู้วิจัยได้เห็นถึงความจำเป็นที่ควรจะมีศึกษาความเหมาะสมในกระบวนการเปิดดินสำหรับปลูกสับปะรดในตำบลบ้านคา อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี เพื่อลดมลพิษทางด้านน้ำ และมลพิษทางดินเนื่องจากปัญหาดินดานเป็นปัญหาที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเกษตรกรจึงเลือกใช้สารเคมีในการฟื้นฟูดินในพื้นที่ของตน จนเกิดการสะสมสารเคมีในดินที่เพิ่มขึ้นกระทั่งทำให้ดินมีความแห้งแข็งและเสื่อมโทรมลงในที่สุด (Wichian and Leknoi, 2022) แต่ด้วยกระบวนการเปิดดินดานที่มีระบบกลไกการทำงานที่ระดับความลึกมากกว่า 50 เซนติเมตร จึงเป็นการตัดวงจรวัชพืชชีวิตของวัชพืชใต้ดินส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดวัชพืช ทำให้ดินแตกร่วนโดยไม่มีการพลิกดินน้ำไหลซึมลงไปเก็บกักในชั้นดินล่าง จุลินทรีย์ทุกชนิดที่มีอยู่ในดินจะเจริญเติบโตดีและที่สำคัญดินสามารถจะเก็บน้ำไว้ได้มาก และน้ำจะถูกนำมาใช้ในยามแห้งแล้ง พืชจะเจริญเติบโตมีชีวิตในช่วงหน้าแล้งได้ (Lertkrai, 2016) รวมถึงยังเป็นหนึ่งในวิสัยทัศน์ของแผนพัฒนาด้านสับปะรด พ.ศ. 2566 - 2570 ที่จะสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจจากสับปะรดอย่างยั่งยืนโดยการพัฒนาเกษตรกร สถาบันเกษตรกร และการบริหารจัดการระบบนิเวศสับปะรดที่มีคุณภาพ ทันสมัย และมาตรฐานการจัดการที่ยั่งยืน โดยมุ่งเน้นส่งเสริม สนับสนุนการพัฒนาสับปะรดไทยด้วยองค์ความรู้ วิชาการ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ปรับระบบการบริหารจัดการดินน้ำ และการจัดการตามแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก (Ratchaburi Provincial Agriculture, 2023)

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Method Research) ในการเก็บรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ โดยมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษากระบวนการปลูกสับปะรดในพื้นที่ตำบลบ้านคา ซึ่งจะให้ได้พฤติกรรมเชิงต้นทุน และปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการพัฒนานวัตกรรมการระเบิดดินสำหรับปลูกสับปะรด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) สืบค้นข้อมูลจากเอกสารในมิติต่าง ๆ ประกอบด้วย เอกสารทางวิชาการ รายงานการวิจัย หนังสือ บทความ และแหล่งข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตเพื่อให้ทราบถึงสภาพบริบทเบื้องต้น

2) ทำการวิเคราะห์กระบวนการปลูกสับปะรดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยรวมของพื้นที่ และค่าเฉลี่ยรวมของแต่ละรายการ โดยการประชุมกลุ่มย่อย จากนั้นทำการเก็บข้อมูลแบบเจาะจงจากเกษตรกรแปลงใหญ่ในตำบลบ้านคา และกลุ่มผู้รู้เกี่ยวกับการเตรียมดิน และการคิดต้นทุน จำนวน 50 คน

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนากระบวนการระเบิดดินสำหรับปลูกสับปะรดในพื้นที่ตำบลบ้านคา โดยสร้างกระบวนการเรียนรู้ผ่านแปลงสาธิต จำนวน 2 รูปแบบ ทำการเปรียบเทียบ วิเคราะห์ประสิทธิภาพ และถ่ายทอดองค์ความรู้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) นำกรอบแนวคิดที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาสร้างกระบวนการเรียนรู้ผ่านแปลงสาธิต จำนวน 2 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1 การลากริปเปอร์แบบ 2 ขา ระยะห่างขา 50 เซนติเมตร ติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ที่มีกำลังตั้งแต่ 81 แรงม้าขึ้นไป จำนวน 4 ครั้ง ตามแนวแกน X หรือตามแนวความยาวของพื้นที่ และแกน Y หรือตามแนวความกว้างของพื้นที่ ระดับความลึก 50 เซนติเมตร

รูปแบบที่ 2 การลากริปเปอร์แบบ 3 ขา ระยะห่างขา 20 เซนติเมตร ติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ที่มีกำลังตั้งแต่ 81 แรงม้าขึ้นไป จำนวน 2 ครั้ง ตามแนวแกน X หรือตามแนวความยาวของพื้นที่ และแกน Y หรือตามแนวความกว้างของพื้นที่ ระดับความลึก 50 เซนติเมตร

2) การสร้างกระบวนการเรียนรู้ผ่านแปลงสาธิต จำนวน 2 พื้นที่ รวมทั้งสิ้น 30 ไร่

- พื้นที่ลาดชันสูงมีปัญหาเกี่ยวกับการชะล้างพังทลายของหน้าดิน รวมถึงมีชั้นหินอยู่ใต้ดิน จำนวน 15 ไร่

- พื้นที่ไม่ลาดชันไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการชะล้างพังทลายของหน้าดินรวมถึงมีชั้นหินอยู่ใต้ดินเล็กน้อย จำนวน 15 ไร่

ขั้นตอนที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการระเบิดดินจากการค้นหาข้อเท็จจริงผ่านการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และการอธิบายปรากฏการณ์สภาพการณ์ที่ปรากฏจริงในปัจจุบัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- เชิงปริมาณ เช่น การกำจัดวัชพืช การบำรุงผลผลิต การให้น้ำแปลงปลูก แรงงาน รายได้ การใช้ปุ๋ยเคมี

- เชิงคุณภาพ เช่น แหล่งเก็บสะสมน้ำใต้ดิน ระบบราก การเพิ่มน้ำในกาบใบ

ขั้นตอนที่ 4 การจัดการความรู้ด้านกระบวนการระเบิดดินสำหรับเกษตรกร โดยนำเอาข้อค้นพบที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้ผ่านแปลงสาธิต จำนวน 2 พื้นที่ มาอบรมให้ความรู้กับเกษตรกรผู้สนใจเรียนรู้เรื่องการระเบิดดินในขั้นตอนที่ 1 หรือผู้สนใจทั่วไป จำนวน 50 คน

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษากระบวนการปลูกสับปะรดในพื้นที่ตำบลบ้านคา ซึ่งจะให้ได้พฤติกรรมเชิงต้นทุนและปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการพัฒนานวัตกรรมการระเบิดดินสำหรับปลูกสับปะรด โดยมีรายละเอียด ดังนี้

จากการวิเคราะห์ พบว่า เกษตรกรมีต้นทุนจากพฤติกรรมหลักที่ปฏิบัติเหมือน ๆ กัน จำนวน 10 ขั้นตอน มีค่าเฉลี่ยต่อการเพาะปลูก 1 ไร่ 21,580.52 บาท/ 1 รอบการผลิต (3.30 บาท/ตัน) โดยมีรายละเอียดดังนี้ 1) ค่าจ้างหักหน่อพันธุ์ เฉลี่ยไร่ละ 2,553.33 บาท (0.39 บาท/ตัน) 2) ค่าปลูกหน่อพันธุ์ เฉลี่ยไร่ละ 1,978.22 บาท (0.30 บาท/ตัน) 3) ค่าไถพรวนดิน เฉลี่ยไร่ละ 1,296.55 บาท (0.20 บาท/ตัน) 4) ค่าปั้นต้นตอ เฉลี่ยไร่ละ 701.15 บาท (0.11 บาท/ตัน) 5) น้ำยากันเน่า เฉลี่ยไร่ละ 417.70 บาท (0.06 บาท/ตัน) 6) ค่ากำจัดวัชพืช เฉลี่ยไร่ละ 4,505.00 บาท (0.69 บาท/ตัน) 7) ค่าบำรุงผลผลิต เฉลี่ยไร่ละ 6,291.84 บาท (0.96 บาท/ตัน) 8) ดูแลผลผลิตแสงแดด เฉลี่ยไร่ละ 717.59 บาท (0.11 บาท/ตัน) 9) การเก็บผลผลิต เฉลี่ยไร่ละ 2,131.78 บาท (0.33 บาท/ตัน) และ 10) การให้น้ำแปลงปลูก เฉลี่ยไร่ละ 987.36 บาท (0.15 บาท/ตัน) ดังแสดงใน Table 1

Table 1 The main behaviors that farmers do or practice are the same. (N = 50)

The main behaviors that farmers do or practice are the same		The costs of pineapple planting (baht/rai.)	Average / 1 Pineapple shoots
1	Pineapple shoots	2,553.33	0.39
2	Pineapple planting	1,978.22	0.30
3	Preparing raw materials and soil	1,296.55	0.20
4	Spin old rootstocks Pineapple /weeds	701.15	0.11
5	Control of root and stem rot Pineapple	417.70	0.06
6	Weeding activities	4,505.00	0.69
7	Fertilizing activities	6,291.84	0.96
8	Pineapple covering activities (are for protecting the skin of the pineapple fruit to not be burned by the sun)	717.59	0.11
9	Harvesting activities	2,131.78	0.33
10	Irrigation and drainage	987.36	0.15
Together (1-10)		21,580.52	3.30

สอดคล้องกับการศึกษาของ Pokaisawan and Jawaut (2022) พบว่า กระบวนการผลิตสับปะรดบ้านคาตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ ได้แก่ 1) การเตรียมวัสดุปลูกโดยการเตรียมพื้นที่ปลูกและการเตรียมวัสดุปลูก 2) ฤดูปลูก 3) ระยะปลูกโดยใช้ระบบแถวคู่ 4) การใส่ปุ๋ย จำนวน 4 ครั้ง คือ (1) ก่อนปลูก (2) หลังปลูก 1-2 เดือน (3) หลังปลูก 4-6 เดือน และ (4) หลังบังคับดอกประมาณ 3 เดือน 5) การให้น้ำ 6) การบังคับดอกโดยใช้เอทธิพอนหรือแคลเซียมคาร์ไบด์ 7) การเก็บเกี่ยว และ 8) การไว้ต่อ สอดคล้องกับการศึกษาของ Neerapattanakun (2021) พบว่า การนำต้นทุนที่เกิดขึ้นมาจำแนกกิจกรรมใดก่อให้เกิดมูลค่า และไม่ก่อให้เกิดมูลค่า เป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาวิธีการลดต้นทุนจากการปรับลดกิจกรรมที่ก่อให้เกิดความสิ้นเปลืองออก เพื่อให้ต้นทุนที่เกิดขึ้นมีความคุ้มค่า และช่วยให้ผลสับปะรดมีคุณภาพดีขึ้นจากการที่ต้นทุนทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนาวัฏจักรการระเบิดดินสำหรับปลูกสับปะรดในพื้นที่ตำบลบ้านคา โดยสร้างกระบวนการเรียนรู้ผ่านแปลงสาธิต จำนวน 2 รูปแบบ แล้วทำการเปรียบเทียบ วิเคราะห์ประสิทธิภาพนวัตกรรม และถ่ายทอดองค์ความรู้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ด้วยพื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลบ้านคา อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี มีลักษณะดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทราย ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ปฏิกิริยาดินโดยมากจะเป็นกรดจนถึงเป็นกลาง มีการชะล้างพังทลายของหน้าดินรวมถึงมีชั้นหินอยู่ใต้ดิน (Ratchaburi Provincial Agriculture, 2023) ดังนั้น ในขั้นตอนการพัฒนากระบวนการระเบิดดินจึงได้นำกรอบแนวคิดที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาสร้างกระบวนการเรียนรู้ผ่านแปลงสาธิต จำนวน 2 รูปแบบ ดังนี้

1. รูปแบบที่ 1 การลากริปเปอร์แบบ 2 ขา ที่ระยะห่างขา 50 เซนติเมตร ติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ที่มีกำลังตั้งแต่ 81 แรงม้าขึ้นไป จำนวน 4 ครั้ง ตามแนวแกน X หรือตามแนวความยาวของพื้นที่และแกน Y หรือตามแนวความกว้างของพื้นที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร กับพื้นที่ลาดชันสูงและปัญหาเกี่ยวกับการชะล้างพังทลายของหน้าดิน รวมถึงมีชั้นหินอยู่ใต้ดิน ทั้งนี้ก็เพื่อให้ชั้นดินดานแตกร้าวอย่างสม่ำเสมอทั่วแปลงปลูก ตัดกันเป็นตารางหมากรุกขนาด 25 เซนติเมตร แต่ด้วยลักษณะพื้นที่ กลไกการทำงานที่ระดับความลึกมากกว่าส่งผลให้ใช้ความถี่ในการไถพรวนมากกว่า เกิดต้นทุนสูงกว่าการไถพรวนแบบทั่วไปและการลากริปเปอร์แบบ 3 ขา อยู่ที่ 2,703.45 และ 1,600 บาท/ไร่/พื้นที่ แต่การระเบิดดินดานจำเป็นต้องจัดทำทุก ๆ 3 ปี ดังนั้นใน 1 ปี มีต้นทุนเพิ่มขึ้น 901.15 และ 533.33 บาท/ไร่/พื้นที่ ตามลำดับ

2. รูปแบบที่ 2 การลากริปเปอร์แบบ 3 ขา ที่ระยะห่างขา 20 เซนติเมตร ติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ที่มีกำลังตั้งแต่ 81 แรงม้าขึ้นไป จำนวน 2 ครั้ง ตามแนวแกน X หรือตามแนวความยาวของพื้นที่และแกน Y หรือตามแนวความกว้างของพื้นที่ ระดับความลึก 50 เซนติเมตร กับพื้นที่ไม่ลาดชัน ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการชะล้างพังทลายของหน้าดินรวมถึงมีชั้นหินอยู่ใต้ดินเล็กน้อย ทั้งนี้ก็เพื่อให้ชั้นดินดานแตกร้าวอย่างสม่ำเสมอทั่วแปลงปลูก ตัดกันเป็นตารางหมากรุกขนาดขนาด 20

เซนติเมตร แต่ด้วยลักษณะพื้นที่ ส่งผลให้ใช้ความถี่ในการพรวนน้อยกว่า ส่งผลเกิดต้นทุนต่ำกว่าการลากริเปอร์แบบ 2 ขา 1,600 บาท/ไร่/พื้นที่ เกิดต้นทุนสูงกว่าการไถพรวนแบบทั่วไป 1,103.45 บาท/ไร่/พื้นที่ แต่การระเบิดดินดานจำเป็นต้องจัดทำทุก ๆ 3 ปี ดังนั้นใน 1 ปี มีต้นทุนเพิ่มขึ้น 533.33 และ 367.82 บาท/ไร่/พื้นที่ ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Details and costs of preparing raw materials and soil

Items	The costs of pineapple planting (baht/rai.)			Difference from the general format in 1 year		Difference from the general format in 3 year	
	general pattern	Using a 2-legged ripper	Using a 3-legged ripper	Using a 2-legged ripper	Using a 3-legged ripper	Using a 2-legged ripper	Using a 3-legged ripper
- Total cost	1,296.55	4,000.00	2,400.00	2,703.45	1,600.00	901.15	533.33
- At a depth (centimeter)	30.00	50.00	40.00	20.00	10.00	20.00	20.00
- Frequency (times)	1.00	4.00	2.00	3.00	1.00	1.00	1.00

ซึ่งสอดคล้องกับ Wichian and Leknoi (2022) พบว่า ดินดาน ถือเป็นสภาพปัญหาที่สำคัญในแง่ของปัญหาทรัพยากรดินเสื่อมโทรมในพื้นที่เกษตรกรรม ข้อมูลจากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยกรมพัฒนาที่ดินพบว่าในประเทศไทยพบพื้นที่ที่มีแนวโน้มของการเกิดชั้นดานในดินมากถึง 27,672,394 ไร่ ครอบคลุมถึง 52 จังหวัด สอดคล้องกับ Khaehanchanpong et al. (2017) พบว่า การไถระเบิดดินดาน คือ การทำให้ชั้นดินแตกร่วนโดยไม่มีการพลิกดิน คุณภาพของดินจะขึ้นอยู่กับความลึก ระยะห่างระหว่างขา มุมของขา และความชื้นในดิน ชนิดของขาไถระเบิดดินดานมีหลายชนิด และลักษณะการแตกตัวของดิน การไถระเบิดดินดานจะทำการไถ 2 แนวตัดกันเป็นตารางหมากรุก เนื่องจากการไถระเบิดดินดานเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย จึงไม่จำเป็นต้องไถระเบิดทุกปีอาจไถ 3-5 ปีต่อครั้ง ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน สอดคล้องกับ Horticultural Research Institute (2017) พบว่า เนื่องจากรอบของการปลูกสับปะรดใช้เวลา 4 - 5 ปี จึงต้องมีการเตรียมดินอย่างดี เพื่อให้ต้นสับปะรดมีการเจริญเติบโตสม่ำเสมอ ให้ผลผลิตสูง พื้นที่ ๆ เคยปลูกสับปะรดให้ไถสับไถและต้น (กรณีที่ไม่มีการไถระเบิดดินดาน) ทิ้งไว้ประมาณ 2 - 3 เดือน แล้วไถกลับอีกครั้ง ในพื้นที่ ๆ มีดินดานอยู่ใต้ผิวดิน ให้ไถทำลายดินดาน และควรมีการวิเคราะห์ดินก่อนปลูกและปฏิบัติตามคำแนะนำโดยเฉพาะการจัดการอินทรีย์วัตถุในดิน สอดคล้องกับ Netsangsee (2022) พบว่า การบริหารจัดการพื้นที่เพาะปลูกให้เหมาะสมกับคุณภาพของดิน การคาดการณ์ความต้องการการล่งหน้า การซื้อปัจจัยการผลิตที่มีคุณภาพ การค้นหาวิธีการประหยัดต้นทุน และการมองหาวิธีการใหม่เพื่อปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น จะช่วยพัฒนาและเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันได้

ขั้นตอนที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกระบวนการระเบิดดินจากการค้นหาข้อเท็จจริงผ่านการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และการอธิบายปรากฏการณ์สภาพการณ์ที่ปรากฏในปัจจุบัน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

การขาดน้ำของสับปะรดในช่วงต่าง ๆ หลังปลูกหรือตัดแต่งหน่อพันธุ์จนถึงเก็บเกี่ยว 6 ระยะ ได้แก่ ระยะการเจริญเติบโต ช่วงแรกการเจริญเติบโตเต็มที่ บังคับผล พัฒนาผล ขยายขนาดผลและก่อนเก็บเกี่ยว พบว่า การขาดน้ำระยะการเจริญเติบโต ช่วงแรกทำให้สับปะรดมีความยาวใบน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 2 ฤดูการผลิต ส่วนปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ในใบที่เก็บตัวอย่างก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตไม่มีความแตกต่างกัน สำหรับคุณภาพผลผลิต พบว่า การขาดน้ำระยะก่อนเก็บเกี่ยวทำให้หน่อกผลต่ำที่สุด มีค่า 1.23 กิโลกรัม/ผล ของฤดูการผลิตที่ 1 และ 0.52 กิโลกรัม/ผล ของฤดูการผลิตที่ 2 ขณะที่คุณภาพด้านรสชาติ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) สูงกว่าการขาดน้ำที่ระยะอื่น ๆ นอกจากนี้ การขาดน้ำในระยะที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบทำให้สับปะรดมีคุณภาพผลผลิตดีต่อการขาดน้ำในระยะการพัฒนาดอก ขณะที่การขาดน้ำระยะบังคับผลไม่ทำให้ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตของสับปะรดลดลง (Vorapitirangsee et al., 2019) แต่ด้วยกระบวนการระเบิดดินดานที่มีระบบกลไกการทำงานในการตัดวงจักรชีวิตของวัชพืชใต้ดินส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดวัชพืช ทำให้ดินแตกร่วนโดยไม่มีการพลิกดิน น้ำไหลซึมลงไปเก็บกักในชั้นดินล่าง จุลินทรีย์ทุกชนิดที่มีอยู่ในดินจะเจริญเติบโตดีและที่สำคัญดินก็จะเก็บน้ำไว้ได้มาก และน้ำจะถูกนำมาใช้ในยามแห้งแล้ง พืชจะเจริญเติบโตมีชีวิตในช่วงหน้าแล้งได้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. เชิงปริมาณ

1.1 เชิงปริมาณ เช่น ต้นทุนการกำจัดวัชพืช การบำรุงผลผลิต การให้น้ำแปลงปลูก แรงงาน รายได้ การใช้สารเคมี

เนื่องจากโดยทั่วไประบบรากแรกของต้นพันธุ์สับปะรดเริ่มเจริญเติบโต และหาอาหารหลังจากลงพื้นที่เพาะปลูกเฉลี่ย 1 - 2 เดือน โดยในขั้นตอนดังกล่าวเกษตรกรจะดำเนินการฉีดพ่นบำรุงผลผลิต จำนวน 1 ครั้ง แต่ด้วยปัญหาการสะสมของต้นวัชพืชใต้ดินที่ระดับความลึก 30 - 50 เซนติเมตร ส่งผลให้ต้นพันธุ์สับปะรดไม่สามารถชอนไชลงใต้ลึกเพื่อหาอาหาร ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่าที่ควรเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวเกษตรกร จึงมีการใช้สารเคมีฉีดพ่นกำจัดวัชพืช จำนวน 1 ครั้ง ในขณะที่กระบวนการระเบิดดินแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ด้วยระบบกลไกการทำงานที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับที่มีการสะสมของระบบรากของวัชพืชใต้ดิน จึงเป็นการตัดวงจรวัฏจักรชีวิตของวัชพืชใต้ดินส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดวัชพืชได้ ดังแสดงใน Table 3 และ Figure 1

โดยปกติทั่วไปเกษตรกร 1 - 2 คน จะสามารถปลูกต้นพันธุ์ได้ 1,000 ถึง 1,500 ต้น/วันหรือพื้นที่ ใน 1 ไร่/ 8,000 ต้น จะใช้เวลา 5 - 8 วัน โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของหน้าดินเป็นปัจจัยหลัก แต่กระบวนการระเบิดดินแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ทำให้ดินแตกร่วน ดังนั้น เกษตรกร 1 คนจะสามารถปลูกต้นพันธุ์ได้ 1,500 - 2,000 ต้น/วันหรือพื้นที่ ใน 1 ไร่/ 8,000 ต้น จะใช้เวลา 3 - 5 วัน ทำให้ลดเวลาในขั้นตอนการปลูกได้ 2 - 3 วัน มีรายได้เพิ่มขึ้นจากการลดวันทำงาน และลดการใช้ทักษะในการทำงาน ดังแสดงใน Table 3 และ Figure 2

Table 3 The subsoiler process for pineapple planting in Ban Kha subdistrict

List	General Pattern (15 rai)	Pattern 1 Two-tine ripper operation (15 rai)	Pattern 2 Three-tine ripper operation (15 rai)
1. weed control process, yield maintenance and plot watering processes	2,200 baht/rai/ 1 production cycle	1,200 baht/rai/ 1 production cycle	1,000 baht/rai/ 1 production cycle
2. reduce the skilled workers, increasing income	1,000 - 1,500 baht/rai	1,500 - 2,500 baht/rai	1,500 - 2,500 baht/rai
3. reduce chemical substance utilization	1,100 Baht/time	340 Baht/time	340 Baht/time



a)



b)



c)

Figure 1 The subsoiler process for pineapple planting in Ban Kha subdistrict in terms weed control process, yield maintenance and plot watering processes and reduce chemical substance utilization. a) General Pattern, b) Pattern 1 Using a 2-legged ripper, c) Pattern 2 Using a 3-legged ripper.



Figure 2 The subsoiler process for pineapple planting in Ban Kha subdistrict, in terms of efficiency, reduce the skilled workers and increasing income. a) General Pattern, b) Pattern 1 Using a 2-legged ripper, c) Pattern 2 Using a 3-legged ripper.

โดยปกติทั่วไปในการฉีดพ่นสารเคมีในการกำจัดวัชพืช จะมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 1,100 บาท/ครั้ง (รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด) จำนวนความถี่ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการฉีดพ่นจะขึ้นอยู่กับปริมาณการสะสมของวัชพืชในแปลงปลูก แต่ด้วยกระบวนการระเบิดดินแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ด้วยระบบกลไกการทำงานที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร จึงเป็นการตัดวงวัฏจักรชีวิตของวัชพืชได้ดินส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดวัชพืช และเพิ่มทางเลือกในการกำจัดวัชพืชจากการใช้แรงงานคนที่สามารถถอนออกมาได้ทั้งราก 1 คนสามารถทำงานได้ 1 - 1.5 ไร่/วัน หรือ 340 – 510 บาท/วัน สอดคล้องกับ Wichian and Leknoi (2022) พบว่า ดินดานไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เกษตรกรจึงเลือกใช้สารเคมีในการฟื้นฟูดินในพื้นที่ของตน จนเกิดการสะสมสารเคมีในดินที่เพิ่มขึ้นกระทั่งทำให้ดินมีความแห้งแข็ง และเสื่อมโทรมลงในที่สุด ดังแสดงใน Table 2 และ Figure 3

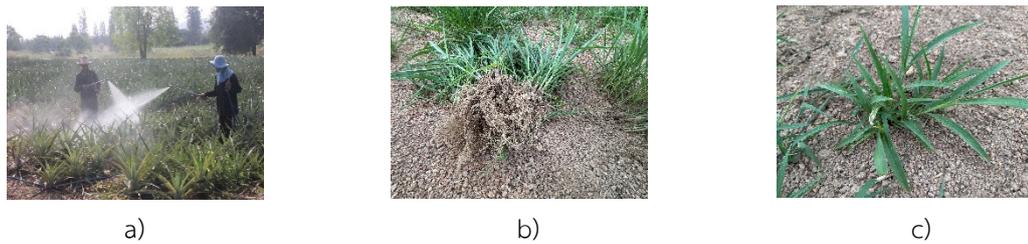


Figure 3 The subsoiler process for pineapple planting in Ban Kha subdistrict, in terms of efficiency, reduce chemical substance utilization. a) General Pattern, b) Pattern 1 Using a 2-legged ripper, c) Pattern 2 Using a 3-legged ripper.

1.2 เชิงคุณภาพ เช่น แหล่งเก็บสะสมน้ำใต้ดิน ระบบราก การเพิ่มน้ำในกาบใบ

สำหรับการเกิดชั้นดินดานในพื้นที่แปลงเพาะปลูกส่วนใหญ่มาจากน้ำหนักรถไถพรวนดิน การไถพรวนที่ระดับความลึกเดิม และการปลูกพืชชนิดเดียวกันมาตลอด เกษตรกรไม่ได้คำนึงถึงเรื่องลักษณะทางกายภาพของดิน โดยเฉพาะปัญหาดินดาน เพราะเป็นสิ่งที่ไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยตาเปล่า เวลาฝนตกลงมาถ้าเป็นพื้นที่ราบ น้ำจะเกิดการแช่ท่วมขังอยู่ยาวนาน เนื่องจากน้ำไม่สามารถซึมลงไปดินชั้นล่างได้ แต่ถ้าเป็นพื้นที่ลาดเอียงเวลาฝนตกน้ำจะไม่ซึมลงไปดินชั้นล่าง แต่จะไหลบ่าบนผิวดิน ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายบนผิวดิน แต่ด้วยกระบวนการระเบิดดินแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ด้วยระบบกลไกการทำงานที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร จะทำให้ดินแตก่วนโดยไม่มีการพลิกดิน ดินสามารถระบายน้ำและอากาศได้ดี มีการเก็บสะสมน้ำไว้ใช้เมื่อฝนแล้ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญให้ต้นพันธุ์สู้สับปรดเติบโตดี ดังแสดงใน Figure 4

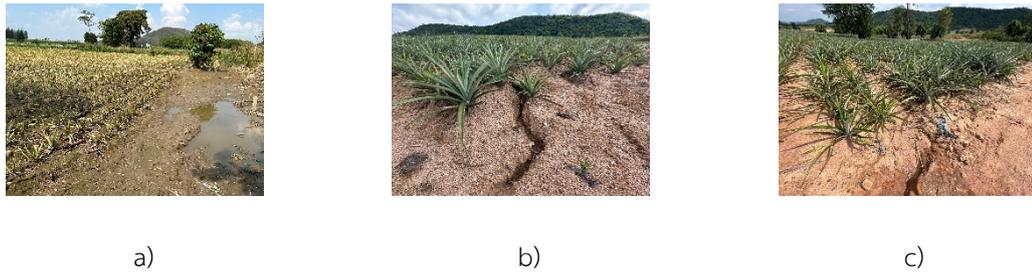


Figure 4 The subsoiler process for pineapple planting in Ban Kha subdistrict In terms of increasing underground water storage balance the root system. a) General Pattern, b) Pattern 1 Using a 2-legged ripper, c) Pattern 2 Using a 3-legged ripper.

จากปัญหาของดินดานทำให้น้ำดินแข็งหน้าดินที่มีความสมบูรณ์ที่ไม่สม่ำเสมอ จะทำให้ทิศทางของรากไปตามพื้นที่ที่มีธาตุอาหาร และน้ำ ซึ่งจะส่งผลให้ต้นพันธุ์ล้มง่ายอันเนื่องมาจากระบบรากที่ไม่สมดุล อาจไปทางซ้ายหรือขวา ตลอดจนขึ้นบนหรือลงตามแต่ความสมบูรณ์ของหน้าดิน แต่กระบวนการระเบิดดินแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ทำให้ดินแตกร่วน ทำให้เนื้อดินโปร่ง รากพืชยังได้ลึกพืชเจริญเติบโตได้ดี มีแหล่งเก็บสะสมน้ำไว้ใช้เมื่อฝนแล้ง ทำให้เกิดระบบรากแรกที่มีความสมดุล ต้นพันธุ์จึงไม่ล้มง่าย และไม่เกิดความเสียหาย ดังแสดงใน Figure 5

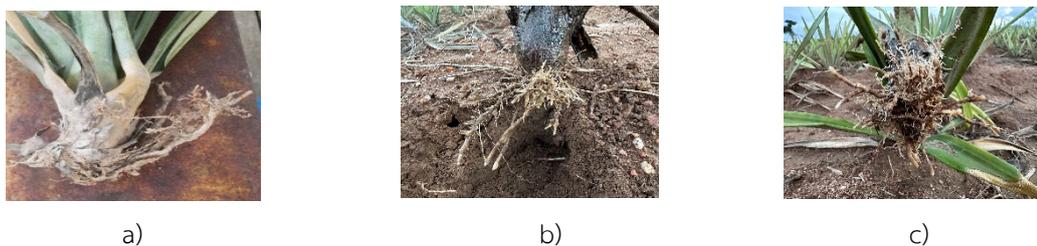


Figure 5 The subsoiler process for pineapple planting in Ban Kha subdistrict, in terms of balance the roots stem. a) General Pattern, b) Pattern 1 Using a 2-legged ripper, c) Pattern 2 Using a 3-legged ripper.

จากปัญหาของความไม่สมบูรณ์ของต้นพันธุ์ของสับปะรดจากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลขนาดความกว้างของเส้นกลางใบ พบว่า ในแปลงปลูกทั่วไปต้นพันธุ์จะมีขนาดกลางใบโดยเฉลี่ย 5 เซนติเมตร (สุ่มจากใบกลางลำต้น) ในขณะที่กระบวนการระเบิดดินแบบที่ 1 และแบบที่ 2 จะส่งผลให้ต้นพันธุ์มีขนาดกลางใบโดยเฉลี่ย 9 เซนติเมตร ซึ่งทำให้มีเนื้อที่ในการเพิ่มน้ำในกาบใบและเหมาะสมที่จะให้เกษตรกรใส่ปุ๋ยบริเวณกาบใบล่างชิดโคนต้น หรือบริเวณกาบใบล่าง ดังแสดงใน Figure 6

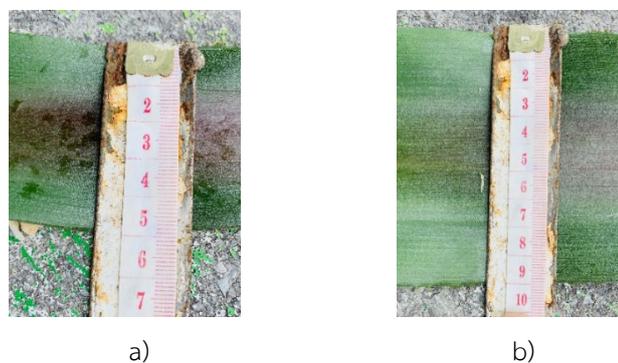


Figure 6 The subsoiler process for pineapple planting in Ban Kha subdistrict, in terms of increasing water retention between the leaves. a) General Pattern, b) Pattern subsoiler process.

สรุปผลการศึกษา

การไถพรวนดินเป็นกระบวนการหลักที่เกษตรกรปฏิบัติเหมือนกันในทุกคนในการปลูกสับปะรดในพื้นที่ตำบลบ้านคา โดยมีต้นทุนค่าไถพรวนดิน เฉลี่ย 1,296.55 บาท/ไร่ สำหรับกระบวนการระเบิดดินที่เหมาะสมการปลูกสับปะรด มี 2 รูปแบบ คือ 1) การใช้รีเปอร์แบบ 2 ขา เหมาะสมกับพื้นที่ลาดชันที่มีชั้นหินอยู่ใต้ดิน โดยพบว่า มีต้นทุนสูงกว่ากระบวนการไถแบบเดิม เฉลี่ย 901.15 บาท/ไร่ 2) การใช้รีเปอร์แบบ 3 ขา เหมาะสมกับพื้นที่ไม่ลาดชันที่มีชั้นหินอยู่ใต้ดินเล็กน้อย ซึ่งมีต้นทุนสูงกว่ากระบวนการไถแบบเดิม 367.82 บาท/ไร่ ด้านประสิทธิภาพ พบว่า กระบวนการระเบิดดินสามารถลดต้นทุนในขั้นตอนการกำจัดวัชพืช การบำรุงผลผลิต การให้น้ำแปลงปลูกจากการไถพรวนแบบทั่วไป เฉลี่ย 1,100.00 บาท/ไร่ ลดเวลาในการปลูกต้นพันธุ์จากปกติทั่วไป 2.00 - 3.00 วัน ลดการฉีดยาฆ่าเชื้อในการกำจัดวัชพืชในช่วง 1.00 - 3.00 เดือนแรกหลังการเพาะปลูกหน่อพันธุ์ และเพิ่มรายได้จากทำงาน 340.00 - 510.00 บาท/วัน นอกจากนี้ยังช่วยเติมน้ำลงในชั้นบาดาลเพื่อกักเก็บไว้ในช่วงหน้าแล้งช่วยสร้างระบบรากที่สมดุลทำให้ต้นพันธุ์ไม่ล้มง่าย และเพิ่มการกักเก็บน้ำจากกาบใบที่สมบูรณ์ขึ้น

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

การริเริ่มงานวิจัย กำหนดออกแบบการทดลอง การทดสอบเครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล: อัจฉริยา โชติกลาง, วิภาวี จันทศรี. การปฏิบัติกรวิจัยการจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบข้อมูลกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้หรือทฤษฎี: ศุภฤกษ์ สายแก้ว. ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบและไวยากรณ์: อัจฉริยา โชติกลาง, วิภาวี จันทศรี.

เอกสารอ้างอิง

- Changeraja, S., Changjeraja, R., Chomsri, N., KhaoSumeru, Y., & Sritontip, C. (2019). **Efficiency Increasing on Fresh Consumption Pineapple**. MDD GROUP CO., LTD. (in Thai).
- Chotklang, A., & Saikew, S. (2023). **A Study of the Suitability of Subsoiler Process for Pineapple Planting in BanKha Subdistrict, Ban Kha District, Ratchaburi Province**. Research and Development Institute Chombueng Village Rajabhat University. (in Thai).
- Horticultural Research Institute. (2017). **Quality Management in the Supply Chain of Pineapple**. Department of Agriculture. (in Thai).
- Khaehanchanpong, Y., Trykomtong, P., Sukjun, U., & Senanarong A. (2017). Subsoiler attached to medium-size tractor for sugarcane plantation. **Thai Agricultural Research Journal**, 35(1), 91-99. (in Thai).
- Lertkrai, V. (2016). **Subsoiler Process**. Agricultural Land Reform Office. (in Thai).
- Neerapattanakun, D. (2021). The study on costs of pineapple plantation by applying the activity-based costing in Khao Khantong Subdistrict, Sriracha District, Chonburi Province. **Journal Srinakharinwirot Research and Development Journal of Humanities and Social Sciences**, 13(25), 37-48. (in Thai).
- Netsangsee, R. (2022). A model for developing competence and supply chain collaboration to build competitiveness of pineapple farmers in loei province. **Journal of Logistics and Supply Chain College**, 8(2), 112-125. (in Thai).
- Pokaisawan, C., & Jawaut, N. (2022). Cultivation of bankah pineapples based on geographical indications. **Dhonburi Rajabhat University Journal**, 16(2), 213-225. (in Thai).
- Ratchaburi Provincial Agriculture. (2023). **Pineapple Production and Marketing 2/2023**. Ratchaburi Provincial Agriculture Office. (in Thai).
- Sribunkhum, A., Kunta, K., & Arunyawat, S. (2021). Factors affecting the land use change in Lam Dom Yai Subwatershed. **Burapha Science Journal**, 26(3), 1777-1795. (in Thai).
- Vorapitirangsee, V., Jaipin, P., Mameaw, S., Vorapitirangsee, S., & Sritontip C. 2019. Effect of water deficit at various growth stages on quality and yield of pineapple cv. phulae. **Thai Agricultural Research Journal**, 37(3), 265-271. (in Thai).
- Wichian, W., & Leknoi, U. (2022). Lesson learned of using the vetiver grass to solve hard and compact soil for agriculture: case study of villages around the Huaysaicenter, Cha-am District, Phetchaburi. **Journal of MCU Nakhondhat**, 9(11), 30-45. (in Thai).

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงจากวัสดุเศษเหลือทะเลลายปาล์มน้ำมันและเปลือกปู The Producing of High-Quality Organic Fertilizers from Wasted the Empty Palm Fruit Bunch and Crab Shell

จรรตกร รอดอยู่^{1*}, เตชา ดวงนาม¹, รติวรรณ มีทอง¹, วรางคณา เรืองลือ¹
สาคร จันทร์มา¹, สุรียัน ธัญกิจจานุกิจ¹ และอัญธิชา พรมเมืองคุก²
Juntakorn Rodyoo^{1*}, Decha Duangnamon¹, Ratiwan Meethong¹, Warangkana Luanglug¹,
Sakhorn Chanma¹, Suriyan Tunkijjanukij¹ and Aunthicha Phommuangkhuk²
Received date: 20 มิ.ย. 67 Revised date: 22 ม.ค. 68 Accepted date: 24 ม.ค. 68
DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.30.014>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุเศษเหลือทะเลลายปาล์มน้ำมันและเปลือกปูต่อคุณลักษณะทางเคมีในกระบวนการหมัก วิเคราะห์สมบัติทางเคมี และการย่อยสลายสมบูรณ์ โดยการทดสอบการงอกของเมล็ดพืช โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 ตำรับทดลองดังนี้ ตำรับทดลองที่ 1 (T1) ประกอบด้วย ทะลายปาล์มเปล่า : กากสลัดจ์หมัก อัตราส่วน 4 : 6 โดยปริมาตร ตำรับทดลองที่ 2 (T2) ทะลายปาล์มเปล่า : กากสลัดจ์หมัก : กากสลัดจ์สด : เปลือกปูป่น อัตราส่วน 5 : 2 : 2 : 1 โดยปริมาตร และตำรับทดลองที่ 3 (T3) ทะลายปาล์มเปล่า : กากสลัดจ์หมัก : เปลือกปูป่น อัตราส่วน 4 : 4 : 2 โดยปริมาตร ผลการทดลองพบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 มีความเหมาะสมสำหรับผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงมากที่สุด โดยมี ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.12 ค่าการนำไฟฟ้า 3.76 dS/m ความชื้น 17.41 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 23.77 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 13.82 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 11:1 ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด 3.36 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด 1.18 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมทั้งหมดเท่ากับ 2.32 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมทั้งหมด 0.08 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมทั้งหมด 2.07 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมทั้งหมด 0.62 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพและปลอดภัยตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ที่ประกาศไว้โดยกรมวิชาการเกษตร และมีผลทดสอบการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ด้วยการวัดค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืช พบว่า มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้โดยไม่มีความเป็นพิษต่อพืช การประมาณการต้นทุนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่กักการผลิต 1,000 กิโลกรัมต่อวัน มีมูลค่าต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 2.11 บาทต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์ วัสดุเศษเหลือ ทะลายปาล์มน้ำมัน กากสลัดจ์ เปลือกปูสด

Abstract

This research aimed to study the effects of palm oil bunch waste and crab shells on chemical characteristics in the fermentation process, analyze chemical properties, and complete decomposition by seed germination test using a completely randomized design (CRD) with 3 replications. consisted of 3 experimental formulas as follows: Experimental formula 1 (T1) consisted of empty fruit bunch: fermented decanter cake in the ratio of 4:6 by volume; Experimental formula 2 (T2) empty fruit bunch: fermented decanter cake: fresh decanter cake: ground crab shells in the ratio of 5:2:2:1 by volume; and Experimental formula 3 (T3) empty fruit bunch: fermented decanter cake: ground crab shells in the ratio of 4:4:2 by volume. The experimental results found that experimental formula 2 was the most suitable for producing high quality organic fertilizer. It has a pH of 7.12, electrical conductivity of 3.76 dS/m, moisture content 17.41 %, organic matter 23.77 %, organic carbon is 13.82 %, carbon to nitrogen ratio of 11:1, a total nitrogen 3.36 %, total phosphorus 1.18 %, total potassium 2.32 %, total sodium 0.08 %, total calcium 2.07 %, total magnesium 0.62 %. And the amount of heavy metals does not exceed the standard criteria for organic fertilizers that are of quality and safe according

¹ สถานีวิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่งอันดามัน ศูนย์บริหารงานและสนับสนุนวิชาการ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.ระนอง 85120

² ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม 73140

¹ Andaman Coastal Research Station for Development, Academic Administration and Support Center Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Ranong Province 85120

² Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom Province 73140

*Corresponding author: Email: kbcjkd@ku.ac.th

to the Fertilizer Act (No. 2) B.E. 2550 announced by the Department of Agriculture. And the results of the complete decomposition test by measuring the seed germination index found that it was more than 80 percent, which it can be used for agricultural purposes without being toxic to plants. The estimation of the cost of organic fertilizer production at a production capacity of 1,000 kg/day has a production cost value of 2.11 baht/kg.

Keywords: organic fertilizers, wasted, empty fruit bunch, decanter cake, crushed crab shell

คำนำ

การประกอบอาชีพทางการเกษตรของเกษตรกรในปัจจุบันมีต้นทุนการผลิตไม่เหมาะสมกับราคาผลผลิตที่ได้ เกษตรกรประสบกับปัญหาภาวะการขาดทุน เนื่องจากต้นทุนการผลิตที่สูง จากสารเคมี เมล็ดพันธุ์ ที่สำคัญต้นทุนจากการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นหลัก ซึ่งปุ๋ยเคมีจะมีราคาสูงขึ้นในทุกปีเพื่อลดปัจจัยต้นทุนการผลิตจึงคิดหาวิธีการที่จะผลิตปุ๋ยอินทรีย์ทดแทน การใช้ปุ๋ยเคมีเป็นหลัก อีกทั้งการประกอบอาชีพทางการเกษตรของเกษตรกรไทยไม่ว่าจะเป็นทางด้านพืช ปศุสัตว์หรือประมง ล้วนแล้วแต่มีเศษเหลือใช้จากการประกอบอาชีพทั้งสิ้น เช่น เศษเหลือจากการทำสวนปาล์มน้ำมันเมื่อเก็บผลผลิตเข้าโรงงานอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน จะมีเศษเหลือพวก ทะลายเปล่า (empty fruit bunch : EFB) เป็นส่วนของทะลายปาล์มน้ำมันที่สกัดผลออกแล้วประกอบด้วยช่อทะลายปาล์มและก้านทะลายปาล์มมีน้ำหนักเฉลี่ย 17.3 กิโลกรัมของทะลายปาล์มสด ซึ่งทะลายเปล่า (สด) โรงงานไม่นิยมนำมาเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากความชื้นสูง ติดไฟยาก ต้องทำให้แห้งก่อนและเสียค่าใช้จ่ายสูงจึงนิยมขนไปทิ้งเพื่อใช้คลุมดินในสวนปาล์มหรือคลุมรอบโคนต้นปาล์มเพื่อรักษาระดับความชื้น โดยในชั้นตอนสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน มีทะลายปาล์มเปล่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งประมาณ 0.28 ตัน ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุเหลือทิ้งประเภทอื่น ทะลายปาล์มเปล่าประกอบไปด้วยธาตุอาหารได้แก่ ไนโตรเจน 0.158 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสประมาณ 0.08 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมประมาณ 0.70 เปอร์เซ็นต์ (Baharuddin, 2009) กากสลัดจ์ (decanter cake) เหลือจากการหีบน้ำมันจากเนื้อปาล์ม มีส่วนประกอบของไนโตรเจนสามารถนำมาใช้ผสมกับทะลายเปล่าเพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้ (Juntaraniyom and Pengnoo, 2014) ซึ่งกากสลัดจ์ มีไนโตรเจน ประมาณ 2.18 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง (Kananam et al., 2011) ขี้เถ้า (Ash) เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากการนำเส้นใยผสมกับกะลาปาล์มน้ำมันไปเป็นเชื้อเพลิงใน อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์ม ประกอบด้วยธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เท่ากับ 2.24, 0.28, 2.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่า pH เท่ากับ 5.09 ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ การวิเคราะห์ธาตุอาหารในขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน ของบริษัท ยูนิวานชีน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) (Jaikleang, 2023) เศษเหลือทางการประมง เช่นเปลือกปู ซึ่งมีส่วนประกอบของธาตุอาหารรองพวกแคลเซียมและโคติน (20-30%) (Chandrkrachang, 2002) การประยุกต์ใช้ประโยชน์โคตินและโคโตซานจากเปลือกปูในด้านการเกษตร โครงสร้างของโคตินและโคโตซานประกอบด้วยไนโตรเจน ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ช่วยให้พืชดูดแร่ธาตุอาหารอื่นไปใช้และยังช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืช นอกจากนี้ โคตินและโคโตซานมีส่วนช่วยส่งเสริมให้พืชตระกูลถั่วหรือจุลินทรีย์มีการตรึงไนโตรเจนจากอากาศและดินได้ดีขึ้น จึงสามารถนำไปใช้ทำเป็นปุ๋ยชีวภาพได้ ปัจจุบัน มีการนำโคตินและโคโตซานมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะเกษตรกรอินทรีย์ และพบว่าสารดังกล่าวนี้ สามารถเพิ่มผลผลิตและทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง เนื่องจากลดการใช้ปุ๋ยเคมีและยาฆ่าแมลง สำหรับเศษเหลือทะลายเปล่าที่ทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันอาจนำมาใช้ประโยชน์หรือเพิ่มมูลค่าโดยผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงได้ ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงที่กำหนดโดยกรมพัฒนาที่ดิน มีรายละเอียดดังนี้ ปริมาณอินทรีย์วัตถุรับรอง (organic matter) ไม่ต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ไม่เกิน 20:1 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC) ไม่เกิน 15 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 5.5-10 ปริมาณโซเดียม (Na) ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณธาตุอาหารหลักได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ฟอสเฟตทั้งหมด (total P₂O₅) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โพแทสเซียมทั้งหมด (total K₂O) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดของปุ๋ยไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร ปริมาณหินและกรวดขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต้องไม่พบเศษพลาสติก แก้ว วัสดุคม หรือโลหะอื่นๆ ปริมาณธาตุโลหะหนัก Arsenic (As) ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Cadmium (Cd) ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Chromium (Cr) ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Copper (Cu) ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Lead (Pb) ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Mercury (Hg) ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Department of Agriculture, 2008) ดังนั้นคณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรหรือส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงจากวัสดุเศษเหลือทะลายปาล์มน้ำมันและเปลือกปู

วิธีการศึกษา

เตรียมวัสดุสำหรับทำปุ๋ยหมัก ประกอบด้วย เปลือกปู ทะลายปาล์มเปล่า กากสลัดจ์หมัก (มีส่วนผสมของกากสลัดจ์สด เส้นใยเปลือกผลปาล์ม และเถ้าปาล์ม ที่ผ่านการหมักจากโรงงานเป็นเวลา 1 เดือน) และกากสลัดจ์สดจากโรงงานอุตสาหกรรม ปาล์มน้ำมัน ขั้นตอนการเตรียมจะนำเปลือกปูไปล้างทำความสะอาด นำไปผึ่งในโรงเรือนที่คลุมหลังคาด้วยพลาสติกกันยูวีเพื่อรักษา ธาตุอาหารที่มีในเปลือกปู ตากจนแห้งแล้วบดให้ละเอียด เก็บใส่ถุงปิดสนิท ส่วนทะลายปาล์มเปล่าจะนำมากองไว้ในโรงเรือนที่มี หลังคาเป็นเวลา 1 เดือนก่อนนำไปใช้ สำหรับกากสลัดจ์หมักจากโรงงานอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน เป็นของเหลือภายหลังจากที่ได้ สกัดน้ำมันปาล์มแล้ว ซึ่งของเหลือส่วนนี้จะประกอบด้วย กากสลัดจ์ ชีเถ้า และเส้นใยเปลือกผล

หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง ได้รับความอนุเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์จาก คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ซึ่ง ผ่านการทดสอบแล้วว่า มีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไซแลนเนสระดับสูง และสามารถย่อยสลายวัสดุหมักได้ ประกอบด้วย เชื้อ *Beltrania rhombica*, *Chaetomium crispatum*, *Robillarda roystonea*, *Emericella varicolor*, *Trichoderma asperellum* โดยทุกตำรับการทดลองจะเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ลงไปอัตรา วัสดุหมัก 1,000 กิโลกรัม จะใช้จุลินทรีย์ 100 กรัม (Department of Agriculture, 2008)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่าง ระหว่างส่วนผสมการหมักปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงแต่ละสูตร ประกอบด้วย 3 ตำรับทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้ ตำรับทดลองที่ 1 (T1) ประกอบด้วย ทะลายปาล์มเปล่า: กากสลัดจ์หมัก อัตราส่วน 4:6 โดยปริมาตร ตำรับทดลองที่ 2 (T2) ประกอบด้วย ทะลาย ปาล์มเปล่า: กากสลัดจ์หมัก: กากสลัดจ์สด: เปลือกปูปน อัตราส่วน 5: 2: 2: 1 โดยปริมาตร และตำรับทดลองที่ 3 (T3) ประกอบด้วย ทะลายปาล์มเปล่า: กากสลัดจ์หมัก: เปลือกปูปน อัตราส่วน 4 : 4 : 2 โดยปริมาตร ในทุกตำรับการทดลองจะเติมหัว เชื้อจุลินทรีย์ผสมลงในวัสดุหมัก (อัตรา 100 กรัม : 1,000 กิโลกรัม) โดยกองวัสดุหมักเป็นรูปสามเหลี่ยม วางทะลายปาล์มน้ำมันอยู่ ล่างสุด ทับด้วยกากสลัดจ์หมัก กากสลัดจ์สด เปลือกปูปน หัวเชื้อจุลินทรีย์ผสม เป็นชั้นๆ แต่ละชั้นมีความหนาประมาณ 5-10 เซนติเมตร กองสลักจนหมดวัสดุตามสูตร ตั้งขนาดกองให้มีความกว้าง 2.5 เมตร สูง 1.5 เมตร รักษาความชื้นของกองหมักให้อยู่ ในช่วง 60-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยการรดน้ำ 1 ครั้งต่อวัน ปิดกองปุ๋ยด้วยผ้าพลาสติกสีดำเพื่อรักษาความชื้นและเพิ่ม อุณหภูมิภายในกอง กลับกองปุ๋ยทุกๆ 15 วัน หมักจนกระทั่งการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งสังเกตวัสดุหมักเปียกนิ่มและเปลี่ยนสี เป็นน้ำตาลเข้มหรือดำ อุณหภูมิลด ใกล้เคียงกับภายนอกกองปุ๋ย จากนั้นทำปุ๋ยหมักแห้งโดยเกลี่ยกอง และสูบลมเก็บตัวอย่างปุ๋ย หมัก มาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (Department of Agriculture, 2008)

การเก็บข้อมูล ระหว่างการหมักจะสุ่มวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักทุกๆ 3 วัน จำนวน 3 จุดต่อกอง การ วัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดที่ระดับความลึกประมาณ 40 เซนติเมตรจากผิวด้านบนตรงจุดกึ่งกลางของพื้นที่สี่เหลี่ยมของกอง ปุ๋ยหมัก สุ่มจำนวน 3 จุดต่อกอง ส่วนการวัดความชื้นในกองปุ๋ยหมัก ทำโดยเก็บตัวอย่างวัสดุที่หมักทำปุ๋ยมากองละ 3 จุด ประมาณ 10 - 20 กรัมต่อจุด นำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง แล้วจึงชั่งน้ำหนักที่หายไป แล้วคำนวณหา ปริมาณความชื้นในปุ๋ย อินทรีย์ตามสูตร ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) = $\frac{(\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง})}{(\text{น้ำหนักสด})} \times 100$ สำหรับการวัดค่าความเป็นกรด- ด่าง (pH) ในกองปุ๋ยหมัก จะวัดทุกๆ 15 วัน (Department of Agriculture, 2008) เมื่อสิ้นสุดการหมักหรือครบ 60 วัน เก็บ ตัวอย่างปุ๋ยหมักในแต่ละตำรับทดลองมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ พีเอช pH (1:2) ค่าการนำไฟฟ้า EC (1:10) (dS/m) ความชื้น (Moisture) (%) C:N ratio ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) (%) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P₂O₅) (%) โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K₂O) (%) โซเดียมทั้งหมด (Total Na) (%) แคลเซียมทั้งหมด (Total Ca) (%) และแมกนีเซียมทั้งหมด (Total Mg) (%) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) (%) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon; OC) (%) วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (ในรูป Total) ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) โดยการย่อยตัวอย่าง ด้วย Microwave digester (CEM corporation: รุ่น MARS) ตามวิธี EPA-3050B (HNO₃+H₂O₂) วัดปริมาณ As ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Agilent Technologies: รุ่น 200 Series AA) วัดปริมาณ Cd, Cr, Cu, Pb และ Hg ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer; ICP-OES (PerkinElmer: รุ่น AVIO 550 Max) (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2005) วัดการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก จากการทดสอบดัชนีการงอก ของเมล็ด (germination index) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถวัดสารที่เป็นพิษต่อพืช (phytotoxic substance) ที่ตกค้างอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์ ได้โดยตรง เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดความสมบูรณ์ของการย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์ ทดสอบกับเมล็ดผักกวางตุ้ง โดยให้นำเมล็ด ผักกวางตุ้ง จำนวน 300 เมล็ด เพาะในน้ำสกัดปุ๋ยหมัก เพาะเมล็ดในที่มีที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาวัดความยาว รากและนับจำนวนเมล็ดที่งอก จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (percentage of relative seed germination: %RSG) เปอร์เซ็นต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (percentage of relative root growth: %RRG) และเปอร์เซ็นต์

ดัชนีการงอกของเมล็ด (percentage of germination index: %GI) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง ตำรับทดลองตาม Duncan's New Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1980)

$$\% \text{ RSG} = \frac{\text{number of seeds germinated in the extract}}{\text{number of seeds germinated in the control}} \times 100$$

$$\% \text{ RRG} = \frac{\text{mean root length in the extract}}{\text{mean root length in the control}} \times 100$$

$$\% \text{ GI} = \frac{\text{RSG} \times \text{RRG}}{100}$$

ประเมินต้นทุนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุเศษเหลือทะเลทรายปาล์มและเปลือกปู และมูลค่าการซื้อขายผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยในกองปุ๋ยหมัก ในแต่ละตำรับทดลอง ตลอดระยะเวลาการหมัก 60 วัน พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยในกองปุ๋ยหมักทั้ง 3 ตำรับทดลอง เพิ่มขึ้นภายหลังการตั้งกอง 6 วัน และมีอุณหภูมิสูงกว่าหรือใกล้เคียง 60 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 9-45 วัน จากนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยจะลดลงเมื่อพลิกกลับกองและปรับความชื้น อุณหภูมิเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อตั้งกองใหม่ไปได้ 1-2 วัน เป็นไปในลักษณะนี้ตลอดระยะเวลาการหมัก การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยเช่นนี้ อาจเนื่องมาจากในช่วงแรกมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มลดลง เมื่อเหลือแต่สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในกองปุ๋ยหมักตำรับทดลองที่ 3 ลดลงเร็วกว่าตำรับทดลองที่ 1 และ 2 และค่อนข้างคงที่หรือใกล้เคียงบรรยากาศในช่วง 57-60 วัน แสดงว่ากระบวนการหมักเสร็จสมบูรณ์แล้ว (Polprasert, 1996) ส่วนปุ๋ยหมักตำรับทดลองที่ 1 และ 2 เมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไป 60 วัน อุณหภูมิเฉลี่ยยังอยู่ในช่วง 44-47 องศาเซลเซียส (Figure 1) แสดงว่ากระบวนการหมักยังไม่เสร็จสมบูรณ์ สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่ละชุดใช้ระยะเวลาการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์แตกต่างกัน เนื่องจากส่วนผสมของวัสดุแต่ละชนิดมีปริมาณต่างกัน ทำให้ธาตุอาหารเริ่มต้นไม่เท่ากัน

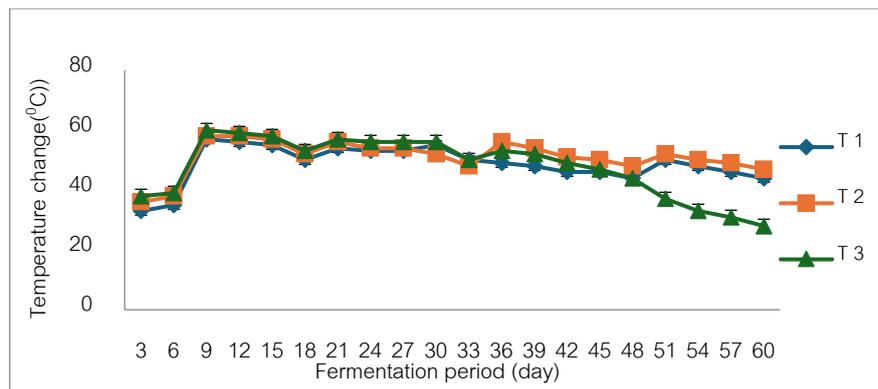


Figure 1 Average temperature change in compost piles in each experimental Formula throughout the 60 day fermentation period.

การเปลี่ยนแปลงความชื้นในกองปุ๋ยหมักในแต่ละตำรับทดลอง ตลอดระยะเวลาการหมัก 60 วัน พบว่า ความชื้นเฉลี่ยในกองปุ๋ยหมัก ตำรับทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 50-63 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เนื่องจากมีการควบคุมความชื้นให้เหมาะสมกับกระบวนการหมักสอดคล้องกับ (Rabbani et al., 1983) กล่าวไว้ว่าช่วงความชื้นเริ่มต้นที่เหมาะสมคือ 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยมวล (Figure 2)

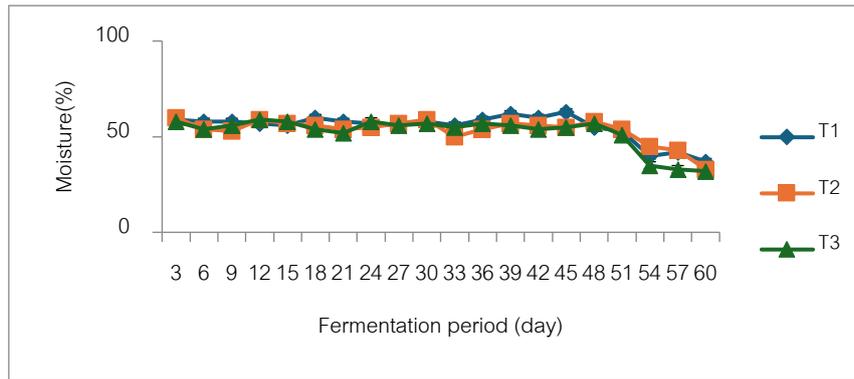


Figure 2 Changes in moisture content in compost piles in each experimental formula throughout the 60 day fermentation period.

การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยพีเอช ในกองหมัก ในแต่ละตำรับทดลองตลอดระยะเวลาการหมัก 60 วัน พบว่า ค่าพีเอชเฉลี่ยของปุ๋ยหมัก ตำรับทดลองที่ 1, 2 และตำรับที่ 3 มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยในช่วงแรกๆ ของการหมักค่า pH เป็นกรดอ่อนๆ และต่ำเล็กน้อย อยู่ในช่วง 6.40-7.20 (Figure 3) จากนั้นลดลงและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในช่วงเป็นกรดอ่อนๆ ถึงต่ำเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายของอินทรีย์สารมักจะผลิตกรดอินทรีย์และอนินทรีย์ออกมาหรือมีการระเหยของแอมโมเนีย ไนโตรเจน หรือมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากกระบวนการ nitrification เมื่อพิจารณาค่าพีเอช ของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักตำรับทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามค่า pH ของปุ๋ยหมักทั้งสามตำรับทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ที่กำหนดอยู่ในช่วง 5.5-8.5 (Department of Agriculture, 2008)

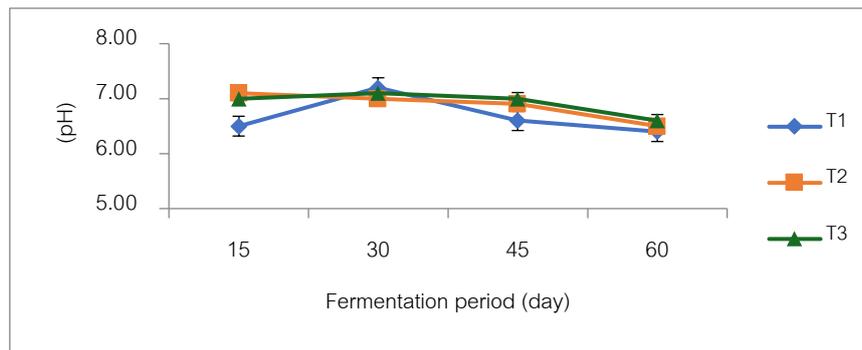


Figure 3 The average pH change in the compost pile in each experimental formula throughout the fermentation period of 60 day.

ปริมาณธาตุอาหาร

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารต่างๆในปุ๋ยหมักทั้ง 3 ตำรับทดลองแสดงไว้ใน Table 1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดพบว่า ตำรับทดลองที่ 2 มีปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด สูงที่สุดคือ 3.36 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากชุดการทดลองมีส่วนประกอบของกากสัลดัจสด ใกล้เคียงกับงานทดลองของ (Sanguansuk et al., 2009) เรื่ององค์ประกอบทางเคมีและธาตุอาหารพืชในกากตะกอนน้ำมันปาล์มและจากบ่อบำบัดน้ำเสียใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจน 1.930 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือชุดทดลองที่ 3 และ 1 ใกล้เคียงกัน มีค่า 1.33 และ 1.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งทั้ง 3 ชุดการทดลองมีปริมาณธาตุไนโตรเจนสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ที่กำหนดว่าจะต้องมีธาตุไนโตรเจนไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 ของน้ำหนัก

ฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่าตำรับทดลองที่ 3 มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุด รองลงมา ชุดการทดลองที่ 2 และ 1 มีค่า 1.43, 1.18 และ 1.14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งทั้ง 3 ชุดการทดลองมีปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสตรงตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ที่กำหนดจะต้องมีธาตุฟอสฟอรัสไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ของน้ำหนัก

โพแทสเซียมทั้งหมด พบว่า ตำรับทดลองที่ 2 มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด คือ 2.32 เปอร์เซ็นต์ เพราะมีส่วนประกอบของทะเลลายปาล์มเปล่านั้นมากที่สุด รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 3 และ 1 มีค่า 1.42 และ 1.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งทั้ง 3 ชุดการทดลองมีปริมาณธาตุโพแทสเซียมสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ที่กำหนดไว้ว่าจะต้องมีธาตุโพแทสเซียมไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ของน้ำหนัก

แคลเซียมทั้งหมด พบว่า ตำรับทดลองที่ 3 มีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2 และ 1 มีค่า 4.64, 2.07 และ 1.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เนื่องจากชุดการทดลองที่ 3 มีส่วนประกอบของเปลือกปูมากที่สุด ซึ่งโครงสร้างของเปลือกปูทะเล (*scylla serrata*) ในชั้นชั้นเอนโดคิวติเคิล (endocuticle layer) เป็นชั้นที่มีความหนาที่สุด ประมาณ 450 -455 ไมโครเมตร ซึ่งคิดเป็น 70-85 เปอร์เซ็นต์ ของความหนาของเปลือก และมีปริมาณเกลือแคลเซียมสะสมอยู่มากที่สุด บางครั้งจึงเรียกว่าเป็นชั้นแคลเซียม (calcified layer) ซึ่งมีลักษณะเป็นแถบ (bands) ซึ่งเกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างเส้นใย chitin-protein และแคลเซียมคาร์บอเนต ประกอบกันทำให้เป็นชั้นที่หนาที่สุด (Pratoomchat and Suwanarak, 2007)

แมกนีเซียมทั้งหมด พบว่า ตำรับทดลองที่ 3 มีปริมาณแมกนีเซียมมากที่สุดเพราะมีส่วนประกอบของเปลือกปูปนมากที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 2 และ 1 มีค่า 0.76, 0.62 และ 0.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Chemical properties of high quality organic fertilizers obtained from experiments in all 3 formulas

Tr.	pH (1:2)	EC (1:10) (dS/m)	Moisture (%)	C:N Ratio	Total N (%)	Total P ₂ O ₅ (%)	Total K ₂ O (%)	Total Na (%)	Total Ca (%)	Total Mg (%)	Organic matter (%)	Organic carbon; OC (%)
1	6.82±	3.25±	23±	11:1±	1.28±	1.14±	1.37±	0.04±	1.64±	0.57±	24.25±	14.1±
	0.86 ^b	0.40 ^b	0.30 ^a	0.00 ^a	0.11 ^c	0.18 ^b	0.10 ^c	0.01 ^c	0.14 ^c	0.10 ^b	0.30 ^a	0.30 ^a
2	7.12±	3.76±	17.41±	4:11±	3.36±	1.18±	2.32±	0.08±	2.07±	0.62±	23.77±	13.82±
	1.36 ^a	0.87 ^b	0.69 ^c	0.00 ^c	0.49 ^a	0.21 ^b	0.34 ^a	0.01 ^b	0.26 ^b	0.06 ^a	0.98 ^b	0.91 ^b
3	7.31±	4.61±	18.7±	9:1±	1.33±	1.43±	1.42±	0.16±	4.64±	0.76±	21.26±	12.36±
	0.45 ^a	0.48 ^a	0.84 ^b	0.00 ^b	0.07 ^b	0.01 ^a	0.18 ^b	0.02 ^a	0.28 ^a	0.10 ^a	0.54 ^c	0.023 ^c
F-test	0.19	3.70	7.58	0.00	49.38**	2.90**	14.60**	38.00**	1.43**	3.59**	1.57	8.13
CV (%)	33.95	38.87	18.50	-	25.22	34.19	26.97	55.86	22.96	32.35	20.16	9.31
Organic fertilizer standards	5.5-8.5	≤10	≤30	≤20:1	≥1.0	≥0.5	≥0.5	≤1	-	-	≥20	-

(DOA, 2007)

Mean ± standard deviation.

Value with different letters within a column were significantly different by DMRT ($P < 0.05$). (F-test) at $P < 0.05$

T1 is the formula 1 Empty fruit bunch : Fermented decanter cake : Ratio (V/V) = 4 : 6

T2 is the formula 2 Empty fruit bunch : Fermented decanter cake : Fresh decanter cake : Crushed crab shell Ratio (V/V) = 5:2:2:1

T3 is the formula 3 Empty fruit bunch : Fermented decanter cake : Crushed crab shell Ratio (V/V) = 4 : 4 : 2

ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd) สารหนู (As) และปรอท (Hg) ในปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลอง ในรูปโลหะหนักทั้งหมดแสดงไว้ใน Table 2 ผลการศึกษา ไม่พบปริมาณ ธาตุตะกั่ว แคดเมียม และปรอท ในปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ส่วนปริมาณทองแดงทั้งหมด พบว่า ในปุ๋ยตำรับทดลองที่ 1 มีมากที่สุด คือ 1.081 ± 0.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากตำรับที่ 1 มีส่วนประกอบของกากสัดหมักมากที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ซึ่งมีปริมาณทองแดงทั้งหมดเท่ากับ 0.473 ± 0.08 และ 0.490 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามทั้ง 3 ตำรับการทดลองมีปริมาณทองแดงที่วิเคราะห์ได้ไม่เกินมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม

ต่อกิโลกรัม) ปริมาณโครเมียมทั้งหมด พบในปุ๋ยอินทรีย์ชุดที่ 1 มากที่สุด รองลงมาชุดที่ 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.643 ± 0.50 , 0.589 ± 0.12 และ 0.576 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโครเมียม ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้มีได้ตามข้อกำหนดของกรมวิชาการเกษตร คือ ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณธาตุสารหนู ที่พบในปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการทดลองที่ 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 0.031 ± 0.01 และ 0.030 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับสำหรับการทดลองที่ 1 คือมีค่าเฉลี่ย 0.009 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 2) อย่างไรก็ตามค่าปริมาณธาตุสารหนูที่พบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้มีได้ตามข้อกำหนดของกรมวิชาการเกษตร คือ ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นเกษตรกรสามารถใช้วัสดุเศษเหลือทะเลาปาล์มน้ำมันจากโรงงานอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันและเปลือกปุมผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้โดยไม่ต้องกังวลกับปัญหาที่จะมีโลหะหนักตกค้างในผลผลิตพืช

Table 2 Analysis of heavy metal content of high quality organic fertilizers obtained from all 3 experimental formulas

Treatment	Pb	Cu	Cr	Cd	As	Hg
	mg/kg					
1	0.00	1.081 ± 0.18^a	1.643 ± 0.50^a	0.00	0.009 ± 0.002^b	0.00
2	0.00	0.473 ± 0.08^b	0.589 ± 0.12^b	0.00	0.031 ± 0.01^a	0.00
3	0.00	0.490 ± 0.01^b	0.576 ± 0.19^b	0.00	0.030 ± 0.002^a	0.00
F-test	nd	26.67**	10.91*	nd	10.68*	nd
CV (%)	nd	35.53	63.64	nd	60.47	nd
Organic fertilizer standards	≤500	≤500	≤300	≤5	≤50	≤2

Mean ± standard deviation. Value with different letters within a column were significantly different by DMRT ($P < 0.05$) (F-test) at $P < 0.05$

การประเมินต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

การประเมินต้นทุนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ต้นทุน และมูลค่าการซื้อขายผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ ในส่วนของต้นทุนการผลิตจะพิจารณาจากมูลค่าของวัตถุดิบในแต่ละชนิด โดยยังไม่รวมมูลค่าต้นทุนจากการขนส่งเนื่องจากต้นทุนการขนส่งขึ้นอยู่กับศักยภาพของผู้ผลิตในการจัดหาวัตถุดิบที่นำมาเป็นส่วนผสมและการจัดหาแหล่งจำหน่ายสินค้า รายละเอียดต้นทุนวัตถุดิบแต่ละชนิดแสดงไว้ใน (Table 3) และการประมาณการต้นทุนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงจากวัสดุเหลือใช้ ที่กำลังการผลิต 1,000 กก./วัน มีมูลค่าต้นทุนการผลิตที่ 2,110 บาทหรือ 2.11 บาท/กิโลกรัม (Table 4)

Table 3 Cost of various raw materials used to producing organic fertilizer

Raw material	Weight (kg)	Price (Baht)	Price per unit (baht/kg.)
Palm oil empty fruit bunches	1,000	600	0.6
Fermented Decanter	1,000	600	0.6
Fresh Decanter	1,000	400	0.4
Crab shell	1,000	3,000	3*
Microbial inoculum (bag)	1	10	10

* The value of crab shells is determined by agreeing on the trading value with villagers in the Ban Tha Klang community area, Suksamran District, Ranong Province. The value of raw materials may change in each area.

อย่างไรก็ตามในการพิจารณาต้นทุนการผลิตจะต้องคำนึงถึงในส่วนของค่าใช้จ่ายสำหรับบรรจุภัณฑ์ด้วย ซึ่งมูลค่าของบรรจุภัณฑ์บางประเภทที่มีมูลค่าสูงอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์มีมูลค่าจำหน่ายสูงตามไปด้วยเช่นกัน ทั้งนี้จากการดำเนิน

งานวิจัยในครั้งนี้ พบว่ามูลค่าของบรรจุภัณฑ์อาจส่งผลให้มูลค่าจำหน่ายเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 3 เท่าของมูลค่าต้นทุนวัตถุดิบ ดังนั้น การวางแผนทาง หรือ การพิจารณาเลือกบรรจุภัณฑ์จึงควรมีการคำนึงถึงเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่ง

Table 4 Estimating the cost of producing high quality organic fertilizer from fisheries and agricultural waste materials to reduce the cost of agricultural production factors

Estimating the cost of producing organic fertilizers at a production capacity of 1000 kg./day			
List	Volume (kg)	Value (baht/kg.)	Value of raw materials (Baht)
Palm oil empty fruit bunches	500	0.6	300
Fermented Decanter	200	0.6	120
Fresh Decanter	200	0.4	80
Crab shell	100	3	300
Microbial inoculum (bag)		10	10
Material transportation cost			500
Wage 50 baht/person/hour, 2 people/8 hours (baht)			800
Total production cost value (Baht/1,000kg)			2,110
Production cost value (baht/kg)			2.11

Fresh weight 1000 kg., weight remaining after fermentation 700 kg

ผลการทดสอบค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืช

ผลการทดสอบค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืชกับตัวอย่างปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลองเพื่อตรวจสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก รายละเอียดผลการทดสอบของแต่ละชุดทดลองแสดงไว้ใน Table 5

Table 5 Relative germination percentage of seeds Relative root length and percentage germination index of Chinese mustard seeds in fertilizer liquid extracts in all 3 experimental sets at 48 hours

Treatment	Number of seeds germination (%)	Average root length(mm.)	RSG (%)	RRG (%)	GI (%)
1	97±1.00 ^b	3.03± 0.18 ^c	98.98±0.41 ^b	149.26±0.77 ^c	147.74±0.75 ^c
2	98±0.96 ^a	3.54± 0.27 ^a	100.00±0.10 ^a	174.38±0.50 ^a	174.38±0.90 ^a
3	98±0.57 ^a	3.35± 0.10 ^b	100.00±1.00 ^a	165.02±1.00 ^b	165.02±0.28 ^b
control	98±0.57 ^a	2.03± 0.10 ^d	100.00±1.00 ^a	100.00±0.44 ^d	100.00±0.39 ^d
F-test	1.846	3.974**	1.689	318.34**	447.37**
CV (%)	2.75	17.93	1.76	1.53	1.35

Mean ± standard deviation. Value with different letters within a column were significantly different by DMRT (P<0.05) (F-test) at P<0.05

จากการทดสอบการย่อยสลายสมบูรณ์หรือความเป็นพืชต่อพืชของปุ๋ยอินทรีย์ด้วยการตรวจวัดค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืช โดยการทดสอบกับเมล็ดผักกวางตุ้ง เมื่อนำผลการทดลองไปคำนวณหาค่าการงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 98.98 - 100 และมีค่าความยาวรากสัมพัทธ์อยู่ในช่วงร้อยละ 100 - 174.38 และมีค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืช อยู่ในช่วงร้อยละ 100 - 174.38 (Table 5) ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่กำหนดไว้ว่าค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืช ไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 80 (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2005) โดยค่านี้ชี้แสดงถึงการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยหมักได้ กล่าวคือ ในกระบวนการหมักหรือการย่อยสลายที่ยังไม่สมบูรณ์ นั้นจะเกิดสารประกอบที่ไม่เสถียร (Intermediate compounds) เช่น แอมโมเนียอิสระ กรดอินทรีย์หรือสารประกอบที่ละลายน้ำอื่นๆ ระหว่างกระบวนการหมัก ซึ่งจะมีความเป็นพืชต่อพืช คือ ไปจำกัดการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของราก ส่วนเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของ (California

Composting Quality Council (2001) กำหนดว่า ปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายสมบูรณ์ควรมีค่า GI มากกว่าร้อยละ 90 เมื่อนำค่า GI ในการศึกษานี้ไปเปรียบเทียบกับที่พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แสดงว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้โดยไม่มีความเป็นพิษต่อพืช อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาพร้อมกับปัจจัยอื่นๆ ใน การศึกษานี้จึงเสนอแนะในการหมักเมื่อครบเวลาที่ทำการทดลองควรบ่มต่อในถุงพลาสติก อีกประมาณ 15-30 วัน รวมระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักไม่น้อยกว่า 90 วัน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าปุ๋ยหมักที่ได้มีความเสถียรและเกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์โดยแท้จริง

สรุปผลการศึกษา

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงจากวัสดุเศษเหลือทะเลลายปาล์มน้ำมันและเปลือกปู พบว่า สูตรที่ดีและมีแนวโน้มในการนำมาทำปุ๋ยหมักคุณภาพสูง คือสูตรในตำรับการทดลองที่ 2 (ทะเลลายปาล์มเปล่า: ปากสลัดจ์หมัก: ปากสลัดจ์สด: เปลือกปูปนอัตราส่วน 5 : 2 : 2 : 1 โดยปริมาตร) ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารสูงและเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานกรมวิชาการกำหนดไว้ คือ มีค่าไนโตรเจนทั้งหมด 3.36 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด 1.18 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมทั้งหมด 2.32 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมทั้งหมด 0.08 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมทั้งหมด 2.07 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมทั้งหมด 0.62 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.12 มีค่าไม่เกินที่กำหนด ค่าการนำไฟฟ้า 3.76 เดซิเมนส์ต่อเมตร มีค่าไม่เกินที่กำหนด ปริมาณความชื้น เท่ากับ 17.41 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 4:11 ปริมาณโลหะหนักมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานตามกรมวิชาการเกษตรกำหนดไว้ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 23.77 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณคาร์บอนในดิน 13.82 เปอร์เซ็นต์ และมีผลการทดสอบการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ด้วยการวัดค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืชพบว่า มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้โดยไม่มีความเป็นพิษต่อพืช

การประเมินต้นทุนการผลิต จากการทดลองสามารถประเมินต้นทุนการผลิตโดยพิจารณาจากมูลค่าของวัตถุดิบในแต่ละชนิด และพิจารณาถึงมูลค่าต้นทุนจากการขนส่งรวมค่าแรง การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่กำลังการผลิต 1,000 กิโลกรัมต่อวัน มีมูลค่าต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 2.11 บาทต่อกิโลกรัม

ก่อนการทดลองควรวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ในวัสดุที่นำมาใช้ในการหมักอย่างละเอียดเพื่อทราบปริมาณธาตุอาหารเริ่มต้นสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบหลังการหมักได้ ในกระบวนการหมักเมื่อครบเวลาที่ทำการทดลอง ควรบ่มปุ๋ยที่ได้ต่ออีกประมาณ 15-30 วัน รวมระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการหมักไม่น้อยกว่า 90 วัน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าปุ๋ยหมักที่ได้ มีความเสถียรและเกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์โดยแท้จริง และควรมีการเก็บจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์วิเคราะห์หลังเสร็จสิ้นกระบวนการหมักอีกครั้งเพื่อให้สามารถระบุเชื้อเชื้อจุลินทรีย์ได้เพื่อการกล่าวอ้างเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากคณะประมง คณะผู้วิจัยขอขอบคุณที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้รวมถึงคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สถานีวิจัยเพื่อการพัฒนาชายฝั่งอันดามันที่เกี่ยวข้องของทุกคนที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้และอำนวยความสะดวกในการทำ การวิจัยและขอขอบคุณบริษัท ยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด(มหาชน) สาขากระบะบุรีที่สนับสนุนของเหลือใช้จากโรงงานน้ำมันปาล์ม และให้ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับของเหลือใช้จากโรงงานในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: จรรตกร รอดอยู่, เดชา ดวงนามล. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการ ออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล: รติวรรณ มีทอง, วรางคณา เรืองลือ, สากร จันทร์มา. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: จรรตกร รอดอยู่. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิมและการมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: จรรตกร รอดอยู่, อัญธิชา พรมเมืองคุก. การให้การสนับสนุน เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ ครุภัณฑ์ และที่ปรึกษางานวิจัย: สุรียัน ัญญกิจจานุกิจ, อัญธิชา พรมเมืองคุก.

เอกสารอ้างอิง

- Baharuddin, A. S., Wakisaka, M., Shirai, Y., Abd Aziz, S. Abdul Rahman, N. A., & Hassan, M.A. (2009). Co-composting of empty fruit bunches and partially treated palm oil mill effluents in pilot scale. *International Journal of Agricultural Research*, 4(2), 69-78.
- California Composting Quality Council. 2001. **Compost Maturity Index**. Nevada City.
- Chandrkrachang, S. (2002). The applications of chitin and chitosan in agriculture in Thailand. *Advances in Chitin Science*, 5(1), 458-462.
- Department of Agriculture. (2008). **Soil and Plant Analysis Manual**. Department of Agriculture. (in Thai).
- Jaikleang, P. (2023). **Nutrients in palm oil ash form Univanich Palm Oil Public Company Limited**. Interview, 12 March. (in Thai)
- Juntaraniyom, T., & Pengnoo, A. (2014). Production of compost from leftover materials in a palm oil mill. *Kehakaset Magazine*, 38(11), 234-240. (in Thai).
- Kananam, W., Suksaroj, T. T., & Suksaroj, C. (2011). Biochemical changes during oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches composting with decanter sludge and chicken manure. *Science Asia*, 37(1) 17-23.
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2005). **National standards for agricultural products and food (fertilizer)**. ACFS.9503-2005. Announced in the general Royal Gazette, Volume 22, Section 114 D. (in Thai).
- Polprasert, C. (1996). **Organic Waste Recycling, Technology and Management**. 2nd Ed. John Wiley & Son Chichester.
- Pratoomchat, B., & Suwanarak, W. (2007). Changes in the physical characteristics of the shell and slowing down shell formation of sea crabs (*Portunus pelagicus* and *Scylla serrata*) after molting. **Research report Department of Aquatic Science, Faculty of Science**, pp. 89. Burapha University. (in Thai).
- Sanguansuk, P., Jarupan, L., & Thongjoo, C. (2009). Chemical Compositions and Plant Nutrients in Palm Oil and Water Treatment Sludge used as Raw Materials for Developing Environmentally Friendly Package. In **Proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry**, pp. 28-34. Kasetsart University. (in Thai)
- Rabbani, K. R., Jindal, R., Kubota, H., & Obeng, L. (1983). **Composting Domestic Refuse Environmental Sanitation Information Center**, Bangkok.
- Sawangpanyangkura, T. (2015). Mass Production of Organic Fertilizer Without Turning the Pile: **Mae Jo Engineering Method. Faculty of Engineering and Agro-Industry**, pp 64. Maejo University, Chiang Mai. (in Thai).
- Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). **Duncan's New Multiple Range Test**. In *Principles and Procedures of Statistics*. McGraw-Hill, New York, 187-188.

การรักษาผลผลิตภายใต้การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และกำบางพระ Maintaining Yield under Organic Fertilizer Management in Khao Dawk Mali 105 and Kum Bangpra Rice Varieties

สุพรรณษา ชินวรณ์^{1*}, วชิราภรณ์ เรือนแป้น¹, ณัฐธยา เรือนแป้น¹ และธนาววัฒน์ เยมอ¹
Supansa Chinaworn^{1*}, Wachiraporn Ruanpan¹, Natthaya Ruanpan¹ and Tanawat Yemor¹

Received date: 14 พ.ค. 67 Revised date: 27 ม.ค. 68 Accepted date: 18 ก.พ. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.30.015>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในข้าว 2 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ 105 และกำบางพระ วางแผนการทดลองแบบ Split-plot design มี 3 ซ้ำ ให้กรรมวิธีการจัดการปุ๋ย เป็น Main plot และพันธุ์ข้าว เป็น sub-plot กรรมวิธีการให้ปุ๋ยประกอบด้วย 1) ไม่ใส่ปุ๋ย 2) ปุ๋ยเคมี 3) มูลวัว 500 กก./ไร่ 4) มูลวัว 1,000 กก./ไร่ 5) มูลไก่ 150 กก./ไร่ 6) มูลไก่ 300 กก./ไร่ 7) มูลวัว 500 กก./ไร่ + มูลไก่ 150 กก./ไร่ 8) ปุ๋ยพืชสด + มูลวัว 500 กก./ไร่ 9) ปุ๋ยพืชสด + มูลไก่ 150 กก./ไร่ 10) ปุ๋ยพืชสด + มูลวัว 250 กก./ไร่ + มูลไก่ 75 กก./ไร่ ผลการศึกษาพบว่า ข้าวแต่ละพันธุ์ตอบสนองต่อการจัดการปุ๋ยต่างกัน พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีแนวโน้มตอบสนองต่อการให้ปุ๋ยอินทรีย์ได้ดีกว่ากำบางพระ เมื่อมีการให้ปุ๋ยมูลไก่ 150 - 300 กก./ไร่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้ผลผลิตสูงกว่าการให้ปุ๋ยเคมี 14-18% ในขณะที่กำบางพระยังคงให้ผลผลิตต่ำกว่าการให้ปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตามเมื่อให้ปุ๋ยพืชสดร่วมกับมูลวัว 250 กก./ไร่ และมูลไก่ 75 กก./ไร่ สามารถทำให้ผลผลิตข้าวกำบางพระเพิ่มขึ้น 24% แสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมกับข้าวแต่ละพันธุ์มีความแตกต่าง การให้ปุ๋ยอินทรีย์ถึงแม้จะมีปริมาณธาตุอาหารต่ำก็สามารถให้ผลผลิตเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีได้

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์ ข้าวพื้นเมือง ขาวดอกมะลิ 105 กำบางพระ

Abstract

This study aimed to assess the effect of different fertilizer management on yield and yield component in two rice varieties, Khao Dawk Mali 105 and Kum Bangpra. Split-plot design with three replications was conducted for this study. Fertilizer management was assigned to the main plots, while rice varieties were allocated to the subplots. Ten different fertilizer management practices were employed, each designated as follows: T1) no fertilizer, T2) chemical fertilizers, T3) 500 kg./rai cow manure, T4) 1,000 kg./rai cow manure, T5) 150 kg./rai poultry manure, T6) 300 kg./rai poultry manure, T7) 500 kg./rai cow manure + 150 kg./rai poultry manure, T8) 500 kg./rai green manure + cow manure, T9) 150 kg./rai green manure + poultry manure, and T10) green manure + 250 kg./rai cow manure + 75 kg./rai poultry manure. The results indicated varying responses to fertilizer management between the local rice varieties. KDML105 tended to exhibit a stronger response to organic fertilizer compared to KBP. Following treatment with 150 and 300 kg./rai of cow manure, yields of KDML105 increased by 14-16% compared to chemical fertilizer application while yields remained lower in KBP variety. However, after applying green manure combined with cow manure of 250 kg./rai and poultry manure of 75 kg./rai, the result showed a significant increase in KBP yield, up to 24% compared to chemical fertilizer application. Therefore, organic fertilizers with lower nutrient application rates often yield similar results to those achieved under adequate chemical fertilizer application.

Keywords: organic fertilizer, local rice, Khao Dawk Mali 105, Kum Bangpra

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ. ชลบุรี 20110

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

* Corresponding author: email su_pan_sas@hotmail.com

คำนำ

จากสถานการณ์การเกิดโรคระบาดในปีที่ผ่านมา ๆ มา ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมอย่างรวดเร็วและรุนแรงในปัจจุบัน ส่งผลให้มีการตระหนักถึงปัญหาสุขภาพมากขึ้น การเลือกรับประทานอาหารปลอดภัยเป็นวิธีการหนึ่งที่จะลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคและชะลอวัยได้ สินค้าเกษตรผักอินทรีย์จึงเข้ามามีบทบาทมากขึ้น ข้าวอินทรีย์ถือเป็นหนึ่งในอาหารที่ได้รับความนิยม ประเทศไทยมีการผลิตข้าวอินทรีย์ที่ใช้สำหรับบริโภคภายในประเทศและเพื่อการส่งออก โดยในไตรมาสแรกของปี 2566 มีปริมาณการส่งออกข้าวอินทรีย์ อยู่ที่ 4,996.77 ตัน มูลค่าการส่งออก 185.10 ล้านบาท (Office of Agricultural Economics, 2023) ถึงแม้ว่าความต้องการบริโภคข้าวอินทรีย์จะมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่ผลผลิตที่ได้ยังไม่เพียงพอ ประเทศไทยยังคงประสบปัญหาการผลิตข้าวอินทรีย์เนื่องจากการจัดการที่ยุ่ยยากและไม่คุ้มทุน ทำให้พื้นที่เพาะปลูกข้าวอินทรีย์มีเพียง 0.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทยคือ 62 ล้านไร่ มีพื้นที่ปลูกข้าวอินทรีย์ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานในระดับสากล 52,181 ไร่ ได้ผลผลิตเพียง 28,091 ตัน ซึ่งคิดเป็น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตข้าวทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่บริโภคภายในประเทศ 60 เปอร์เซ็นต์ และส่งออกเพียง 40 เปอร์เซ็นต์ (Kasikorn Reserch Center, 2017) การผลิตข้าวในประเทศไทยมีการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นหลักเพราะง่ายต่อการจัดการ และผลผลิตสูง อย่างไรก็ตามในระยะยาวอาจก่อให้เกิดปัญหาดินเสื่อมโทรมและโครงสร้างของดินเสื่อมสภาพได้ นอกจากนี้เมื่อให้ปุ๋ยเคมีลงไปปริมาณเท่าเดิม แต่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ มีความจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณการให้ปุ๋ย ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นทุกปี

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์นอกจากจะให้อาหารที่ปลอดภัยแล้ว ยังสามารถฟื้นฟูดิน ปรับปรุงโครงสร้างของดิน ทำให้ดินร่วนซุย ระบายน้ำและอากาศได้ดี มีจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยในการปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืช ทำให้ดินดูดซับธาตุอาหารได้ดี และส่งผลดีต่อการผลิตข้าวในระยะยาวได้ (Assefa and Tadesse, 2019) มีรายงานว่าเมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยเลย การให้ปุ๋ยมูลไก่เพียงอย่างเดียวสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ 6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การให้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว เพิ่มผลผลิตเพียง 7 เปอร์เซ็นต์ (Shwe et al., 2022) การให้ปุ๋ยมูลวัวมีความสัมพันธ์กับผลผลิตข้าวโดยตรง โดยพบว่าการให้มูลวัวที่ 160 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิต 12.64 กิโลกรัมต่อไร่ (Atman et al., 2018) นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้ปุ๋ยพืชสดร่วมกับมูลสัตว์ พบว่าการใช้ถั่วเหลืองเป็นปุ๋ยพืชสดร่วมกับใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ทำให้ข้าวพันธุ์ กข 47 มีผลผลิตสูงกว่าข้าวที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมี (Sukyankij et al., 2019) การใช้ปุ๋ยพืชสดร่วมกับปุ๋ยเคมีสามารถเพิ่มการดูดธาตุไนโตรเจนได้มากขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวสูงขึ้น มากกว่าการใช้ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว (Latt et al., 2009) ปอเทืองถูกนำมาใช้เป็นปุ๋ยพืชสดในการปรับปรุงโครงสร้างของดินในการผลิตข้าว เนื่องจากมีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน สามารถให้ธาตุไนโตรเจน และเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้สูง (Sanjay and Dev, 2000) การใช้เมล็ดปอเทือง 5-10 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถเพิ่มองค์ประกอบผลผลิตของข้าวสังข์หยดได้ (Domyos, 2013) มีรายงานเกี่ยวกับการทดสอบการให้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยรายงานว่า การให้ปุ๋ยมูลสุกร อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถให้ผลผลิตข้าวเท่ากับการให้ปุ๋ยมูลสุกร 500 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าการให้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (Rann et al., 2016) ในขณะที่งานทดลองของ Sukkasem and Anusontpornperm (2020) รายงานว่าการให้ปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ดร่วมกับผลิตภัณฑ์จากฝั่่ง สามารถให้ผลผลิตเทียบเท่ากับการให้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ซึ่งสูงกว่าการให้ปุ๋ยมูลวัว 500 กิโลกรัมต่อไร่ จากการศึกษาของ Sriwichan and Srisa-ard (2020) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยมูลวัว อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าการให้ปุ๋ยมูลวัวที่อัตรา 500 1,000 และ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งทั้ง 3 อัตราให้ผลผลิตไม่ต่างกัน สำหรับข้าวเก่าบางพระเป็นข้าวที่เพิ่งได้รับการปรับปรุงมาได้ไม่นาน โดยได้ปรับปรุงพันธุ์จนได้สายพันธุ์แท้ที่มีลักษณะดีเด่นเมื่อปี พ.ศ. 2561 จึงยังไม่มีข้อมูลการทดสอบการให้ปุ๋ยชนิดต่างๆ นอกจากนั้นปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดให้ธาตุอาหารแก่พืชในปริมาณที่แตกต่างกัน (Li et al., 2018) มีศักยภาพในการปลดปล่อยธาตุอาหารในระยะเวลาที่ต่างกัน ดังนั้นการรักษามูลผลิตข้าวภายใต้การจัดการปุ๋ยอินทรีย์ให้เทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีจึงมีความซับซ้อน การผสมผสานชนิดของปุ๋ยอินทรีย์และมีวิธีการจัดการปุ๋ยที่ดี จะสามารถเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ต้นข้าว และส่งผลให้ผลผลิตของข้าวสูงเทียบเท่าปุ๋ยเคมีได้ การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาผลของการใช้ชนิดของปุ๋ยคอกในอัตราที่แตกต่างกัน รวมทั้งการใช้ปุ๋ยพืชสดร่วมกับปุ๋ยคอก ต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในข้าว 2 พันธุ์คือ ข้าวดอกมะลิ 105 และเก่าบางพระ

วิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลอง

ใช้พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ คือ ก่ำบางพระ และขาวดอกมะลิ 105 วางแผนการทดลองแบบ Split plot design จำนวน 3 ซ้ำ โดยให้กรรมวิธีการจัดการปุ๋ย เป็น main plot และพันธุ์ข้าว เป็น sub plot ขนาดแปลงย่อย 2 x 2 เมตร จำนวน 60 แปลง กรรมวิธีการให้ปุ๋ยประกอบด้วย 10 กรรมวิธี คือ T1=ไม่ใส่ปุ๋ย T2=ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ + สูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ T3=มูลวัว อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ (1.25 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย) T4= มูลวัว อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (2.5 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย) T5=มูลไก่ อัตรา 150 กิโลกรัมต่อไร่ (0.375 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย) T6=มูลไก่ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ (0.75 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย) T7=มูลวัว อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + มูลไก่ อัตรา 150 กิโลกรัมต่อไร่ T8=ปุ๋ยพืชสดปอเทือง + มูลวัว อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ T9=ปุ๋ยพืชสดปอเทือง + มูลไก่ อัตรา 150 กิโลกรัมต่อไร่ T10= ปุ๋ยพืชสดปอเทือง + มูลวัว อัตรา 250 กิโลกรัมต่อไร่ + มูลไก่ อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่

การจัดการกรรมวิธี

กรรมวิธีที่มีการให้ปุ๋ยพืชสดปอเทือง หว่านเมล็ดปอเทืองที่อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อถึงระยะออกดอก (50 วันหลังหว่าน) ทำการย่อยปอเทืองลงในแปลง พร้อมกับเติมมูลสัตว์ตามแต่ละกรรมวิธีลงไป จากนั้นทำการไถกลบพร้อมกัน ทิ้งไว้ 30 วัน เมื่อครบกำหนด ทำการย้ายต้นกล้าข้าวลงแปลงปลูก กรรมวิธีให้ปุ๋ยมูลสัตว์และปุ๋ยพืชสดให้เพียงครั้งเดียวก่อนปลูก สำหรับกรรมวิธีให้ปุ๋ยเคมี ให้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ 15 วันหลังย้ายปลูก จากนั้นให้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ (50 กรัมต่อแปลงย่อย) ที่ 40 วัน และ 60 วันหลังย้ายปลูก โดยแบ่งใส่ครั้งละ 10 กิโลกรัมต่อไร่ (25 กรัมต่อแปลงย่อย)

การบันทึกผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

สุ่มเก็บตัวอย่างดินเพื่อวัดคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของชุดดินก่อนและหลังทำการทดลอง เพื่อวัดคุณสมบัติของดิน เมื่อถึงระยะออกดอก บันทึกวันออกดอกที่ 50 เปอร์เซ็นต์ของแปลงย่อย เมื่อถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา สุ่มต้นข้าวจำนวน 16 ต้น ในแต่ละแปลงย่อย บันทึกจำนวนหน่อต่อต้น จำนวนรวงต่อต้น และน้ำหนักเมล็ดต่อต้น สุ่มรวงข้าวจำนวน 2 รวงในแต่ละแปลงย่อย บันทึกจำนวนดอกต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง และคำนวณเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ Analysis of Variance ตามแผนการทดลอง Split-plot design เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย LSD (Least significant difference) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ นำลักษณะทางพืชไร่มาหาความสัมพันธ์กับผลผลิต โดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ด้วยวิธี Pearson Correlation

ผลการศึกษาและวิจารณ์

คุณสมบัติของดินก่อนทำการทดลองพบว่าปริมาณธาตุไนโตรเจน โปแทสเซียม และอินทรีย์วัตถุในดิน อยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในระดับปานกลาง (Table 1) หลังทำการทดลองและเก็บเก็บเกี่ยวผลผลิตออกจากแปลงพบว่า กรรมวิธีให้ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงขึ้นอยู่ในระดับปานกลาง ในขณะที่กรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ยเคมียังคงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ สำหรับธาตุไนโตรเจน พบว่า กรรมวิธีการให้ปุ๋ยอินทรีย์ให้ไนโตรเจนต่ำถึงปานกลาง ในขณะที่กรรมวิธีการให้ปุ๋ยเคมีให้ไนโตรเจนระดับปานกลาง กรรมวิธีให้ปุ๋ยอินทรีย์ให้ฟอสฟอรัสตั้งแต่ระดับปานกลางถึงสูง ในขณะที่กรรมวิธีให้

ปุ๋ยเคมีอยู่ในระดับปานกลาง นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีความสัมพันธ์กับระดับธาตุฟอสฟอรัสในดิน โดยส่วนใหญ่พบว่ากรรมวิธีที่ให้อินทรีย์วัตถุในดินต่ำ จะมีระดับฟอสฟอรัสในดินต่ำ แสดงให้เห็นว่าการให้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มระดับธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินได้เช่นเดียวกับปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตามเนื่องจากพื้นที่ทำการทดลองมีสัดส่วนของดินทรายสูง ปริมาณธาตุโปแทสเซียมจึงต่ำ (Jalali and Rowell, 2003) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในฤดูแรกจึงยังไม่อาจเพิ่มระดับของโปแทสเซียมในดินได้

จากการทดลองพบว่า การจัดการปุ๋ยที่ต่างกัน ส่งผลให้ลักษณะวันออกดอก ความสูงต้น ของข้าวทั้งสองสายพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (Table 2) ในพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ภายใต้กรรมวิธีให้ปุ๋ยมูลวัว 500 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่าออกดอกช้าที่สุดที่ 115 วัน ในขณะที่กรรมวิธีอื่นออกดอกไม่ต่างกันอยู่ที่ 94-97 วัน ส่วนพันธุ์ก่ำบางพระพบว่าวันออกดอกไม่มีความแตกต่างกันทั้งกรรมวิธีไม่ให้ปุ๋ย ให้ปุ๋ยเคมี และให้ปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 90-93 วัน เนื่องจากข้าวทั้งสองพันธุ์เป็นพันธุ์ที่ตอบสนองต่อช่วงแสง แต่มีความอ่อนไหวต่อช่วงแสงสั้นแตกต่างกัน ส่งผลให้มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ อย่างไรก็ตามมีรายงานว่า การใส่ปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนที่สูงมีผลต่อการออกดอกของข้าว โดยส่งผลให้ออกดอกช้าลง (Ye et al., 2019) ในงานวิจัยนี้กรรมวิธีให้ปุ๋ยมูลวัวเพียงอย่างเดียวอาจเป็นสาเหตุให้ข้าวออกดอกช้าได้ ในลักษณะความสูงต้นพบว่าในพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ภายใต้กรรมวิธีให้ปุ๋ยมูลวัว 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ กรรมวิธีให้ปุ๋ยมูลไก่ 300 กิโลกรัมต่อไร่ กรรมวิธีให้ปุ๋ยพืชสดปอ

เทือง + มูลไก่ 150 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีให้ปุ๋ยพืชสดพอเทือง + มูลวัว 250 กิโลกรัมต่อไร่ + มูลไก่ 75 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ความสูงต้นสูงที่สุด อยู่ระหว่าง 124 -127 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีให้ปุ๋ยเคมี ในพันธุ์ก่ำบางพระพบว่ากรรมวิธีให้ปุ๋ยมูลไก่ 150 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีปุ๋ยพืชสดพอเทือง + มูลวัว 250 กิโลกรัมต่อไร่ + มูลไก่ 75 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ความสูงต้นสูงที่สุดที่ 131-133 เซนติเมตร ส่วนกรรมวิธีให้ปุ๋ยมูลวัว 500 และ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีให้ปุ๋ยพืชสดพอเทือง + มูลไก่ 150 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ความสูงไม่ต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมี โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 125-129 เซนติเมตร

ลักษณะจำนวนหน่อต่อต้นพบว่าในพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กรรมวิธีการให้ปุ๋ยมูลไก่ 150 และ 300 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยพืชสดพอเทือง + มูลไก่ 150 กิโลกรัมต่อไร่ ให้จำนวนหน่อสูงสุดที่ 7 หน่อต่อต้น (Table 3) ในขณะที่กรรมวิธีอื่นมีค่าอยู่ระหว่าง 5-6 หน่อต่อต้น ส่วนพันธุ์ก่ำบางพระพบว่ากรรมวิธีให้ปุ๋ยพืชสดพอเทือง + มูลวัว 250 กิโลกรัมต่อไร่ + มูลไก่ 75 กิโลกรัมต่อไร่ ให้จำนวนหน่อต่อต้นสูงสุดที่ 6 หน่อ เช่นเดียวกับลักษณะจำนวนรวงต่อต้น ที่พบว่าภายใต้กรรมวิธีดังกล่าว พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ก่ำบางพระ ให้จำนวนรวงสูงสุด ที่ 7 รวง และ 5 รวง ลักษณะจำนวนดอกต่อรวงพบว่า ในพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีให้จำนวนดอกต่อรวงสูงที่สุดที่ 123 ดอก ไม่ต่างจากกรรมวิธี ปุ๋ยพืชสดพอเทือง + มูลวัว 250 กิโลกรัมต่อไร่+ มูลไก่ 75 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ให้ 114 ดอกต่อรวง (Table 4) ในขณะที่พันธุ์ก่ำบางพระพบว่า ปุ๋ยมูลวัว 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยมูลไก่ 150 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีปุ๋ยพืชสดพอเทือง + มูลวัว อัตรา 250 กิโลกรัมต่อไร่+ มูลไก่ อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ ให้จำนวนดอกต่อรวงสูงที่สุดตั้งแต่ 123-128 ดอก ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีการให้ปุ๋ยเคมี ลักษณะอัตราการติดเมล็ดต่อรวงพบว่าทั้งสองพันธุ์ส่วนใหญ่มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดยในพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีกรรมวิธีที่ให้เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ คือ การให้ปุ๋ยมูลไก่ 150 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเท่ากับการให้ปุ๋ยเคมี คือ 90-91 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พันธุ์ก่ำบางพระพบในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยมูลวัว 500 และ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และมูลไก่ 150 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเท่ากับการให้ปุ๋ยเคมี โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 90-95 เปอร์เซ็นต์ จากลักษณะอัตราการติดเมล็ดที่เท่ากันแสดงให้เห็นว่าหากมีปริมาณธาตุอาหารเพียงพอภายในลำต้น ศักยภาพการติดเมล็ดของข้าวทั้งสองพันธุ์จะเท่า ๆ กัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากลักษณะจำนวนดอกต่อรวงเป็นลักษณะที่กำหนดการติดเมล็ด ดังนั้นกรรมวิธีที่ส่งเสริมจำนวนดอกต่อรวงจะส่งเสริมให้ผลผลิตสูงขึ้นด้วย มีรายงานว่าช่วงที่ต้องการธาตุอาหารมากที่สุดคือระยะสร้างหน่อ จนถึงระยะน้ำนม ซึ่งเป็นช่วงที่มีการดูดธาตุอาหารและเคลื่อนย้ายธาตุอาหารต่าง ๆ ได้ดี (Sánchez-Reinoso et al., 2019) หากมีปริมาณธาตุอาหารเพียงพอ จะสามารถเพิ่มการเคลื่อนย้ายสารอาหารไปยังเมล็ดในช่วงเติมเต็มเมล็ดได้ดี (Zhang et al., 2020) แสดงให้เห็นว่าหากจัดการปุ๋ยอินทรีย์ในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นได้ดี จะทำให้ผลผลิตสูงตามไปด้วย ในลักษณะผลผลิตต่อต้น พบว่ากรรมวิธีการให้ปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตข้าวทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อมีการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ในข้าวทั้งสองพันธุ์ พบว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีแนวโน้มตอบสนองต่อการให้ปุ๋ยอินทรีย์ได้ดีกว่าก่ำบางพระ โดยจะเห็นว่าเมื่อมีการให้ปุ๋ย มูลไก่ 150 และ 300 กิโลกรัมต่อไร่ และ ปุ๋ยพืชสดพอเทือง+มูลวัว 500 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้ผลผลิตสูงกว่าการให้ปุ๋ยเคมี โดยให้ผลผลิตสูงสุดอยู่ที่ 27-29 กรัมต่อต้น คิดเป็น 14-18 เปอร์เซ็นต์เทียบกับปุ๋ยเคมี ในขณะที่ก่ำบางพระยังคงให้ผลผลิตต่ำกว่าการให้ปุ๋ยเคมี สอดคล้องกับรายงานของ Arianti et al. (2022) ที่พบว่าข้าวแต่ละพันธุ์ตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพันธุ์ก่ำบางพระสามารถให้ผลผลิตสูงกว่าการให้ปุ๋ยเคมีได้ภายใต้การจัดการให้ปุ๋ยพืชสด + มูลวัว 250 กิโลกรัมต่อไร่+ มูลไก่ 75 กิโลกรัมต่อไร่ โดยให้ผลผลิตที่ 25 กรัมต่อต้น ซึ่งเพิ่มขึ้น 24 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับการให้ปุ๋ยเคมี

โดยทั่วไปปุ๋ยมูลไก่มีปริมาณธาตุอาหารหลักที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชสูงกว่าปุ๋ยมูลวัวประมาณ 2 เท่า จากงานทดลองที่ผ่านมา มีรายงานว่าในปุ๋ยมูลไก่มีไนโตรเจนอยู่ 2.65 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 2.11 เปอร์เซ็นต์ และโปแทสเซียม 2.33 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปุ๋ยมูลวัวมี ไนโตรเจน 1.30 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.81 เปอร์เซ็นต์ และโปแทสเซียม 1.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Detpiratmongkol et al., 2014) ในขณะที่ปุ๋ยพืชสดพอเทืองให้ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม ร้อยละ 2.11 0.12 และ 1.43 ตามลำดับ และมีอินทรีย์วัตถุสูงถึง ร้อยละ 52.5 (Sinkumkoon et al., 2015) การเพิ่มปุ๋ยพืชสดพอเทืองเข้าไปในการจัดการปุ๋ยอินทรีย์จึงเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรีย์ให้สูงกว่ากรรมวิธีอื่น และเพิ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์แก่พืชมากขึ้น ในขณะเดียวกัน ยังเพิ่มปริมาณธาตุไนโตรเจน และโปแทสเซียมในปริมาณที่มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยมูลวัวเพียงอย่างเดียวที่มีปริมาณธาตุอาหารหลักค่อนข้างต่ำมาก สอดคล้องกับงานทดลองของ (Abouhoussein et al., 2003) ที่รายงานว่าปุ๋ยมูลวัวร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ให้ผลผลิตมันฝรั่งสูงกว่าการให้ปุ๋ยมูลวัวเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าปุ๋ยมูลไก่เมื่อมีการหมักจะมีความเป็นกรดสูงกว่ามูลวัว (Inkate et al., 2020) นอกจากนั้นการใส่มูลไก่ในอัตราที่สูงอาจทำให้ดินมีความเค็ม ทำให้รากดูดน้ำได้น้อย ส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลงได้ ดังนั้นการเพิ่มปุ๋ยมูลไก่จาก 150 เป็น 300 กิโลกรัมต่อไร่ อาจเป็นสาเหตุให้ผลผลิตข้าวในพันธุ์ก่ำบางพระลดลง

เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรพบว่า ผลผลิตในพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีความสัมพันธ์ทางบวกกับจำนวนหน่อต่อต้น ($r=0.61$, $P<0.01$) และจำนวนรวงต่อต้น ($r=0.68$, $P<0.001$) (Table 5) สอดคล้องกับ

กรรมวิธีที่ส่งเสริมจำนวนหน่อและรวงต่อต้นคือ การให้ปุ๋ยมูลไก่ทั้ง 150 และ 300 กิโลกรัมต่อไร่ และส่งผลให้ผลผลิตสูงสุดในพันธุ์นี้ ในขณะที่ผลผลิตของข้าวกำบางพระมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความสูงต้น ($r=0.66$, $P<0.001$) จำนวนหน่อต่อต้น ($r=0.68$, $P<0.001$) จำนวนรวงต่อต้น ($r=0.69$, $P<0.001$) และจำนวนดอกต่อรวง ($r=0.52$, $P<0.01$) ซึ่งสอดคล้องกับกรรมวิธีที่ส่งเสริมลักษณะดังกล่าวคือกรรมวิธีให้ปุ๋ยพืชสดปอเทือง + มูลวัว 250 กิโลกรัมต่อไร่ + มูลไก่ 75 กิโลกรัมต่อไร่ โดยส่งผลให้ผลผลิตต่อต้นสูงสุดในพันธุ์กำบางพระ

เนื่องจากข้าวทั้งสองพันธุ์เป็นพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งโดยทั่วไปตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยน้อยกว่าข้าวพันธุ์สมัยใหม่ การให้ปุ๋ยอินทรีย์ถึงแม้จะมีปริมาณธาตุอาหารต่ำก็สามารถให้ผลผลิตเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสมได้ จากผลการศึกษาในครั้งนี้ กรรมวิธีให้ปุ๋ยพืชสดปอเทือง + มูลวัว 250 กิโลกรัมต่อไร่ + มูลไก่ 75 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นกรรมวิธีที่ส่งเสริมจำนวนหน่อต่อต้น จำนวนรวงต่อต้น ในข้าวทั้งสองพันธุ์ได้ดีที่สุดซึ่งมีแนวโน้มส่งผลให้ผลผลิตสูงตามไปด้วย จึงน่าจะเป็นแนวทางการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมที่ในพันธุ์พื้นเมืองพันธุ์อื่น ๆ ได้

Table 1 Levels of nitrogen, phosphorus, potassium, pH, and organic matter (OM) before and after fertilizer application

Fertilizer management	Nitrogen (%)			Phosphorus (mg/kg)				Potassium (mg/kg)			pH	OM (%)		
	Low (0.05-0.09)	Medium (0.10-0.14)	High >0.14	Low (3-10)	Medium (11-25)	High (26-45)	Very high >45	Low (31-60)	Medium (61-90)	High >90		Low (0.6-1.5)	Medium (1.6-3.5)	High >3.5
Pre planting		Low			Medium				Low		6		Low	
T1		Low			Low				Low		6		Low	
T2		Medium			Medium				Low		6		Low	
T3		Low			Medium				Low		6		Medium	
T4		Medium			High				Low		6		High	
T5		Low			High				Low		6		High	
T6		Low			Very high				Low		6		Medium	
T7		Low			Very high				Low		6		High	
T8		Medium			High				Low		6		Medium	
T9		Medium			Very high				Low		6		Medium	
T10		Medium			High				Low		6		Medium	

T1=no fertilizer, T2=chemical fertilizers, T3=cow manure 500 kg./rai, T4=cow manure 1,000 kg./rai, T5=chicken 150 kg./rai, T6=poultry manure 300 kg./rai, T7=cow manure 500 kg./rai+ chicken 150 kg./rai, T8=green manure + cow manure 500 kg./rai, T9=green manure + chicken 150 kg./rai, T10=green manure + cow manure 250 kg./rai + chicken 75 kg./rai.

Table 2 Effect of organic fertilizer management on flowering date and plant height of panicles per plant of KDML105 and KBP rice varieties

Treatments (T)/Varieties (V)	Flowering date			Plant height (cm)		
	Varieties		Mean	Varieties		Mean
	KDML105	KBP		KDML105	KBP	
T1	94.3 Ba	92.0 Aa	93.2	113.27 Da	114.18 Fa	113.72
T2	94.0 Ba	92.0 Aa	93.0	116.13 CDa	128.57 ABb	122.35
T3	115.3 Aa	91.3 Ab	103.3	118.93 BCb	128.13 BCa	123.53
T4	95.0 Ba	90.3 Ab	92.7	124.60 ABa	125.13 BCDA	124.87
T5	95.7 Ba	91.7 Ab	93.7	127.27 Aa	131.33 Aa	129.30
T6	96.3 Ba	93.3 Ab	94.8	119.60 BCa	119.67 DEFa	119.63
T7	95.0 Ba	92.3 Ab	93.7	116.60 CDa	118.47 EFa	117.53
T8	97.3 Ba	92.7 Ab	95.0	117.87 CDa	122.27 CDEa	120.07
T9	95.3 Ba	90.3 Ab	92.8	126.67 Aa	127.60 BCa	127.13
T10	94.3 Ba	92.0 Aa	93.2	127.13 Ab	133.00 Aa	130.07
Mean	97.3	91.8		120.81	124.83	
CV (%) ¹	3.08			3.57		
CV (%) ²	1.49			2.03		
F-test		LSD (0.05)			LSD (0.05)	
T	**	3.53		**	5.3249	
V	**	0.76		**	1.3419	
TxV	**			**		
TxV (same level of treatment)		2.4			4.2435	
TxV (different levels of treatment)		3.91			6.1121	

¹ = (replication x treatment), ² = (replication x treatment x variety). ** mean significant at P<0.01. Different upper-case and lower-case letters are indicated to mean different within a column and row, respectively. T1=no fertilizer, T2=chemical fertilizers, T3=cow manure 500 kg./rai, T4=cow manure 1,000 kg./rai, T5=chicken 150 kg./rai, T6=poultry manure 300 kg./rai, T7=cow manure 500 kg./rai+ chicken 150 kg./rai, T8=green manure + cow manure 500 kg./rai, T9=green manure + chicken 150 kg./rai, T10=green manure + cow manure 250 kg./rai + chicken 75 kg./rai.

Table 3 Effect of organic fertilizer management on the number of tiller per plant and number of panicles per plant of KDML105 and KBP rice varieties

Treatment (T)/Varieties (V)	Number of tiller/ plant			Number of panicle/ plant		
	Varieties		Mean	Varieties		Mean
	KDML105	KBP		KDML105	KBP	
T1	5.26 DEa	3.06 Eb	4.16	4.13 Ea	3.06 Ab	3.60
T2	5.46 DEa	4.93 BCa	5.20	4.86 DEa	4.73 Aa	4.80
T3	5.06 Ea	4.73 BCa	4.90	4.80 DEa	4.26 Aa	4.53
T4	6.40 BCa	4.40 CDb	5.40	6.00 ABCa	3.60 Ab	4.80
T5	7.40 Aa	5.20 Bb	6.30	7.00 Aa	4.66 Ab	5.83
T6	7.00 ABa	3.73 DEb	5.36	6.53 ABa	3.53 Ab	5.03
T7	5.60 DEa	4.73 BCb	5.16	5.53 BCda	3.60 Ab	4.56
T8	5.93 CDa	4.66 BCb	5.30	5.06 CDEa	3.73 Ab	4.40
T9	6.53 BCa	5.13 BCa	5.83	5.13 CDEa	3.86 Ab	4.50
T10	5.60 DEa	6.20 Aa	5.90	5.53 BCda	5.20 Aa	5.36
Mean	6.02	4.67		5.45	4.02	
CV (%) ¹	8.38			15.15		
CV (%) ²	8.55			11.26		
F-test		LSD (0.05)			LSD (0.05)	
T	**	0.5446		**	0.8714	
V	**	0.2464		**	0.2877	
TxV	**			**		
TxV (same level of treatment)		0.7793			0.9098	
TxV (different levels of treatment)		0.7747			1.0831	

¹ = (replication*treatment), ² = (replication*treatment*variety). ** mean significant at P<0.01. Different upper-case and lower-case letters are indicated to mean different within a column and row, respectively. T1=no fertilizer, T2=chemical fertilizers, T3=cow manure 500 kg./rai, T4=cow manure 1,000 kg./rai, T5=chicken 150 kg./rai, T6=poultry manure 300 kg./rai, T7=cow manure 500 kg./rai+ chicken 150 kg./rai, T8=green manure + cow manure 500 kg./rai, T9=green manure + chicken 150 kg./rai, T10=green manure + cow manure 250 kg./rai + chicken 75 kg./rai.

Table 4 Effect of organic fertilizer management on number of spikelets per panicle, percentage of seed set and grain weight per plant of KDML105 and KBP rice varieties

Treatments (T)/Varieties (V)	Number of spikelet/panicle			Percentage of seed set			Grain weight/ plant (g.)		
	Varieties		Mean	Varieties		Mean	Varieties		Mean
	KDML105	KBP		KDML105	KBP		KDML105	KBP	
T1	80.86 Ca	90.06 Ca	85.46	83.35 BCa	81.90 Ca	82.62	12.58 Ea	6.68 Ca	9.63
T2	123.00 Aa	123.00 Aa	123.00	90.77 Aa	90.67 ABa	90.72	23.95 BCa	18.79 Ba	21.37
T3	90.46 Cb	114.66 ABa	102.56	88.00 ABa	91.29 ABa	89.64	15.19 DEa	11.02 Ca	13.11
T4	90.20 Cb	123.93 Aa	107.06	88.17 ABb	95.47 Aa	91.82	19.36 CDa	9.05 Cb	14.21
T5	97.26 BbC	124.26 Aa	110.76	90.20 ABa	93.16 ABa	91.68	29.38 Aa	16.82 Bb	23.1
T6	86.73 Ca	97.26 BCa	92.00	80.56 Ca	86.72 Bb	83.64	28.58 ABa	11.20 Cb	19.89
T7	86.93 Ca	97.86 BCa	92.40	81.02 Cb	89.63 ABa	85.32	16.05 DEa	9.87 Cb	12.96
T8	92.40 BCa	98.20 BCa	95.30	89.27 ABa	87.02 Ba	88.15	27.77 ABa	10.84 Cb	19.3
T9	93.80 Bcb	111.33 ABb	102.56	88.28 ABa	89.04 ABa	88.66	23.97 BCa	9.54 Cb	16.75
T10	114.33 ABa	128.00 Aa	121.16	86.24 ABCa	89.11 ABa	87.67	20.85 Ca	24.69 Aa	22.77
Mean	92.55	109.51		86.58	89.4		21.77	12.85	
CV (%) ¹	13.22			5.39			13.26		
CV (%) ²	11.58			3.54			18.73		
F-test		LSD (0.05)			LSD (0.05)			LSD (0.05)	
T	**	16.554		**	5.75		**	2.785	
V	**	6.4391		**	1.677		**	1.746	
TxV	**			**			**		
TxV (same level of treatment)		20.362			5.303			5.523	
TxV (different levels of treatment)		21.94			6.864			4.797	

¹ = (replication*treatment), ² = (replication*treatment*variety). ** mean significant at P<0.01. Different upper-case and lower-case letters are indicated to mean different within a column and raw, respectively. T1=no fertilizer, T2=chemical fertilizers, T3=cow manure 500 kg./rai, T4=cow manure 1,000 kg./rai, T5=chicken 150 kg./rai, T6=poultry manure 300 kg./rai, T7=cow manure 500 kg./rai+ chicken 150 kg./rai, T8=green manure + cow manure 500 kg./rai, T9=green manure + chicken 150 kg./rai, T10=green manure + cow manure 250 kg./rai + chicken 75 kg./rai.

Table 5 Correlation coefficient (r) between grain weight per plant and agronomic traits of KDML105 and KBP rice varieties

Traits	KDML105		KBP	
	r	P-value	r	P-value
Plant height (cm.)	0.34	0.0685	0.66	0.0001
Number of tillers per plant	0.68	0.0000	0.68	0.0000
Number of panicles per plant	0.61	0.0004	0.69	0.0000
Number of spikelets per panicle	0.27	0.1455	0.53	0.0029
Seed set (%)	0.33	0.0734	0.14	0.4633

สรุปผลการศึกษา

ข้าวทั้งสองพันธุ์ตอบสนองต่อการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ที่แตกต่างกัน พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีแนวโน้มตอบสนองต่อการให้ปุ๋ยอินทรีย์ได้ดีกว่าก่ำบางพระ การให้ปุ๋ยมูลไก่เพียงอย่างเดียวสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ ในขณะที่ข้าวก่ำบางพระต้องให้ ปุ๋ยพืชสดพอเพียงโดยใช้อัตราการหว่านเมล็ดที่ 10 กิโลกรัมต่อไร่ และไถกลบร่วมกับมูลวัว 250 กิโลกรัมต่อไร่ และมูลไก่ 75 กิโลกรัมต่อไร่ การให้ปุ๋ยอินทรีย์ในข้าวทั้งสองพันธุ์ถึงแม้จะมีปริมาณธาตุอาหารต่ำก็สามารถให้ผลผลิตเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีได้ อย่างไรก็ตามกรรมวิธีให้ปุ๋ยพืชสดร่วมกับมูลวัว 250 กิโลกรัมต่อไร่และมูลไก่ 75 กิโลกรัมต่อไร่ น่าจะเป็นแนวทางที่ดีในการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ในข้าวพันธุ์อื่น ๆ ด้วย

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2566 ในการสนับสนุนงบประมาณ

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และสมมุติฐาน: สุพรรณษา ชินวรรณ. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบการทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: สุพรรณษา ชินวรรณ และณัฐญา เรือนแป้น. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: สุพรรณษา ชินวรรณ, วชิราภรณ์ เรือนแป้น และธนาวัฒน์ เยมอ. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: สุพรรณษา ชินวรรณ, ณัฐญา เรือนแป้น และธนาวัฒน์ เยมอ. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript: สุพรรณษา ชินวรรณ และณัฐญา เรือนแป้น. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ: วชิราภรณ์ เรือนแป้น.

เอกสารอ้างอิง

- Abouhoussein, S., El-Shorbagy, T., & Abou Hadid, A. (2003). Effect of cattle and chicken manure with or without mineral fertilizers on tuber quality and yield of potato crops. *Acta Horticulturae*, 608(1), 95-100.
- Arianti, F., Pertiwi, M. D., Triastono, J., Purwaningsih, H., Minarsih, S., Kristamtini, K., Hindarwati, Y., Jauhari, S., Sahara, D., & Nurwahyuni, E. (2022). Study of organic fertilizers and rice varieties on rice production and methane emissions in nutrient-poor irrigated rice fields. *Sustainability*, 14(10), 5919.
- Assefa, S., & Tadesse, S. (2019). The principal role of organic fertilizer on soil properties and agricultural productivity-a review. *Agricultural Research and Technology: Open Access Journal*, 22(2), 46-50.
- Atman, A., Bakrie, B., & Indrasti, R. (2018). Effect of cow manure dosages as organic fertilizer on the productivity of organic rice in West Sumatra, Indonesia. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 3(2), 506-511.
- Detpiratmongkol, S., Ubolkerd, T., & Yoosukyingstaporn, S. (2014). Effects of chicken, pig and cow manures on growth and yield of Kalmegh (*Andrographis paniculata* Nees). *Journal of Agricultural Technology*, 10(2), 475-482.
- Domyos, S. (2013). Influence of crotalaria juncia seed rate on yield and yield components and nitrogen content of Sangyod Phatthalung rice grown in paddy soil of phatthalung soil series. *Thai Journal of Soils and Fertilizers*, 35(1-4), 36-44.
- Inkate, C., Pramojanee, P., & Panomjan, N. (2020). Chemical properties and nutrients of aerated compost produced from napier grass, sweet corn and water hyacinth. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 48(1), 465-472. (in Thai).
- Jalali, M., & Rowell, D. (2003). The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil. *Experimental Agriculture*, 39(4), 379-394.
- Latt, Y. K., Myint, A. K., Yamakawa, T., & Ogata, K. (2009). The effects of green manure (*Sesbania rostrata*) on the growth and yield of rice. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 54(2), 313-319.
- Li, C., Liu, S., Yang, J., Wang, Y., Tang, L., Tu, N., & Yi, Z. (2018). Impacts of partial substitution of chemical nitrogen fertilizer with different organic fertilizers on double cropping rice growth and yield. *Journal of Southern Agriculture*, 49(6), 1102-1110.
- Kasikorn Reserch Center. (2017). **Organic Rice: Market Potential that Continues to Grow (Economic Outlook, Issue 1991)**. Retrieved from: <https://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-econ/business/Pages/9215.aspx>. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics (2023). **Organic Marketplace in Thailand**. Retrieved from: [https://www.oae.go.th/view/1/News/Details/All news/41672/TH-TH](https://www.oae.go.th/view/1/News/Details/All%20news/41672/TH-TH). (in Thai).
- Rann, V., Anusontpornperm, S., Thanachit, S., & Sreewongchai, T. (2016). Response of KDML105 and RD41 rice varieties grown on a Typic Natrustalf to granulated pig manure and chemical fertilizers. *Agriculture and Natural Resources*, 50(2), 104-113.
- Sánchez-Reinoso, A. D., Nieto, M. F., Dossmann, J., Camacho-Tamayo, J. H., & Restrepo-Díaz, H. (2019). Nutrient uptake, partitioning, and removal in two modern high-yielding Colombian rice genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 42(8), 2373-2387.
- Sanjay, S., & Dev, S. P. (2000). Effect of green manuring of sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) on rice yield, nitrogen turnover and soil properties. *Crop Research (Hisar)*, 19(3), 418-423.
- Shwe, K. K., Mar, S. S., Win, T., Hlaing, W. Y., Thwin, H. M., Ngwe, K., & Sakai, T. (2022). Effect of chicken manure and chemical fertilizer applications on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Environmental and Rural Development*, 12(1), 149-155.
- Sinkumkoon, P., Thanachit, S., Anusontpornperm, S., Kheoruenromne, I., Petprapai, P., & Bowichean, R. (2015). Influences of green manures and N-fertilizer management on nutrient uptakes and yield of cassava on a degraded sandy soil. *Agriculture and Natural Resources*, 49(3), 375-389.
- Sriwichan, Y., & Srisa-ard, K. (2020). **Effects of Organic Fertilizer on Growth, Yield and Grain Quality of KDML 105 Rice Variety under Upper Paddy and Lower Paddy of Rainfed Rice Land**. Doctoral dissertation. Mahasarakham University.
- Sukkasem, G., & Anusontpornperm, S. (2020). Effect of bee product, organic and chemical fertilizers on Khao Dawk Mali 105 (KDML 105) rice planted in different paddy soils, Ubon Ratchathani province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 48(1), 221-236.
- Sukyankij, S., Pluemphuak, T., & Panich-pat, T. (2019). Effects of green manures and fertilizer managements on yield, nutrient uptake and economic return of rice cv. RD47 Grown in Ayutthaya Soil Series. *Journal of Agriculture*, 35(1), 61-73. (in Thai).
- Ye, T., Li, Y., Zhang, J., Hou, W., Zhou, W., Lu, J., Xing, Y., & Li, X. (2019). Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization affects the flowering time of rice (*Oryza sativa* L.). *Global Ecology and Conservation*, 20(1), e00753.
- Zhang, L., Liang, Z.-y., He, X.-m., Meng, Q.-f., Hu, Y., Schmidhalter, U., Zhang, W., Zou, C.-q., & Chen, X.-p. (2020). Improving grain yield and protein concentration of maize (*Zea mays* L.) simultaneously by appropriate hybrid selection and nitrogen management. *Field Crops Research*, 249(1), 107754.

ผลของการเตรียมเมล็ดพันธุ์ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือน

Effect of Pre-sowing Seed Treatments on Germination and Vigor of the Samdeun Upland Rice Seed

นัฐวรรณ บุชบา¹, ณัฐกานต์ โชติชัย¹, พรพิมล สว่างศรี¹, ประภัสสร วิจิตรจันทร์¹, จริญญา แวกสวัสดิ์¹, อารมย์ ศรีพิจิตต์¹, ธนสิน ทับทิมโต¹, ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล¹, ภคนันท์ เจียมแท้² และธีรวัฒน์ ศรีตโยภาส^{1*}

Nattawan Bussaba¹, Nattikan Chottichai¹, Pronpimon Sawangsri¹, Prapasorn Wijitjun¹, Charanya Khaeksawad¹, Arom Sripichitt¹, Thanasin Thabthimtho¹, Phairat Phimsirikul¹, Pakanan Jiamtae² and Teerawat Sarutayophat^{1*}

Received date: 23 ก.ย. 67 Revised date: 16 ม.ค. 68 Accepted date: 18 ก.พ. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.30.016>

บทคัดย่อ

การปลูกพืชด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพสูงทำให้การงอกของเมล็ด การตั้งตัวของต้นกล้าและการให้ผลผลิตสูงขึ้นตามไป ด้วย การเตรียมเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูกทำให้ความงอกของเมล็ดพันธุ์พืชหลายชนิดเพิ่มขึ้น จึงทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของการเตรียมเมล็ดพันธุ์ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 4 ซ้ำ เตรียมเมล็ดพันธุ์ 10 กรรมวิธี ดังนี้ แช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำพร้อมให้ก๊าซออกซิเจนที่ 18 องศาเซลเซียส (hydropriming) เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง แช่เมล็ดพันธุ์ในสารละลายโปแตสเซียมไนเตรด (KNO₃) เข้มข้น 1.0% พร้อมให้ก๊าซออกซิเจนที่ 18 องศาเซลเซียส (osmopriming) เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง และแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง (traditional soaking) เปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอก ผลการทดลองพบว่า การเตรียมเมล็ดพันธุ์ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีความงอกและความแข็งแรงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธี hydropriming เป็นเวลา 24, 48, 72 ชั่วโมง และวิธี osmopriming เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นวิธีการเตรียมเมล็ดพันธุ์ที่ดีที่สุดทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีความงอกเพิ่มขึ้นเป็น 83.50, 81.50, 81.00 และ 83.00% ตามลำดับ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก (71.00%) ขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกตามวิธีที่เกษตรกรใช้มีความงอก 76.50%

คำสำคัญ: การเตรียมเมล็ดพันธุ์ ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ไฮโดรไพรมมิง ออสโมไพรมมิง

Abstract

Direct seeding with high-quality seeds leads to an increase in germination, seedling establishment, and yield productivity. Pre-sowing treatments had increased seed germination of various crop species. This experiment was conducted to study an effect of pre-sowing seed treatments on germination and vigor of the Samdeun upland rice seeds. Completely randomized design with 4 replications was used. Ten seed treatments were as follows: soaking in water with oxygen pumping (hydropriming) at 18°C for 24, 48, 72 and 96-h, soaking in 1.0% KNO₃ with oxygen pumping (osmopriming) at 18°C for 24, 48, 72 and 96-h, soaking in water for 24-h at room temperature (traditional soaking), and a non-presowing treatment as a control treatment. Pre-sowing treatments showed a significant effect on germination percentage and all the tests for vigor. Hydropriming for 24, 48, 72-h and osmopriming for 24-h were better pre-sowing treatments for the Samdeun upland rice seeds with germination of 83.50, 81.50, 81.00, and 83.00%, respectively. These were highly significant ($p \leq 0.05$) compared to non-treated seeds (71.00%), while the traditional soaking had germination of 76.50%.

Keywords: pre-sowing seed treatment, seed germination and vigor, hydropriming, osmopriming

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

² คณะทรัพยากรภูมิภาคและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยมิยาซากิ เมืองมิยาซากิ ประเทศญี่ปุ่น 889-2155

¹ Department of Plant Production Technology, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

² Faculty of Regional Innovation, University of Miyazaki, Miyazaki, Japan, 889-2155

* Corresponding author: E-mail: teerawat.sa@kmitl.ac.th

คำนำ

เมล็ดพันธุ์พืชที่ปลูกในแปลง (direct seeded) มักจะมีการงอกและการตั้งตัวของต้นกล้าได้ไม่เท่ากับการทดสอบในห้องปฏิบัติการหรือในโรงเรือน เนื่องจากสภาพแวดล้อมในแปลงมีความแปรปรวน ซึ่งกระทบต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์และการตั้งตัวของต้นกล้า เช่น ดินร่วนไม่มากพอทำให้ผิวเมล็ดพันธุ์สัมผัสกับเนื้อดินได้น้อยจึงดูดซับน้ำจากดินเข้าสู่เมล็ดพันธุ์ได้น้อย ปริมาณน้ำที่เมล็ดพันธุ์หรือต้นกล้าได้รับมากหรือน้อยเกินไป การแพร่กระจายของวัชพืชแข่งขันกับพืชปลูก อุณหภูมิดินและอากาศร้อนหรือหนาวกว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกและการตั้งตัวของต้นกล้า เป็นต้น ซึ่งความแปรปรวนของปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เหล่านี้ย่อมส่งผลกระทบต่อผลผลิตของพืชปลูก อีกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์และการตั้งตัวของต้นกล้าของพืชที่ปลูกด้วยเมล็ดทุกชนิด คือ คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ ทั้งนี้เมล็ดพันธุ์พืชจะมีความงอกและความแข็งแรงสูงสุดที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) หลังจากนั้นคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ก็จะเริ่มลดลงโดยไม่สามารถหยุดหรือระงับการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ได้ ทำได้เพียงชลออัตราการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ (Sripichitt, 2012; Bussaba et al., 2017; Dornbos, 1995; Finch-Savage, 1995) รวมถึงอัตราการเสื่อมคุณภาพขึ้นกับชนิดพืช พันธุ์หรือพันธุ์กรรมและสภาพแวดล้อม ทั้งสภาพแวดล้อมในขณะที่เมล็ดอยู่ระหว่างการพัฒนาด้านเมแทบอลิซึมและการเปลี่ยนแปลงปลูกและสภาพแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษา โดยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่สำคัญคือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ซึ่งลักษณะอากาศแบบร้อนชื้น เช่นสภาพอากาศในประเทศไทยจะส่งผลทำให้เมล็ดพันธุ์พืชเสื่อมคุณภาพได้เร็วกว่าลักษณะอากาศแบบแห้งและเย็นในเขตอบอุ่น มี การศึกษาวิจัยที่หลากหลายในการพยายามปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมคุณภาพระดับหนึ่งแล้วให้มีคุณภาพสูงขึ้นวิธีหนึ่งที่มีรายงานว่าได้ผลดีกับเมล็ดพันธุ์พืชหลายชนิดคือ การเตรียมการงอกโดยการควบคุมการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ก่อนนำไปปลูก (seed priming) ทั้งนี้การเตรียมการงอกของเมล็ดพันธุ์มีหลายวิธี แต่วิธีที่ใช้กันมากคือ การแช่เมล็ดพันธุ์ในสารละลาย (osmopriming) รองลงมาคือ การแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำ (hydropriming) (McDonald, 2000) Bussaba et al. (2017) รายงานว่าการเตรียมการงอกด้วยวิธี hydropriming เป็นเวลา 72 ชั่วโมงเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์เล็บนกมีความงอกสูงสุด 75.0% ขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอกมีความงอกเพียง 59.0% Banjobpudsa et al. (2017) รายงานว่าการเตรียมการงอกด้วยวิธีการต่างๆ ทั้ง hydropriming เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง หรือ hardening เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง หรือ osmohardening เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง และ traditional soaking หรือการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมล็ดข้าวไร่พันธุ์นุสรามีความงอก 93.0-97.0% ขณะที่เมล็ดที่ไม่ได้เตรียมการงอกมีความงอก 78.0% Farooq and Basra (2006) รายงานว่าการเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยวิธี osmohardening ในสารละลาย KCl ที่มีค่าศักย์ของน้ำ -1.25 MPa ทำให้เมล็ดข้าวพันธุ์ KH282 มีความงอก 87.7% และให้ผลผลิต 3.23 ตัน/เฮกตาร์ สูงกว่าความงอกและผลผลิตจากเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอกที่มีความงอก 79.7% และให้ผลผลิตเพียง 2.71 ตัน/เฮกตาร์ Abdallah et al. (2016) ศึกษาผลของวิธีการและเวลาในการเตรียมการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าว 3 พันธุ์ (Inpago-8, IR64, Situ Bagendit) รายงานว่า เวลาที่เหมาะสมสำหรับเตรียมการงอกโดยวิธี hydropriming และ osmopriming ด้วยสารละลาย polyethylene glycol เข้มข้น 100 กรัม/น้ำ 1 ลิตร (PEG 100 gL⁻¹) คือเวลา 30-36 และ 63-69 ชั่วโมง ตามลำดับ เมล็ดพันธุ์ข้าว 3 พันธุ์ มีความงอกเฉลี่ยสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอกอย่างมีนัยสำคัญ Hussain et al. (2006) รายงานว่าเมล็ดพันธุ์ทานตะวันที่ผ่านการเตรียมการงอกโดยการแช่ในน้ำกลั่น 24 ชั่วโมง และการแช่ในสารละลาย NaCl เข้มข้น 0.1% 12 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์ความงอกและให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอกอย่างมีนัยสำคัญ คือให้ผลผลิตเท่ากับ 2.263, 2.260 และ 1.980 ตัน/เฮกตาร์ ตามลำดับ

พื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทยรวมทั้งนาปี นาปรังและข้าวไร่ ในปีการผลิต 2565/66 เท่ากับ 72.39 ล้านไร่ ได้ผลผลิตข้าวเปลือกที่ความชื้น 15% รวม 32.88 ล้านตัน (Office of Agricultural Economics, 2024) ในจำนวนนี้เป็นพื้นที่ปลูกข้าวไร่ประมาณ 1.2 ล้านไร่/ปี โดยข้าวไร่ทั้งหมดปลูกในฤดูฝนเพียงปีละครั้งและอาศัยเฉพาะน้ำฝน พันธุ์ข้าวไร่ที่กรมการข้าวแนะนำในปัจจุบันมีเพียง 12 พันธุ์ ได้แก่ กุเมืองหลวง ขาวโป่งไคร้ ดอกพะยอม ชิวแมงจัน เจ้าฮ่อ น้ำรู่ เจ้าลิซอ สันป่าตอง เจ้าชาวเชียงใหม่ เหนียวตาช่อไม้ไผ่ 4 อาร์ 258 และข้าวเหนียวลิ้มผั่ว ให้ผลผลิตแปรปรวนระหว่าง 210-456 กก/ไร่ (Rice Department, 2024) แต่เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้พันธุ์พื้นเมือง ที่เก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้เอง ซึ่งการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ตามวิธีของเกษตรกรที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลาประมาณ 7-8 เดือน ก่อนถึงฤดูกาลเพาะปลูกในปีถัดไปย่อมทำให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ การเตรียมเมล็ดพันธุ์ก่อนนำไปปลูก (pre-sowing treatment) เช่น การเตรียมการงอกโดยควบคุมการดูดน้ำ (priming) อาจยกระดับการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่ให้สูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลของการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือน

วิธีการศึกษา

เมล็ดพันธุ์ข้าวไร้พันธุ์สามเดือนที่บรรจุในถุงพลาสติกและเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ปี มีความงอก 71.0% วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ เมล็ดพันธุ์ 50 เมล็ด/ซ้ำ วิธีการศึกษามีรายละเอียด ดังนี้

การเตรียมเมล็ดพันธุ์

การเตรียมเมล็ดพันธุ์หรือสิ่งทดลองที่ทำการศึกษานี้มี 10 กรรมวิธี ดังนี้

ก) hydropriming คือ การแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำพร้อมให้ก๊าซออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง แล้วซับน้ำออกพอดำกๆ แล้วจึงนำไปฝังในที่ร่มประมาณ 3 วันหรือจนกระทั่งความชื้นในเมล็ดเหลือประมาณ 10-12%

ข) osmopriming คือ การแช่เมล็ดพันธุ์ในสารละลายโปแตสเซียมไนเตรด (KNO₃) เข้มข้น 1.0% ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง จากนั้นล้างเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำกลั่นและซับน้ำออกพอดำกๆ แล้วจึงนำไปฝังในที่ร่มประมาณ 3 วันหรือจนกระทั่งความชื้นในเมล็ดเหลือประมาณ 10-12%

ค) traditional soaking ซึ่งเป็นวิธีที่เกษตรกรใช้เตรียมเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูก โดยการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำประปา ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วซับน้ำออกพอดำกๆ แล้วจึงนำไปฝังในที่ร่มประมาณ 3 วันหรือจนกระทั่งความชื้นในเมล็ดเหลือประมาณ 10-12%

ง) เมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอก (non-presowing/non-priming) เป็นสิ่งทดลองควบคุม (control treatment) การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์

นำเมล็ดพันธุ์จากทุกกรรมวิธีไปตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์คือ ตรวจสอบความงอกมาตรฐาน (International Seed Testing Association, 2019) และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ซึ่งประกอบด้วย จำนวนวันที่ใช้ในการงอก ดัชนีการงอก (Association of Official Seed Analysts, 1993) พลังงานในการงอก (Ruan et al., 2002; Banjobpudsa et al., 2017) และ ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ของน้ำที่แช่เมล็ดพันธุ์ มีรายละเอียด ดังนี้

1. การตรวจสอบความงอก (germination test, G) โดยนำเมล็ดพันธุ์จำนวน 50 เมล็ด/ซ้ำ วางเรียงในกล่องพลาสติกใสที่รองด้วยกระดาษสำหรับเพาะเมล็ดหนา 2 ชั้น ที่ชุ่มด้วยน้ำกลั่นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตรวจสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์ครั้งแรกหลังการเพาะ 4 วัน หลังจากนั้นตรวจนับทุกวันและตรวจนับความงอกครั้งสุดท้ายที่ 14 วันหลังการเพาะ เมล็ดพันธุ์ โดยนับเมล็ดที่รากของต้นอ่อน (radicle) งอกออกมาจากกาบหุ้มเมล็ดประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหา

1.1 เปอร์เซนต์ความงอก (germination percentage; G)

$$G = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอก}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะทั้งหมด}} \times 100$$

1.2 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก (mean germination time; MGT)

$$MGT = \frac{\sum(n \times d)}{N}$$

โดย n = จำนวนเมล็ดที่งอกหลังการเพาะในวัน ที่ d

d = จำนวนวัน ที่เมล็ดงอกหลังการเพาะ

N = จำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมด

1.3 ดัชนีการงอก (germination index; GI)

$$GI = \sum \left(\frac{Nt}{Tt} \right)$$

โดย Nt = จำนวนเมล็ดที่งอกในวันที่ t หลังการเพาะ และ Tt = ระยะเวลา (วัน) หลังการเพาะ

1.4 เวลาที่งอกได้ 50% (time to 50% germination; T_{50})

$$T_{50} = \frac{t_i + [(N+1)/2 + n_i](t_j - t_i)}{n_j - n_i}$$

โดย n_i และ n_j คือ จำนวนเมล็ดที่งอกสะสมทั้งหมดที่ระยะเวลา (วัน) หลังการเพาะ t_i และ t_j

โดยที่ $n_i < (N+1)/2 < n_j$

1.5 พลังงานที่ใช้ในการงอก (germination energy; GE) หมายถึง สัดส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดที่งอกภายใน 4 วันหลังการเพาะเปรียบเทียบกับจำนวนเมล็ดทั้งหมดที่เพาะ (Ruan et al., 2002; Banjobpudsa et al., 2017)

$$GE = \left(\frac{Nt_3}{N} \right) \times 100$$

โดย Nt_3 = จำนวนเมล็ดทั้งหมดที่งอกภายใน 3 วันหลังการเพาะ

N = จำนวนเมล็ดทั้งหมดที่เพาะ

2. การตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำแช่เมล็ด โดยการชั่งน้ำหนักเมล็ดสด 50 เมล็ด แล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่น 100 มล ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำแช่เมล็ดด้วย EC meter หน่วยวัดเป็น $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g-seed}$

การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความงอกกับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (multiple correlation coefficient) ระหว่างความงอกกับดัชนีชี้วัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ 5 ลักษณะด้วย Statistical Analysis Software (SAS) (Syphus, 2024)

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ของข้อมูลผลการทดลองด้วย SAS (Syphus, 2024) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองตามวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนบรรจุในถุงพลาสติกและเก็บรักษาในตู้เย็นเป็นเวลา 1 ปี มีความชื้น 11.5% มีความงอก 71.0% หลังจากการเตรียมการงอกแล้วตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอก ผลการทดลองมี ดังนี้

เปอร์เซ็นต์ความงอก (germination percentage; G)

การเตรียมการงอกด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีเปอร์เซ็นต์การงอกแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยการทำ hydropriming เป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง และ osmopriming เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก ($p \leq 0.05$) คือ มีความงอก 83.5, 81.5, 83.0, 83.0 และ 71.0% ตามลำดับ ขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกตามวิธีที่เกษตรกรปฏิบัติ โดยการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (traditional soaking) ทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอก 76.5% กว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก (71.0%) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) ส่วนการทำ hydropriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง เมล็ดพันธุ์งอก 77.0% ใกล้เคียงกับการเตรียมเมล็ดพันธุ์ตามวิธีที่เกษตรกรใช้ (76.5%) และไม่แตกต่างจากความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก แสดงว่า hydropriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง เป็นเวลาที่นานเกินไป ขณะที่ osmopriming เป็นเวลา 48, 72 และ 96 ชั่วโมง เมล็ดมีความงอก 74.75-78.50% และไม่แตกต่างกับความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอกและเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกตามวิธีที่เกษตรกรใช้ สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Hussain et al. (2006) ที่รายงานว่า hydropriming ทำให้ทานตะวันพันธุ์ Hysun-33 มีเปอร์เซ็นต์ความงอกการเจริญเติบโตดีกว่าและให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกด้วยเมล็ดที่ไม่ได้เตรียมการงอก เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Banjobpudsa et al. (2017) ที่รายงานว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สุรชาติที่เตรียมการงอกโดยวิธี hydropriming เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง และ traditional soaking มีความงอก 90.50-97.00% สูงกว่า ความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก (78.00%) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$)

ดัชนีความงอก (germination index; GI)

เมล็ดพันธุ์ที่มีการเตรียมการงอกด้วยวิธีการต่างๆ และที่ไม่ได้เตรียมการงอกมีดัชนีความงอกแตกต่างกัน ($p < 0.01$) โดย hydropriming เป็นเวลา 24, 96 ชั่วโมง และ osmopriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง มีดัชนีความงอกสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกตามวิธีที่เกษตรกรใช้และเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก โดยมีดัชนีความงอก 34.88, 35.27, 34.55, 28.48 และ 27.96 ตามลำดับ (Table 1) ส่วนดัชนีความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่มีการเตรียมการงอกด้วยวิธีอื่นๆ มีดัชนีความงอก 29.67-31.91 มีแนวโน้มสูงกว่าดัชนีความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก (27.96) สอดคล้องกับรายงานของ Banjobpudsa et al. (2017) ที่รายงานว่า การเตรียมการงอกด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สุรามีดัชนีความงอกระหว่าง 37.08-43.75 สูงกว่า ($p < 0.01$) ดัชนีความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก (23.34) และสอดคล้องกับงานของ Dezfuli et al. (2008) ที่รายงานว่า hydropriming เป็นเวลา 24 และ 36 ชั่วโมง เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดสายพันธุ์แท้มีดัชนีความงอกสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เตรียมการงอก คือมีดัชนีความงอก 23.28, 26.17 และ 18.53 ตามลำดับ

เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก (mean germination time; MGT)

การเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก (วันหลังการเพาะ) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ระหว่าง 2.23-2.91 วันหลังการเพาะ โดยเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธี hydropriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง มีเวลาเฉลี่ยในการงอกน้อยที่สุด 2.23 วันหลังการเพาะ รองลงมาคือ osmopriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง มีเวลาเฉลี่ยในการงอก 2.32 วันหลังการเพาะ ขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธีที่เกษตรกรใช้และเมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอกมีเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์ยาวนานขึ้นเล็กน้อยเป็น 2.84 และ 2.74 วัน หลังการเพาะ ตามลำดับ เนื่องจากการทดสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวในครั้งนีกระทำให้ในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยแวดล้อมบริเวณพื้นที่ทดลองให้มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่ที่มีการเตรียมการงอกด้วยวิธีการต่างๆ จึงไม่ต่างกันมาก และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของข้อมูลผลการทดลองก็อยู่ในเกณฑ์ต่ำระหว่าง 6.44-8.27 เปอร์เซ็นต์ (Table 1)

พลังงานในการงอก (germination energy; GE)

การเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีต่างๆ ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีพลังงานในการงอกแตกต่างกัน ($p < 0.05$) ระหว่าง 72.00-82.50 โดยเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธี hydropriming เป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง และ osmopriming เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีพลังงานในการงอกสูงสุด 4 อันดับแรกเท่ากับ 80.50, 80.20, 80.00 และ 82.50 ตามลำดับ ขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก และเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกตามวิธีที่เกษตรกรใช้ มีพลังงานในการงอก 72.00 และ 74.00 ตามลำดับ สำหรับเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธีการอื่นๆ คือ hydropriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง และ osmopriming เป็นเวลา 48, 72 และ 96 ชั่วโมง มีพลังงานในการงอกระหว่าง 72.50-79.00 ถึงแม้ว่าจะไม่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอกแต่ก็มีแนวโน้มสูงกว่า (Table 2) ดังนั้นเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่ที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน 7-8 เดือน ก่อนนำไปใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ปลูกควรทำการเตรียมการงอกโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ซึ่งวิธีที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพันธุ์อาจแตกต่างกัน แต่การเตรียมเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูกตามวิธีที่เกษตรกรใช้ก็เป็นวิธีการที่สะดวกทำได้ง่าย และสำหรับข้าวไร่ซึ่งส่วนใหญ่ปลูกด้วยเมล็ดลงในแปลงโดยตรงแล้วรอฝนหรือใช้น้ำฝนเพื่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตในแปลงตลอดฤดูเพาะปลูก ดังนั้นเมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำแล้วแนะนำให้ผึ่งลมหรือตากแดดอ่อนๆ ให้เมล็ดพันธุ์แห้งเพื่อหยุดขบวนการงอกก่อนนำไปปลูกลงในแปลง เนื่องจากการเตรียมการงอกก่อนนำเมล็ดพันธุ์ไปปลูกในแปลงจะทำให้เมล็ดพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การงอกและพลังงานในการงอกเพิ่มขึ้น (Table 1 และ Table 2)

Table 1 Effect of pre-sowing seed treatments on the germination and seed vigor of the Samdeun upland rice seeds

Treatments	Germination (%)	Germination index	MGT (days)
1. Control (non-priming)	71.00 ^c	27.96 ^d	2.74 ^{ab}
2. Traditional (soaking in H ₂ O 24 h)	76.50 ^{abc}	28.48 ^d	2.84 ^a
3. Hydropriming 24 h	83.50 ^a	34.88 ^{ab}	2.52 ^{bcd}
4. Hydropriming 48 h	81.50 ^{ab}	31.91 ^{abcd}	2.75 ^{ab}
5. Hydropriming 72 h	83.00 ^{ab}	30.98 ^{bcd}	2.77 ^{ab}
6. Hydropriming 96 h	77.00 ^{abc}	35.27 ^a	2.23 ^e
7. Osmopriming 24 h	83.00 ^{ab}	30.49 ^{cd}	2.91 ^a
8. Osmopriming 48 h	76.00 ^{abc}	30.04 ^d	2.65 ^{abc}
9. Osmopriming 72 h	74.75 ^{bc}	29.67 ^d	2.42 ^{cde}
10. Osmopriming 96 h	78.50 ^{abc}	34.55 ^{abc}	2.32 ^{de}
F-test	*	**	**
C.V. (%)	6.50	8.27	6.44

* significant at $p \leq 0.05$ level, ** significant at $p \leq 0.01$ level.

Mean values in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT.

เวลาที่ใช้ในการงอก 50% (time to 50% germination; T₅₀)

การเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการที่ต่างกันทำให้เมล็ดพันธุ์ใช้เวลาในการงอกครั้งหนึ่งของความงอกทั้งหมดหรือใช้เวลาในการงอก 50% แตกต่างกัน ($p \leq 0.01$) ระหว่าง 1.71-2.55 วันหลังการเพาะ (Table 2) โดยเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมโดยวิธี hydropriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ใช้เวลาในการงอก 50% เร็วที่สุด 1.63 วันหลังการเพาะ รองลงมาคือ เมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกโดยวิธี osmopriming เป็นเวลา 96 และ 72 ชั่วโมง ใช้เวลาในการงอก 50% ประมาณ 1.71 และ 1.86 วัน ขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอกใช้เวลาในการงอก 50% ประมาณ 2.55 วัน ส่วนเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกตามวิธีที่เกษตรกรปฏิบัติใช้เวลาในการงอก 50% ประมาณ 2.40 วัน ซึ่งการที่เมล็ดพันธุ์งอกช้าจะทำให้การตั้งตัวของต้นกล้าช้าตามไปด้วย ทั้งนี้การปลูกข้าวในฤดูฝนในเขตที่อาศัยเฉพาะน้ำฝน การงอกของเมล็ดพันธุ์และการตั้งตัวของต้นกล้าที่รวดเร็วย่อมเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว (Banjobpudsa et al., 2017) เนื่องจากปริมาณและการกระจายของน้ำฝนมักจะไม่มีสม่ำเสมอตลอดฤดูเพาะปลูก

ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์ (electrical conductivity of a soaked-seed solution; EC)

สารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์ที่มีการเตรียมการงอกต่างกันมีค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ระหว่าง 12.38-41.38 ไมโครซีเมนส์/เซ็นติเมตร/กรัม-เมล็ดพันธุ์ ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g-seed}$) โดยเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธี osmopriming คือ การแช่เมล็ดพันธุ์ในสารละลายโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) เข้มข้น 1.0% ที่อุณหภูมิ 18 °ซ เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่า สารละลายที่ได้จากการแช่เมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธีนี้มีค่าการนำไฟฟ้าระหว่าง 33.35-41.38 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g-seed}$ สูงกว่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ได้จากการแช่เมล็ดพันธุ์ที่มีการเตรียมการงอกด้วยวิธีอื่นๆ ($p \leq 0.01$) เนื่องจาก KNO_3 ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ และอวัยวะต่าง ๆ ภายในเซลล์เสียหาย (injured membranes and cellular organelles) (Basra et al., 2005) ทำให้สารประกอบต่าง ๆ ในเมล็ดพันธุ์ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ รั่วไหลออกมาอยู่ในสารละลายแช่เมล็ดพันธุ์มากกว่าสารละลายแช่เมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธีอื่นๆ ที่มีค่าการนำไฟฟ้า 12.38-13.03 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g-seed}$ และมากกว่าสารละลายจากเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอกที่มีค่าการนำไฟฟ้า 22.23 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g-seed}$ (Table 2) เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการทดลองได้ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 ปี ทำให้มีการเสื่อมของเยื่อหุ้มและอวัยวะต่าง ๆ ภายในเซลล์ เมื่อนำเมล็ดพันธุ์ไปเตรียมการงอก โดยวิธีการแช่ในน้ำตามวิธีที่เกษตรกรใช้ และวิธี hydropriming เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ทำให้สารประกอบต่าง ๆ ในเมล็ดพันธุ์ส่วนหนึ่งรั่วไหลละลายออกมาอยู่ในน้ำในระหว่างการเตรียมเมล็ดพันธุ์ (Basra et al., 2005) ดังนั้นหลังจากการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการเหล่านี้แล้ว จึงทำให้สารประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์รั่วไหลออกมาอยู่ในสารละลายจากการแช่เมล็ดพันธุ์มีปริมาณลดลง ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายจากการแช่เมล็ดพันธุ์ที่มีการเตรียมการงอกด้วยวิธีการต่าง ๆ เหล่านี้มีค่าต่ำกว่าสารละลายจากเมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอก

Table 2 Effect of pre-sowing seed treatments on the germination energy and seed vigor of the Samdeun upland rice seeds

Treatments	Germination energy (%)	T ₅₀ (days)	EC (μS/cm/g-seed)
1. Control (non-priming)	72.00 ^c	2.55 ^a	22.23 ^c
2. Traditional (soaking in H ₂ O 24 h)	74.00 ^{bc}	2.40 ^{ab}	13.98 ^d
3. Hydropriming 24 h	80.50 ^{ab}	1.94 ^{cde}	13.03 ^d
4. Hydropriming 48 h	80.20 ^{abc}	2.15 ^{bcd}	12.83 ^d
5. Hydropriming 72 h	80.00 ^{abc}	2.31 ^{ab}	12.38 ^d
6. Hydropriming 96 h	76.50 ^{abc}	1.63 ^e	12.80 ^d
7. Osmopriming 24 h	82.50 ^a	2.40 ^{ab}	33.35 ^b
8. Osmopriming 48 h	76.00 ^{abc}	2.20 ^{bc}	34.70 ^b
9. Osmopriming 72 h	72.50 ^{bc}	1.86 ^{de}	41.38 ^a
10. Osmopriming 96 h	79.00 ^{abc}	1.71 ^e	40.98 ^a
F-test	*	**	**
C.V. (%)	6.30	9.42	7.94

* significant at p≤0.05 level, ** significant at p≤0.01 level.

Mean values in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT.

สหสัมพันธ์ระหว่างความงอกกับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (correlation coefficient between germination and other seed vigor)

เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่มีการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เมื่อนำไปตรวจสอบความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เช่น เปอร์เซ็นต์การงอก ดัชนีการงอก เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก พลังงานในการงอกและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์ ฯลฯ และเมื่อนำค่าหรือข้อมูลต่าง ๆ ที่ตรวจวัดได้เหล่านี้ไปหาสหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r) ระหว่างลักษณะ ผลแสดงใน Table 3 พบว่า เปอร์เซ็นต์การงอก (G) มีความสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญกับ ดัชนีการงอก (GI) และพลังงานในการงอก (GE) โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างกันเท่ากับ 0.48890** และ 0.94406** ตามลำดับ (Table 3) ส่วนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การงอกกับค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์ (EC) มีค่าเป็นลบ (negative) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.26309^{ns}$) หมายความว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์สูง มีแนวโน้มจะมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์สูง แสดงว่า ส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดพันธุ์เสื่อมลงทำให้สารประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ในเมล็ดพันธุ์ละลายออกมาสู่สารละลาย โดยเฉพาะแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ที่มีประจุไฟฟ้า เช่น โปแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ฯลฯ ทำให้สารละลายมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมคุณภาพน้อยกว่า เมล็ดพันธุ์กลุ่มที่มีค่า EC สูงจึงมีแนวโน้มที่จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์ต่ำ

Table 3 Correlation coefficients among seed vigor traits and germination of pre-sowing seed treatments of the Samdeun upland rice seeds tested in a laboratory

	GI	MGT (days)	GE (%)	T50 (days)	EC (μS/cm/g-seed)	G (%)
GI	1.0000	-0.69974**	0.52449**	-0.81846**	-0.07794	0.48890**
MGT (days)		1.00000	0.19047	0.92848**	-0.21976	0.19733
GE (%)			1.00000	-0.08522	-0.16391	0.94406**
T50 (days)				1.00000	-0.18845	-0.12054
EC (μS/cm/g-seed)					1.00000	-0.26309

** significant at p≤0.01 level.

สรุปผลการศึกษา

1. การเตรียมเมล็ดพันธุ์สามารถปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่น้ำสามเดือนได้ โดยการเตรียมเมล็ดพันธุ์วิธี hydropriming เป็นเวลา 24-72 ชั่วโมง และ Osmopriming เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นวิธีการเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่น้ำสามเดือนที่เหมาะสม สามารถเพิ่มความงอกของเมล็ดพันธุ์จาก 71.00% เป็น 83.50, 81.50, 83.00 และ 83.00% ตามลำดับ
2. เปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่น้ำสามเดือนมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับดัชนีการงอกและพลังงานในการงอกอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างกันเท่ากับ 0.48890** และ 0.94406** ตามลำดับ

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้ของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวภัทรินทร์ วิจิตรการ และนางสาวสุนันทา บรรจบพุดชา ที่กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการทำงานวิจัยในห้องปฏิบัติการ

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: นัฐวรรณ บุชบา, ณัฐกานต์ โชติชัย, พรพิมล สว่างศรี, อารมณ ศรีพิจิตต์ ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล, อีรวัดน์ ศรุตโยภาส. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: นัฐวรรณ บุชบา, ณัฐกานต์ โชติชัย, พรพิมล สว่างศรี, ประภัสสร วิจิตรจันทร์, จริญญา แยกสวัสดิ์, ธนสิน ทับทิมโต, ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล, ภคินันท์ เจียมแท้, อีรวัดน์ ศรุตโยภาส. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: นัฐวรรณ บุชบา, ณัฐกานต์ โชติชัย, พรพิมล สว่างศรี, ประภัสสร วิจิตรจันทร์, จริญญา แยกสวัสดิ์, ธนสิน ทับทิมโต, ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล, ภคินันท์ เจียมแท้, อีรวัดน์ ศรุตโยภาส. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: นัฐวรรณ บุชบา, ประภัสสร วิจิตรจันทร์, จริญญา แยกสวัสดิ์, ภคินันท์ เจียมแท้, อีรวัดน์ ศรุตโยภาส. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: นัฐวรรณ บุชบา, ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล, ภคินันท์ เจียมแท้, อีรวัดน์ ศรุตโยภาส. การให้การสนับสนุนเครื่องมือห้องปฏิบัติการ และ ครูภัณฑ: ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล.

เอกสารอ้างอิง

- Abdallah, H., Musa, Y., Mustafa, M., Sjahril, R., & Riadi, M. (2016). Comparison between hydro-priming and osmo-priming to determine period needed for priming indicator and its effect on germination percentage of aerobic rice cultivars (*Oryza sativa* L.). *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 38(3), 222-230.
- Association of Official Seed Analysts. (1993). Rules for testing seeds. *Journal of Seed Technology*, 16(1), 1-113.
- Banjobpudsa, S., Sripichitt, A., & Sarutayophat, T. (2017). The effect of pre-sowing treatments on germination and vigor of upland rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Agricultural Technology*, 13(7.1), 1343-1353.
- Basra, A., Farooq, M., Tabassam, R., & Ahmad, N. (2005). Physiological and biochemical aspects of pre-sowing seed treatments in fine rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technology*, 33(3), 623-628.
- Bussaba, N., Chottichai, N., Sawangsri, P., Sripichitt, A., & Sarutayophat, T. (2017). Effect of seed priming on germination and vigor of the Lebnok upland rice seed. In *Proceedings of the 14th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference: Plants and Biotechnology, Animals and Veterinary, Education and Development Sciences*, pp. 48-55. Kasetsart University. (in Thai).
- Dezfuli, P. M., Sharif-zadeh, F., & Janmohammadi, M. (2008). Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays* L.). *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(3), 22-25.

- Dombos, J. (1995). Seed Vigor. In Basra, A. (Ed.), **Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications**, pp. 45-80. Food Products Press.
- Farooq, M., & Basra, A. (2006). Seed priming enhances emergence, yield, and quality of direct-seeded rice. **International Rice Research Notes**, 31(2), 42-44.
- Finch-Savage, W. E. (1995). Influence of seed quality on crop establishment, growth and yield. In Basra, A. (Ed.), **Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications**, pp. 361-384. Food Products Press.
- Hussain, M., Farooq, M., Basra, A., & Ahmad, N. (2006). Influence of seed priming techniques on the seedling establishment, yield and quality of hybrid sunflower. **International Journal of Agriculture and Biology**, 8(1), 14-18.
- International Seed Testing Association. (2019). **International Rules for Seed Testing**. International Seed Testing Association.
- McDonald, B. (2000). Seed priming. In Black, M., & Bewley, J. D. (Ed.), **Seed Technology and Biological Basis**, pp. 287-325. Sheffield Academic Press.
- Office of Agricultural Economics. (2024). **Agricultural Production Data of Thailand**. Retrieved from: <https://www.oae.go.th/view/1>. (in Thai).
- Rice Department. (2024). **Rice Knowledge Bank, Rice Varieties**. Retrieved from: <https://newwebs2.ricethailand.go.th/webmain/rkb3/Varieties.htm>. (in Thai).
- Ruan, S., Xue, Q., & Tylkowska, L. (2002). The influence of priming on germination of rice (*Oryza sativa* L.) seeds and seedling emergence and performance in flooded soil. **Seed Science and Technology**, 30(1), 61-67.
- Sripichitt, A. (2012). **Seed Technology**. Faculty of Agricultural Technology. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Syphus, S. (2024). **Intro to SAS for Beginners**. Free SAS on Demand. Retrieved from: <https://datarockie.com/blog/intro-sas-programming/>.

ผลของอาหารเสริมสารสกัดใบเสม็ดขาวต่อการเจริญเติบโต ค่าโลหิตวิทยา และประสิทธิภาพการต้านทานเชื้อแบคทีเรียในปลาคาร์พ

Effect of Dietary *Melaleuca cajuputi* Crude Extract on Growth, Hematology, and Resistance to Bacteria in Common Carp (*Cyprinus carpio*)

ปิ่นประภา เกรียงยงค์¹, อัจฉรี เรืองเดช^{1*} และดวงใจ พิสุทธิธรราชัย²

Pinprapha Kreangyong¹, Uscharee Ruangdej^{1*} and Duangjai Pisuttharachai²

Received date: 17 ธ.ค. 67 Revised date: 20 ม.ค. 67 Accepted date: 22 ม.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.30.017>

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ค่าโลหิตวิทยา และประสิทธิภาพการต้านทานเชื้อแบคทีเรียในปลาคาร์พที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดใบเสม็ดขาวที่มีระดับต่างกัน ชุดการทดลองแรกประกอบด้วยอาหารเสริมสารสกัดใบเสม็ดขาวต่างกัน 5 ระดับ; 0 (ชุดควบคุม), 5, 10, 15 และ 20 กรัมต่อกิโลกรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 8 สัปดาห์ ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองในประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ($P>0.05$) ชุดการทดลองที่สองทดลองเลี้ยงปลาต่อด้วยอาหารเสริมสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ต่างกัน 5 ระดับ; 0 (ชุดควบคุม), 10, 20, 30 และ 40 กรัมต่อกิโลกรัม หลังให้อาหาร 2 สัปดาห์ทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อด้วยการฉีดเชื้อก่อโรค *Aeromonas hydrophila* หลังจากการฉีดเชื้อ 7 วัน พบว่าปลากลุ่มที่ได้รับสารสกัดที่ 20 กรัมต่อกิโลกรัมมีอัตราการรอด (80 %) ดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสารสกัด (0 %) ค่าโลหิตวิทยาในปลาที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดใบเสม็ดขาวในกลุ่มปลาที่ได้รับสารสกัด 20 กรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับปลาที่กินอาหารในกลุ่มควบคุม พบปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง (RBC) $3.34\pm 0.11\times 10^6/\mu\text{L}$ และ $1.82\pm 1.58\times 10^6/\mu\text{L}$ และเม็ดเลือดขาว (WBC) เท่ากับ $1.83\pm 0.51\times 10^3/\mu\text{L}$ และ $1.33\pm 1.20\times 10^3/\mu\text{L}$ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าฮีมาโตคริต (HTC) พบสูงที่สุดในกลุ่มปลาที่ได้รับสารสกัด 40 กรัมต่อกิโลกรัม (25.67 ± 6.03 %) จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าการเสริมอาหารปลาคาร์พด้วยสารสกัดใบเสม็ดขาว ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านโลหิตวิทยา และประสิทธิภาพการต้านเชื้อ *Aeromonas hydrophila*

คำสำคัญ: เสม็ดขาว แอโรโมแนส ไฮโดรฟิลลา ปลาคาร์พ โลหิตวิทยา

Abstract

This study aimed to investigate growth performance, hematological parameters, and antibacterial efficacy in carp fed with different levels of *Melaleuca cajuputi* leaf extract supplementation. The first experimental setup consisted of five different levels of *M. cajuputi* leaf extract supplementation: 0 (control), 5, 10, 15, and 20 g/kg. After 8 weeks, no significant differences were observed in growth performance between treatment groups ($P>0.05$). The second experimental setup involved feeding fish with five different levels of *M. cajuputi* leaf extract: 0 (control), 10, 20, 30, and 40 g/kg. After 2 weeks of feeding, antibacterial efficacy was tested by challenging the fish with pathogenic *Aeromonas hydrophila*. Seven days post-challenge, fish receiving 20 g/kg extract showed a higher survival rate (80%) compared to the control group without extract supplementation (0%). Hematological parameters in fish fed with 20 g/kg extract supplementation, compared to the control group, showed red blood cell (RBC) counts of $3.34\pm 0.11\times 10^6/\mu\text{L}$ and $1.82\pm 1.58\times 10^6/\mu\text{L}$, and white blood cell (WBC) counts of $1.83\pm 0.51\times 10^3/\mu\text{L}$ and $1.33\pm 1.20\times 10^3/\mu\text{L}$, respectively, with statistically significant differences ($P<0.05$). The highest hematocrit (HTC) value was observed in fish receiving 40 g/kg extract

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง และทรัพยากรทางน้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.ชุมพร 86160

¹ Department of Animal product technology and Fisheries, School of Agriculture Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

² Department of Fishery Science and Aquatic Resources, School of Agriculture Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumphon, 86160

* Corresponding author: uscharee.ru@kmitl.ac.th

(25.67±6.03%). These results indicate that *M. cajuputi* leaf extract supplementation in feed can enhance hematological parameters and antibacterial efficacy in carp infected with *Aeromonas hydrophila*.

Keywords: *Melaleuca cajuputi*, *Aeromonas hydrophila*, common carp, Hematology

คำนำ

ปลาการ์ป เป็นชื่อเรียกปลาในสกุลเดียวกันกับปลาไน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ (*Cyprinus carpio*) เป็นปลาน้ำจืดที่มีแหล่งดั้งเดิมอยู่ในบริเวณประเทศอิหร่าน ที่ปรับตัวอยู่ในแหล่งน้ำจืดที่มีอุณหภูมิที่แตกต่างได้ดี จึงเป็นปลาที่มีความนิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย ปลาการ์ปจัดเป็นปลาสวยงามที่ไม่ได้มีถิ่นกำเนิดในไทย แต่ปัจจุบันกลายเป็นสินค้าส่งออกที่ผู้ประกอบการไทยให้ความสนใจ การนำมาเลี้ยงในประเทศไทยมักจะประสบปัญหาการเกิดโรคโดยเฉพาะการติดเชื้อแบคทีเรียชนิด *Aeromonas hydrophila* ปลาที่ติดเชื้อรุนแรงจะทำให้ตายเฉียบพลัน และสร้างความเสียหายให้กับเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงอย่างมาก อาการปลาที่ติดเชื้อจะมีแผลบนลำตัวลึกไปถึงใต้ผิวหนัง มีเลือดออกตามฐานครีบหรือใต้ท้อง และยังมีอาการบวม มีแผลใหญ่กว่าบริเวณอื่น ปลาที่ติดเชื้อจะแสดงอาการท้องบวม (ascitis) ในท้องจะมีน้ำสีเหลืองขุ่น อวัยวะภายในและลำไส้มีการแตกเลือด (hemorrhage) (Wangkahart, 2018) จึงต้องมีการจัดการในด้านสิ่งแวดล้อม การป้องกัน และการรักษาโรคที่ดี (Tebson et al., 2016)

การป้องกัน รักษาโรคติดเชื้อแบคทีเรีย นิยมรักษาด้วยยาปฏิชีวนะ ซึ่งนิยมใช้ tetracycline, ceftazidime และ amikacin (Kanchan et al., 2018) โดยทั่วไปการรักษาโรคแบคทีเรียในปลาน้ำจืดจะนิยมใช้ยาต้านจุลชีพ 2 ชนิด ได้แก่ ออกซิเตตราซัยคลิน และโรเนต-30 (Yuwapanichsamphan, 2022) การใช้ยาปฏิชีวนะและสารเคมีในการรักษาโรคติดเชื้อในสัตว์น้ำเป็นวิธีที่ให้ผลดี แต่การใช้ผิดวิธีและใช้แบบไม่มีการควบคุมอาจจะทำให้เชื้อโรคดื้อยา และยาที่ใช้อาจส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม หรือตกค้างในสัตว์น้ำ ดังนั้นการนำพืชสมุนไพรมาใช้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะจะสามารถลดหรือทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ และลดการใช้สารเคมี ลดการปนเปื้อน ไม่เกิดสารตกค้างที่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ ผู้บริโภค และสภาพแวดล้อม อีกทั้งพืชสมุนไพรสามารถหาได้ง่าย (Tebson et al., 2016; Deangroj et al., 2022) และยังสามารถลดต้นทุนในการซื้อยา สมุนไพรหลายชนิดยังช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ กำจัดอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ลดความเครียด กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน (immunostimulant) เช่น alkaloids, flavonoids, phenolics, terpenoids และ essential oils (Rattanachaiyunsophon and Phumkhachorn, 2010)

พืชสมุนไพรหลายชนิดเป็นแหล่งของยาที่สำคัญ เนื่องจากมีสารสำคัญหลายชนิดที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา เช่นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์และ alkaloids ที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบร่วมกับฤทธิ์อื่นๆ มีการนำน้ำมันหอมระเหยของพืชในวงศ์ Myrtaceae มาใช้ประโยชน์หลายด้าน เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยของพืชกลุ่มนี้มีองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางยาที่น่าสนใจ (Khongsai et al., 2019) เช่น เสม็ดขาว (*Melaleuca cajuputi*) สารพฤกษเคมีที่พบในใบเสม็ดขาวมีส่วนผสมในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ฟลาโวนอยด์, เทอร์พีนอยด์, สารประกอบฟีนอลิก, alpha-tetralone และ 1,4-naphthalenedione (Sahimi et al., 2022) การวิเคราะห์ส่วนของลำต้น ใบ และเมล็ดของเสม็ดขาว พบว่ามีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบ ในส่วนของน้ำมันเสม็ด (Cajuput oil) มีสรรพคุณทางยาคคล้าย Eucalyptus oil ใช้เป็นส่วนผสมของยาหม่อง น้ำมันมวย ยารักษาโรคต่างๆ รักษาสิ่ว ฆ่าเชื้อโรค ใช้เป็นยากระตุ้น และถ่ายพยาธิ เป็นต้น (Khongsai and Vittaya, 2019) จากการค้นคว้างานวิจัยด้านผลของการใช้เสม็ดขาวในสัตว์น้ำ Sahimi et al. (2022) รายงานว่าเมื่อให้กุ้งก้ามกรามกินอาหารเสริมสารสกัดเสม็ดขาว 60 วัน ค่าโลหิตวิทยา ของกุ้งที่กินอาหารเสริมสารสกัดเสม็ดขาวที่ 15 กรัมต่อกิโลกรัมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกุ้งกลุ่มควบคุม Hamdan et al. (2023) รายงานว่าในกุ้งก้ามกรามที่แช่ในสารสกัดเสม็ดขาว 0.85 กรัมต่อลิตร พบค่าโลหิตวิทยาในกุ้งกลุ่มทดลองที่ได้รับสารสกัดเสม็ดขาวเพิ่มขึ้นทุกกลุ่มเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม Hassan et al. (2023) รายงานว่าการแช่ปลาตุ๊กแอฟริกันในสารสกัดเสม็ดขาวช่วยรักษาบาดแผลได้ดีกว่ายาปฏิชีวนะเตตราซัยคลิน เพราะสามารถสลายเองได้ ปัจจุบันการตรวจสอบสุขภาพปลาเพิ่มขึ้นโดยใช้ตัวแปรทางโลหิตวิทยา เช่น เซลล์เม็ดเลือดขาว (WBC), เซลล์เม็ดเลือดแดง (RBC), ฮีโมโกลบิน (Hb), และฮีมาโตคริต (Hct) WBC ในเลือดช่วยในเรื่องการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย บอกถึงการผลิตแอนติบอดี phagocytosis และการปล่อยโมเลกุลภูมิคุ้มกันสำหรับการติดเชื้อ (Giri et al., 2024) Hb มีหน้าที่สำคัญในการเผาผลาญ RBC และกำหนดภาวะของการส่งออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อในร่างกาย ฮีมาโตคริต (HTC) เป็นตัวกำหนดปริมาณของเม็ดเลือดแดง (Abarike et al., 2022) ดังนั้นการนำพืชสมุนไพรมาใช้เป็นทางเลือกในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อรักษาและป้องกันโรคที่เกิดขึ้นจึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ จึงจัดทำงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของสารสกัดใบเสม็ดขาวต่อการเจริญเติบโต ค่าโลหิตวิทยา และประสิทธิภาพการต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรียในปลาการ์ป

วิธีการศึกษา

การสกัดสารสกัดหยาบจากใบเสมีตขาวด้วยเอทานอล ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์

เลือกตัวอย่างใบเสมีตขาวที่สมบูรณ์และไม่เป็นโรคมาล้างน้ำสะอาด และนำไปผึ่งลมให้แห้งประมาณ 30 นาที แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและบดให้ละเอียด นำตัวอย่างใบเสมีตขาวที่บดแล้ว 500 กรัม แช่ในตัวทำละลายเอทานอล ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:2) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วกรองด้วยกระดาษ Whatman เพื่อให้ได้สารสกัดแอลกอฮอล์ การหาความเข้มข้นของสารสกัดทำโดยแบ่งสารที่ทราบปริมาตรแน่นอนมาระเหยแห้งแล้วชั่งน้ำหนัก

การเตรียมสัตว์ทดลองและการเตรียมอาหารทดลอง

ซื้อลูกปลาคาร์พจากฟาร์มที่ปลอดโรค น้ำหนักประมาณ 5 กรัม เลี้ยงในห้องทดลอง 1 สัปดาห์เพื่อให้ปลาปรับตัวให้ชินกับสภาพแวดล้อมระหว่างการปรับตัวจะให้ปลากินอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีน 30% วันละ 2 ครั้ง ช่วงเช้า 08.00 น. ช่วงเย็น 16.00 น. วางแผนการทดลองแบบสุ่ม (Completely randomized design, CRD) ชุดการทดลองแรกแบ่งปลาออกเป็น 5 กลุ่มการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ แต่ละกลุ่มการทดลองประกอบด้วยปลา 15 ตัว/ตู้ โดยให้อาหารผสมสารสกัดใบเสมีตขาวที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับคือ 0 (ควบคุม), 5, 10, 15 และ 20 กรัม/กิโลกรัม ให้อาหารทดลองอย่างเพียงพอวันละ 2 ครั้ง เช้า 08.00 น. เย็น 16.00 น. เป็นเวลา 8 สัปดาห์ วัดคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง และเก็บตัวอย่างน้ำตรวจค่าแอมโมเนีย ไนไตรท์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เปลี่ยนถ่ายน้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง และดูดตะกอนวันละครั้งหลังการให้อาหารเย็น ชุดการทดลองที่สองแบ่งปลาออกเป็น 5 กลุ่มการทดลอง แต่ละกลุ่มการทดลองประกอบด้วยปลา 10 ตัว/ตู้ โดยให้อาหารผสมสารสกัดใบเสมีตขาวที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับคือ 0 (ควบคุม), 10, 20, 30 และ 40 กรัม/กิโลกรัม ให้อาหารทดลองอย่างเพียงพอวันละ 2 ครั้ง เช้า 08.00 น. เย็น 16.00 น. เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยขั้นตอนการทดลองได้ดำเนินการตามแนวทางการใช้สัตว์เพื่องานวิจัยทางวิทยาศาสตร์โดยผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (เลขที่ ACUC-KMITL-RES/2023/012)

การวิเคราะห์การเจริญเติบโต

ชั่งน้ำหนักปลาทุกตัว ทั้ง 3 ซ้ำ ทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 56 วัน เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตของปลา ดังนี้

- น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain; WG) = น้ำหนักสุดท้าย (กรัม) - น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)

- ความยาวที่เพิ่มขึ้น = ความยาวสุดท้าย (ซม) - ความยาวเริ่มต้น (ซม)

- อัตราการแลกเนื้อ (Feed conversion ratio; FCR) = น้ำหนักอาหารที่ปลากิน (กรัม)/น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

- อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; SGR) = $(\ln \text{น้ำหนักสุดท้าย} - \ln \text{น้ำหนักเริ่มต้น}) / \text{จำนวนวันที่}$

เลี้ยง $\times 100$

การทดสอบค่าโลหิตวิทยา

โดยนำปลาที่ต้องการเก็บตัวอย่างมาทำให้สลบในถังที่มียาสลบ (MS-222) จนกว่าปลาจะหยุดการเคลื่อนไหว หลังจากนั้นทำการเจาะเลือดปลาแต่ละตัวจากเส้นเลือดบริเวณคอดหาง (Caudal vein) ด้วยเข็มฉีดยาเบอร์ 24 G และกระบอกฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร กลั้วด้วย EDTA เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือดจากนั้นนำเลือดที่เจาะได้มาหาค่าโลหิตวิทยา (Hosseini et al., 2020)

การหาค่า Hematocrit index (HI)

การวัดปริมาณของเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Pack red blood cell volume) หรือฮีมาโตคริตในปลาด้วยวิธี microhematocrit method ใส่เลือดลงใน capillary tube แล้วปิดด้านหนึ่งของหลอดทดลองด้วยดินน้ำมัน นำหลอดไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง hematocrit centrifuge บันทึกค่า Hematocrit index

Total protein

ใช้เข็มเจาะเลือดที่เคลือบสาร Heparin เจาะเลือดปลาใส่ Eppendorf นำ Eppendorf ที่ใส่เลือดไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ดูด serum ที่ปั่นเหวี่ยงแล้วใส่น้ำกลั่น และ alkaline copper เติม Folin แล้วนำไปวัดค่า OD ด้วยเครื่อง spectrophotometer ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร

Immunoglobulin

ใช้เข็มเจาะเลือดที่เคลือบสาร Heparin เจาะเลือดปลาใส่ Eppendorf นำ Eppendorf ที่ใส่เลือดไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ดูด serum และเติม 12% Polyethyleneglycol solution (PEG) แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงดูด serum ใส่หลอดทดลอง ใส่น้ำกลั่นและ alkaline copper เติม Folin แล้วนำไปวัดค่า OD ด้วยเครื่อง spectrophotometer

Lysozyme activity

ใช้เข็มเจาะเลือดที่เคลือบสาร Heparin เจาะเลือดปลาใส่ Eppendorf นำ Eppendorf ที่ใส่เลือดไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ดูด serum ที่ปั่นแล้ว 10 ไมโครลิตรใส่ใน 96 well plate แล้วเติมเชื้อที่อยู่ในสารละลาย นำเข้าเครื่อง microplate reader วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร

การนับเม็ดเลือด

นำเลือดที่เจาะแล้วมาผสมกับน้ำยาสำหรับนับเม็ดเลือด แล้วนำไปหยดใน counting chamber

การทดสอบประสิทธิภาพการต้านทานเชื้อ

การเตรียมเชื้อ *Aeromonas hydrophila*

นำเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ที่บ่มแล้วมาเลี้ยงในอาหาร Tryptic soy broth (TSB) ลงในขวดรูปชมพู่ เข้าเครื่อง Shaker ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำเชื้อที่ได้มาปั่นเหวี่ยงให้ตกตะกอนที่ความเร็ว 3,600 รอบต่อนาที นาน 4 นาที ทำซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อล้างอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยน้ำเกลือ 0.85% นำเชื้อที่มีความบริสุทธิ์มา Streak ลงบนอาหาร TSA บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เชื้อ Single colony ลงในน้ำเกลือ 0.85% และปรับความเข้มข้นของสารละลายแบคทีเรียให้มีความเข้มข้นที่ 10^8 Colony forming unit ต่อมิลลิเมตร (cfu.mL⁻¹) วัดค่า OD เท่ากับ 0.15 ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร (Meng et al., 2022)

การทดสอบความต้านทานโรค

หาความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยทดสอบการหาความเข้มข้นที่สามารถทำให้ปลาตาย 50% ที่ 24 ชั่วโมง (Lethal dose 50 หรือ LD₅₀) ใช้ระดับความเข้มข้นของเชื้อ 3 ระดับ แต่ละระดับใช้ปลา 5 ตัว ฉีดเชื้อแบคทีเรียปริมาณ 0.5 มิลลิตร กลุ่มควบคุมจะฉีดด้วยน้ำเกลือ 0.85% สังเกตอาการและบันทึกผลการตาย 24-72 ชั่วโมง หลังจากทดสอบ LD₅₀ สุ่มปลาจำนวน 10 ตัวจากแต่ละกลุ่มการทดลอง ฉีดเชื้อที่ความเข้มข้น 10^7 cfu.mL⁻¹ ปริมาณ 0.5 มิลลิตรเข้าบริเวณช่องท้อง ส่วนกลุ่ม positive ฉีดน้ำเกลือ สังเกตอาการเป็นระยะเวลา 7 วัน และนำมาคำนวณหาอัตราการรอด

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows 16.0

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลาคาร์พเมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ระดับ 0-20 กรัมต่อกิโลกรัม เป็นเวลา 8 สัปดาห์

ผลการเจริญเติบโตของปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 5, 10, 15 และ 20 กรัมต่อกิโลกรัม เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (Table 1) การให้อาหารเสริมสารสกัดใบเสม็ดขาวไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตในช่วงแรกของการทดลองปลาคาร์พในแต่ละกลุ่มการทดลองมีน้ำหนักประมาณ 10 – 12 กรัมต่อตัว สิ้นสุดการทดลอง 8 สัปดาห์ น้ำหนักสุดท้ายของปลาคาร์พเท่ากับ 29.24±4.12, 32.11±4.91, 35.10±1.79, 34.22±0.95 และ 34.32±1.49 กรัมต่อตัว ตามลำดับ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 18.00±2.67, 21.56±4.65, 24.26±0.10, 22.20±1.61 และ 22.78±1.17 กรัมตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ความยาวเริ่มต้นของปลาคาร์พเท่ากับ 10.02 - 10.90 เซนติเมตร ความยาวสุดท้ายของปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 5, 10, 15 และ 20 กรัมต่อกิโลกรัม มีความยาวสุดท้ายเท่ากับ 11.44±0.84, 12.28±1.77, 12.33±0.34, 12.22±0.51 และ 12.11±0.51 เซนติเมตร ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ความยาวที่เพิ่มขึ้นของทุกชุดการทดลองเท่ากับ 1.20±0.73, 2.08±1.77, 2.31±0.83, 1.32±0.83 และ 1.53±0.94 เซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Feng et al. (2024) ที่เลี้ยงปลาคาร์พด้วยอาหารเสริมกากมันเทศหมัก เมื่อครบ 21 วันไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในน้ำหนักตัวสุดท้าย และ Yousefi et al. (2023) ที่ทดลองเลี้ยงปลาคาร์พด้วยอาหารเสริมเปลือกทับทิม เมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในประสิทธิภาพการเจริญเติบโตเช่นเดียวกันหรือผลการทดลองของ Hosseini et al. (2020) ก็ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในพารามิเตอร์ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตระหว่างปลาคาร์พที่กินอาหารเสริมจากเปลือกส้มในระดับต่าง ๆ อัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR) ของทุกชุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.92±0.07, 2.05±0.14, 2.13±0.06, 2.04±0.06 และ 2.07±0.07 ตามลำดับ ซึ่งผลการเติบโตดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ปลา

คาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ 10 กรัมต่อกิโลกรัมมีแนวโน้มของผลการเติบโตดังกล่าวมากกว่าปลาคาร์พที่ได้รับอาหารสูตรอื่น

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (FCR) ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ในปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ 10 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่า FCR น้อยที่สุดเท่ากับ 1.07 ± 0.01 รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวระดับ 5, 15 และ 20 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 1.24 ± 0.22 , 1.15 ± 0.09 และ 1.10 ± 0.06 ตามลำดับ และปลาคาร์พกลุ่มที่ได้รับอาหารชุดควบคุมมีค่า FCR มากที่สุดเท่ากับ 1.43 ± 0.21 แม้ว่าสารสกัดจากใบเสม็ดขาวจะมีส่วนของน้ำมันหอมระเหยแต่ไม่ส่งผลกระทบต่อการกินอาหารของปลาคาร์พ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Meng et al. (2022) ที่ทดลองเลี้ยงปลาคาร์พ ด้วยผลของชะเอมเทศ พบว่าค่า FCR ในปลาที่ได้รับผลชะเอมเทศลดลงแต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและน้ำหนัก (Condition factor) ของทุกชุดการทดลองเท่ากับ 0.02 ± 0.00 , 0.02 ± 0.00 , 0.01 ± 0.00 , 0.02 ± 0.00 และ 0.01 ± 0.00 ตามลำดับ น้ำหนักต่อน้ำหนักตัว (HSI) ของทุกชุดการทดลองเท่ากับ 1.19 ± 1.02 , 0.11 ± 0.18 , 0.76 ± 0.35 , 0.96 ± 0.19 และ 0.95 ± 0.04 ตามลำดับ ซึ่งผลการเติบโตของปลาคาร์พข้างต้นที่กล่าวมาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

น้ำหนักอวัยวะภายในต่อน้ำหนักตัว (VSI) ของปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 5, 10, 15 และ 20 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ในปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ระดับ 15 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่า VSI สูงที่สุดเท่ากับ 23.59 ± 1.55 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ 5 และ 10 กรัมต่อกิโลกรัมเท่ากับ 18.72 ± 3.58 และ 18.48 ± 2.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ระดับ 0 และ 20 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่า VSI น้อยที่สุดเท่ากับ 16.72 ± 2.52 และ 16.07 ± 3.38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากใบเสม็ดขาวสามารถใช้ได้จนถึงปริมาณ 20 กรัมต่อกิโลกรัมไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงด้านการเจริญเติบโตและสุขภาพของปลาคาร์พ ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงได้เพิ่มปริมาณสารสกัดเพื่อทดสอบความต้านทานเชื้อก่อโรคจากแบคทีเรีย

Table 1 Efficacy of the diet on growth values of common carp feed experimental diets containing *Melaleuca cajuputi* leaf extract at levels of 0-20 g/kg for 8 weeks

Parameters	Concentration (g/kg)					P-value
	0 (control)	5	10	15	20	
Initial weight (g)	11.23 ± 1.63^a	10.55 ± 0.76^a	10.85 ± 1.87^a	12.02 ± 0.69^a	11.24 ± 1.33^a	0.752
Final weight (g)	29.24 ± 4.12^a	32.11 ± 4.91^a	35.10 ± 1.79^a	34.22 ± 0.95^a	34.32 ± 1.49^a	0.208
Initial length (cm)	10.24 ± 0.64^a	10.20 ± 0.00^a	10.02 ± 0.52^a	10.90 ± 0.33^a	10.58 ± 0.48^a	0.196
Final length (cm)	11.44 ± 0.84^a	12.28 ± 1.77^a	12.33 ± 0.34^a	12.22 ± 0.51^a	12.11 ± 0.51^a	0.772
Weight gain (g)	18.00 ± 2.67^a	21.56 ± 4.65^a	24.26 ± 0.10^a	22.20 ± 1.61^a	22.78 ± 1.17^a	0.111
Length gain (g)	1.20 ± 0.73^a	2.08 ± 1.77^a	2.31 ± 0.83^a	1.32 ± 0.82^a	1.53 ± 0.94^a	0.674
SGR (% day ⁻¹)	1.92 ± 0.07^a	2.05 ± 0.14^a	2.13 ± 0.06^a	2.04 ± 0.06^a	2.07 ± 0.07^a	0.120
FCR	1.43 ± 0.21^a	1.24 ± 0.22^a	1.07 ± 0.01^a	1.15 ± 0.09^a	1.10 ± 0.06^a	0.066
Condition factor	0.02 ± 0.00^a	0.02 ± 0.00^a	0.01 ± 0.00^a	0.02 ± 0.00^a	0.01 ± 0.00^a	0.182
HSI	1.19 ± 1.02^a	0.11 ± 0.18^a	0.76 ± 0.35^a	0.90 ± 0.19^a	0.95 ± 0.04^a	0.779
VSI	16.72 ± 2.52^a	18.72 ± 3.58^a	18.48 ± 2.24^a	23.59 ± 1.55^a	16.07 ± 3.38^a	0.051
Survival rate (%)	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	100 ± 0.00	

Values represent the mean \pm SE.

The same letters horizontally mean there is no significant difference. ($P>0.05$)

Abbreviations: SGR, Specific growth rate; FCR, Feed conversion rate; HSI, Hepatopancreas index; VSI, Visceral index

การประเมินประสิทธิภาพของอาหารต่อค่าโลหิตวิทยาของปลาคาร์พเมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ระดับ 0-40 กรัมต่อกิโลกรัม เป็นเวลา 2 สัปดาห์

ผลการวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาของปลาคาร์พ ที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 10, 20, 30 และ 40 กรัมต่อกิโลกรัม ก่อนได้รับเชื้อ *Aeromonas hydrophila* (Table 2) พบว่าปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ระดับ 40 กรัมต่อกิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดต่อปริมาณเลือดทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 33.00 ± 5.00 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) รองลงมาคือปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่ระดับ 30 กรัมต่อกิโลกรัม คือ 31.67 ± 4.51 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับ 20, 10 และ 0 กรัมต่อกิโลกรัมมีค่าเท่ากับ 29.67 ± 5.51 , 26.00 ± 3.00 และ 13.33 ± 11.55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดต่อปริมาณเลือดทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นถึงการที่ปลาสามารถกระตุ้นการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงได้สูงขึ้น ค่าเม็ดเลือดแดงในปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวทั้ง 5 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hassan et al. (2023) รายงานว่าค่าเม็ดเลือดแดง ในปลาตุ๊กแกฟริกกันกลุ่มที่ได้รับสารสกัดเสม็ดขาวไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จากการทดลองนี้พบแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในปลาคาร์พกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวสูงตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของเม็ดเลือดแดงบ่งชี้ว่ามีการนำออกซิเจนและสารอาหารไปยังเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ได้ดี ผลของค่าเม็ดเลือดขาวในปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ 20 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเม็ดเลือดขาวสูงสุดเท่ากับ $2.52 \pm 1.04 \times 10^3$ เซลล์ต่อไมโครลิตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) รองลงมาคือปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่ระดับ 30 กรัมต่อกิโลกรัมคือ $2.27 \pm 1.08 \times 10^3$ เซลล์ต่อไมโครลิตร และที่ระดับ 40, 10 และ 0 กรัมต่อกิโลกรัมคือ $1.10 \pm 0.36 \times 10^3$ เซลล์ต่อไมโครลิตร, $0.70 \pm 0.11 \times 10^3$ เซลล์ต่อไมโครลิตร และ $0.54 \pm 0.94 \times 10^3$ เซลล์ต่อไมโครลิตร ตามลำดับ ค่าเม็ดเลือดขาวที่สูงแสดงให้เห็นถึงปลามีการตอบสนองต่อเชื้อโรคได้ดี ค่าอิมมูโนโกลบูลินและค่าโปรตีนรวมของปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่ต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 10, 20, 30 และ 40 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่เพิ่มขึ้นตามลำดับระดับค่าอิมมูโนโกลบูลินที่เพิ่มขึ้นบ่งชี้ว่าปลาคาร์พมีภูมิคุ้มกันต่อการต้านทานเชื้อแบคทีเรียและไวรัสได้ดี ค่าโปรตีนรวมที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นถึงการที่ปลาคาร์พมีโครงสร้างร่างกายที่ดี มีกล้ามเนื้อที่แข็งแรง ค่าไลโซไซม์ของปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ต่างกัน 5 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในค่าไลโซไซม์ที่สูงแสดงให้เห็นถึงการปกป้องการรุกรานของเชื้อแบคทีเรียในสิ่งแวดล้อมโดยการออกฤทธิ์ทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ดี

Table 2 Efficacy of the diet on hematological values of common carp fed experimental diets containing *Melaleuca cajuputi* leaf extract at levels of 0-40 g/kg. before exposure to bacteria

Parameters	Concentration (g/kg)					P-value
	0 (control)	10	20	30	40	
HTC (%)	13.33 ± 11.55^b	26.00 ± 3.00^a	29.67 ± 5.51^a	31.67 ± 4.51^a	33.00 ± 5.00^a	0.027
RBC ($\times 10^6 \cdot \mu\text{L}^{-1}$)	1.25 ± 2.16	3.28 ± 0.24	3.55 ± 0.10	3.65 ± 0.21	3.62 ± 0.21	0.057
WBC ($\times 10^3 \cdot \mu\text{L}^{-1}$)	0.54 ± 0.94^b	0.70 ± 0.11^b	2.52 ± 1.04^a	2.27 ± 1.08^a	1.10 ± 0.36^{ab}	0.039
Immunoglobulin (mg.mL ⁻¹)	42.55 ± 36.94	65.10 ± 7.57	73.15 ± 16.20	87.64 ± 19.12	93.33 ± 21.09	0.116
Total protein (mg.mL ⁻¹)	0.09 ± 0.08	0.14 ± 0.01	0.16 ± 0.04	0.18 ± 0.03	0.19 ± 0.03	0.113
Lysozyme (U.mL ⁻¹)	25.94 ± 10.90	10.44 ± 9.42	96.85 ± 76.60	7.02 ± 8.00	69.62 ± 99.97	0.287

Values represent the mean \pm SE. Different letters in the same row are significantly different ($P < 0.05$).

Abbreviations: HTC: Hematocrit; RBC: Red blood cell; WBC: White blood cell.

ผลการวิเคราะห์ค่าโลหิตวิทยาของปลาคาร์พภายหลังจากการฉีดเชื้อ *Aeromonas hydrophila* 7 วันที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 10, 20, 30 และ 40 กรัมต่อกิโลกรัม (Table 3) พบว่าปลาคาร์พที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ระดับ 20 และ 40 กรัมต่อกิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดต่อปริมาณเลือดทั้งหมดมากกว่าชุดการทดลองอื่นเท่ากับ 21.67 ± 3.21 และ 25.67 ± 6.03 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sahimi et al. (2022) ที่ทดลองให้กุ้งกินอาหารเสริมสารสกัดเสม็ดขาวที่ 15 กรัม

ต่อกลไกภูมิคุ้มกันส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดต่อปริมาณเลือดทั้งหมด ของกึ่งกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม และในงานวิจัยของ Hamdan et al. (2023) รายงานว่ากึ่งในกลุ่มที่ได้รับสารสกัดใบเสม็ดขาวมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดต่อปริมาณเลือดทั้งหมดเพิ่มขึ้นทุกกลุ่มเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ในการทดลองนี้รองลงมาคือปลาคาร์พที่ได้รับอาหารทดลองที่ระดับ 20 กรัมต่อกิโลกรัมคือ 21.67 ± 3.21 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับ 30, 10 และ 0 กรัมต่อกิโลกรัมคือ 10.00 ± 0.00 , 5.67 ± 4.04 และ 6.00 ± 10.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดต่อปริมาณเลือดทั้งหมดในปลาคาร์พที่มีค่าสูงอาจบ่งชี้ว่าสามารถช่วยกระตุ้นการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงได้สูงขึ้น ค่าเม็ดเลือดแดงในปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ระดับ 20 กรัมต่อกิโลกรัม แสดงค่าเม็ดเลือดแดงที่สูงที่สุดเท่ากับ $3.34 \pm 0.11 \times 10^6$ เซลล์ต่อไมโครลิตร พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ตามด้วยอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ระดับ 40 กรัมต่อกิโลกรัมคือ $3.30 \pm 0.03 \times 10^6$ เซลล์ต่อไมโครลิตร และที่อาหารระดับที่ 30, 10 และ 0 กรัมต่อกิโลกรัมคือ $1.00 \pm 0.87 \times 10^6$, $1.04 \pm 0.90 \times 10^6$ และ $1.82 \pm 1.58 \times 10^6$ เซลล์ต่อไมโครลิตร ตามลำดับ ค่าเม็ดเลือดขาวในปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ต่างกัน 5 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งพบค่าเม็ดเลือดขาวสูงสุดในปลาคาร์พที่ได้รับอาหารทดลองที่ระดับ 20 และ 40 กรัมต่อกิโลกรัมเท่ากับ $1.83 \pm 0.51 \times 10^3$ และ $1.83 \pm 0.24 \times 10^3$ เซลล์ต่อไมโครลิตร ตามลำดับ รองลงมาคือที่ระดับ 30, 10 และ 0 กรัมต่อกิโลกรัมคือ $0.30 \pm 0.44 \times 10^3$, $0.40 \pm 0.52 \times 10^3$ และ $1.33 \pm 1.20 \times 10^3$ เซลล์ต่อไมโครลิตรตามลำดับ

Table 3 Efficacy of the diet on hematological values of common carp fed experimental diets containing *Melaleuca cajuputi* leaf extract at levels of 0-40 g/kg. for 7 days after exposure to bacteria

Parameters	Concentration (g/kg)					P-value
	0 (control)	10	20	30	40	
HTC (%)	6.00 ± 10.39^b	5.67 ± 4.04^b	21.67 ± 3.21^a	10.00 ± 0.00^b	25.67 ± 6.03^a	0.005
RBC ($\times 10^6 \cdot \mu\text{L}^{-1}$)	1.82 ± 1.58^{ab}	1.04 ± 0.90^b	3.34 ± 0.11^a	1.00 ± 0.87^b	3.30 ± 0.03^a	0.018
WBC ($\times 10^3 \cdot \mu\text{L}^{-1}$)	1.33 ± 1.20^{ab}	0.40 ± 0.52^b	1.83 ± 0.51^a	0.30 ± 0.44^b	1.83 ± 0.24^a	0.040
Immunoglobulin (mg.mL ⁻¹)	51.96 ± 11.04^a	0.03 ± 0.06^b	31.37 ± 3.74^a	25.00 ± 30.41^{ab}	42.02 ± 6.88^a	0.015
Total protein (mg.mL ⁻¹)	0.10 ± 0.03^{ab}	0.14 ± 0.02^a	0.15 ± 0.02^a	0.05 ± 0.02^b	0.10 ± 0.05^{ab}	0.018
Lysozyme (U.mL ⁻¹)	0.49 ± 0.21^b	0.00 ± 0.00^b	2.90 ± 0.94^{ab}	3.14 ± 1.36^{ab}	6.04 ± 3.53^a	0.011

Values represent the mean \pm SE.

Different letters in the same row are significantly different ($P < 0.05$).

Abbreviations: HTC: Hematocrit; RBC: Red blood cell; WBC: White blood cell.

ค่าอิมมูโนโกลบูลินในปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่ไม่มีสารสกัดใบเสม็ดขาว พบค่าอิมมูโนโกลบูลินมากที่สุดเท่ากับ 51.96 ± 11.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาว ปริมาณโปรตีนรวมในเลือดปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ต่างกัน 5 ระดับ พบค่าโปรตีนรวมที่สูงที่สุดในกลุ่มปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่ระดับ 20 กรัมต่อกิโลกรัมเท่ากับ 0.15 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือที่ระดับ 10, 30, 40 และ 0 กรัมต่อกิโลกรัมคือ 0.14 ± 0.02 , 0.05 ± 0.02 , 0.10 ± 0.05 และ 0.10 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hamdan et al. (2023) รายงานว่าในกึ่งกลุ่มที่ได้รับสารสกัดใบเสม็ดขาวพบค่าโปรตีนรวมสูงกว่ากลุ่มควบคุม ค่าโปรตีนรวมที่สูงแสดงให้เห็นว่าปลาที่มีโครงสร้างร่างกายที่ดี มีกล้ามเนื้อที่แข็งแรง และค่าไลโซไซม์ของปลาคาร์พที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ต่างกัน 5 ระดับคือ 0, 10, 20, 30 และ 40 กรัมต่อกิโลกรัม พบค่าไลโซไซม์ที่สูงที่สุดในปลาคาร์พที่ได้รับอาหารในระดับที่ 40 กรัมต่อกิโลกรัมคือ 6.04 ± 3.53 ยูนิต์ ต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารที่ระดับ 30, 20, 10 และ 0 กรัมต่อกิโลกรัมมีค่าเท่ากับ 3.14 ± 1.36 , 2.90 ± 0.94 , 0.00 ± 0.00 และ 0.49 ± 0.21 ยูนิต์ต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ค่าไลโซไซม์ในปลาคาร์พที่สูงแสดงให้เห็นว่าปลาคาร์พมีการปกป้องตัวเองจากการรุกรานของเชื้อแบคทีเรียในสิ่งแวดล้อม โดยการออกฤทธิ์ทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ดีขึ้น และโปรตีนรวมเป็นตัวบ่งชี้การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และสภาวะสุขภาพปลา การเพิ่มขึ้นของระดับโปรตีนรวมอาจเป็นส่วนมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวน WBC ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญในการผลิตโปรตีนรวม เช่น lysozyme และ immunoglobulin (Giri et al., 2024) ประสิทธิภาพของพารามิเตอร์

เลือดที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลมาจากสารพิษเคมีหลายชนิดที่มีอยู่ในสารสกัดใบเสม็ดขาวซึ่งเป็นสารส่งเสริมการเจริญเติบโตและสารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (Sahimi et al., 2022) การมีอยู่ของสารเมตาโบไลต์ เช่น ฟลาโวนอยด์ แทนนิน โพลีฟีนอล และสารประกอบฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ เป็นสาเหตุให้เกิดการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน

ประสิทธิภาพของอาหารต่อการต้านทานเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ในปลาแคร์ฟเมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีปริมาณสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ระดับ 0-40 กรัมต่อกิโลกรัม

จากการทดลองประสิทธิภาพการต้านเชื้อของปลาแคร์ฟต่อการติดเชื้อ *Aeromonas hydrophila* หลังจากการฉีดเชื้อ 7 วันพบอัตราการรอดตายสูงสุด (80%) ในกลุ่มปลาทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ 20 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดใบเสม็ดขาวที่ 30, 10 และ 40 กรัมต่อกิโลกรัมเท่ากับ 50%, 30% และ 20% ตามลำดับ ส่วนในกลุ่มปลาที่ได้รับอาหารควบคุมที่ฉีดเชื้อ พบค่าอัตราการรอดตายเท่ากับ 10% และในปลากลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุมที่ฉีดน้ำเกลือ (positive) ไม่พบอัตราการตาย (Figure 1) แต่การใช้สารสกัดในปริมาณที่มากเกินไปก็ส่งผลให้อัตราการรอดต่ำลงได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sahimi et al. (2022) กุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดใบเสม็ดขาวสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ มีการอธิบายไว้ว่าสารประกอบหลักในเสม็ดขาวโดยเฉพาะฟลาโวนอยด์ และกลุ่มเทอร์ปีนสามารถทำลายผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรียให้เกิดความเสียหาย และจากการออกฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียทั้งหมดจึงสามารถยับยั้ง *Aeromonas hydrophila* ได้

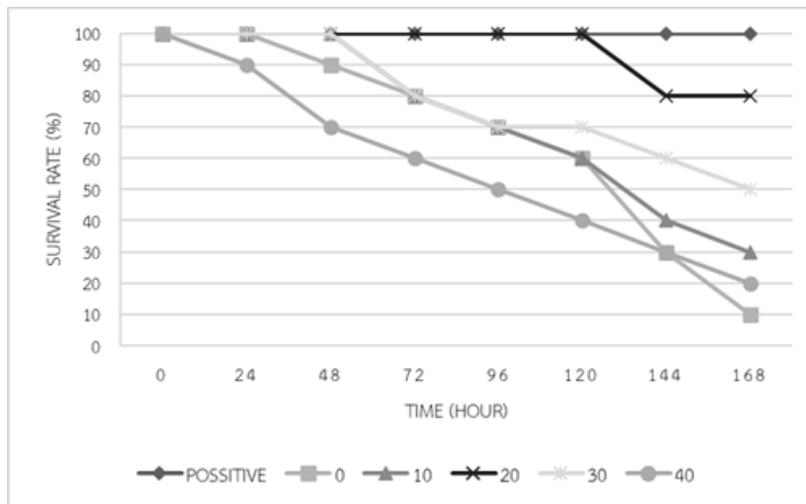


Figure 1 Survival rate (%) of common carp feed different levels of dietary *Melaleuca cajuputi* a 7-day period of exposure to *Aeromonas hydrophila*.

ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีอาจมาจากการมีอยู่ของสารพิษเคมีในสารสกัดใบเสม็ดขาว เช่น เทอร์ปีนอยด์ โพลีฟีนอล คีโตน สารประกอบฟีนอล และฟลาโวนอยด์ และอะโรมาติกอื่น ๆ (Khongsai and Vittaya, 2019) เพราะพิษเคมีเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และสารประกอบหลักโดยเฉพาะฟลาโวนอยด์ และสารในกลุ่มเทอร์ปีน ช่วยเสริมการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดี (Khongsai et al., 2019)

สรุปผลการศึกษา

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมสารสกัดเอทานอลของใบเสม็ดขาวลงในอาหารของปลาแคร์ฟในระดับที่ 20 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร เป็นระดับที่เหมาะสม ปลาแคร์ฟสามารถเจริญเติบโตได้เป็นปกติไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ไม่มีสารสกัดในอาหาร นอกจากนี้ การเสริมสารสกัดในอาหารยังช่วยปรับปรุงพารามิเตอร์เลือด แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันโดยเพิ่มระดับเปอร์เซ็นต์ของเม็ดเลือดต่อปริมาณเลือดทั้งหมด เซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว อิมมูโนโกลบูลิน โปรตีนรวมในเลือด และ ไกลไซม์ รวมถึงประสิทธิภาพการต้านทานเชื้อ *Aeromonad hydrophila*

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา และนักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการของหลักสูตรสาขาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่อนุเคราะห์ให้ความช่วยเหลือในการทำการทดลอง การใช้เครื่องมือ และ อุปกรณ์ต่างๆ และขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้องปริญญาโทที่ช่วยเหลือระหว่างการศึกษาและเก็บผลการทดลอง

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และสมมุติฐาน: อัจฉรี เรืองเดช. การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือ วัด วิธีการเก็บข้อมูล: อัจฉรี เรืองเดช, ปิ่นประภา เกรียงยงค์. การปฏิบัติการวิจัย การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: ปิ่นประภา เกรียงยงค์. การมีส่วนร่วมในการเขียน manuscript: อัจฉรี เรืองเดช, ปิ่นประภา เกรียงยงค์. ให้คำปรึกษาการทดลองเรื่องระบบภูมิคุ้มกัน และวิธีการจัดการด้านโรค: ดวงใจ พิสุทธิ์ธรราชัย. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครูฝึก: อัจฉรี เรืองเดช.

เอกสารอ้างอิง

- Abarike, E. D., Dandi, S. O., & Yeboah, A. A. (2022). A Blend of guava, bitter, and neem leaf extracts improves hematology and resistance to co-infection of *Streptococcus Agalactiae* and *Aeromonas jandaie* but not liver health in Nile Tilapia. **Fish and Shellfish Immunology Reports**, 3(1), 100066. <https://doi.org/10.1016/j.fsirep.2022.100066>.
- Deangroj, A., Chaiprasert, C., & Kantas, T. (2022). Use of crude extract of mangosteen leaf for inhibiting *Aeromonas hydrophila*. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University**, 24(1), 34-39. (in Thai).
- Feng, Y., Cai, H., Liu, X., Zhang, C., Yang, Y., & Wem, M. (2024). Effects of fermented sweet potato residue on growth performance, immune organ morphology, antioxidant capacity and nonspecific immunity in common carp (*Cyprinus carpio*). **Aquaculture Reports**, 36(1), 102153. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102153>.
- Giri, S. S., Kim, S. G., Jun, J. W., Chi, C., Saha, S., Sukumaran, V., & Park, S. C. (2024). Jamun fruit extract enhances growth performance, mucosal immunity, disease resistance, and immune-and antioxidant-related gene expression of *Cyprinus carpio* Juveniles. **Aquaculture Reports**, 36(1), 102123. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102123>.
- Hamdan, N. A., Zakariah, M. I., Yusoff, N. A. H., Narhan, N. A. S., Nagi, A. M., Wahab, W., & Hassan, M. (2023). Physiological effects of *Melaleuca cajuputi* extract on *Macrobrachium rosenbergii*, and its sensitivity against *Probopyrus buitendijki*. **Aquaculture International**, 31(2), 703-718. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00996-3>.
- Hassan, H., Melad, A. A. N., Yusoff, N. A. H., Tosin, O. V., Norhan, N. A. S., & Hamdan, N. A. (2023). *Melaleuca cajuputi* leaf extract accelerates wound healing in african catfish, *Clarias gariepinus*. **Aquaculture Reports**, 31(1), 101682. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101682>.
- Hosseini, S. M., Hoseinifar, S. H., Mazandarani, M., Paknejad, H., Doan, H. V., & El-Harom, E. R. (2020). The potential benefits of orange peels derived pectin on serum and skin mucus immune parameters, antioxidants defense and growth performance in common carp (*Cyprinus carpio*). **Fish and Shellfish Immunology**, 103(1), 17-22. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.04.019>.
- Kanchan, C., Imjai, P., & Kanchan, N. (2018). **Treatment of Bacterial Disease in Goldfish (*Carassius auratus*)**. Retrieved from: <https://fulltext.rmu.ac.th/fulltext/2562/M127652/Kanchan%20Chutharat.pdf>.
- Khongsai, S., Charoendat, U., & Vittaya, L. (2019). **Effective of *Melaleuca cajuputi* and *Syzygium gratum* Extracts to Inhibit Bacterial Pathogens in Shrimp and Fish**. Retrieved from: <https://riss.rmutsv.ac.th/upload/doc/202011/EMXU8HaxdoQeLRkEBF8k/EMXU8HaxdoQeLRkEBF8k.pdf>
- Khongsai, S., & Vittaya, L. (2019). **Phenolics Contents, Flavonoids Contents and Antioxidant Activity of *Melaleuca cajuputi* and *Syzygium* extracts**. Retrieved from: <https://riss.rmutsv.ac.th/upload/doc/202011/Wkh4LzuHXfAAVBheXaK0/Wkh4LzuHXfAAVBheXaK0.pdf>
- Meng, X. L., You, F., Cao, H., Cai, H. M., Li, Y., Yang, G. K., Zhang, Y. M., Chang, X. L., Zhang, X. D., & Tian, X. (2022). Effect of dietary licorice (*Glycyrrhiza uralensis*) supplementation on growth performance, muscle quality, and immunity in the common carp (*Cyprinus carpio haematopterus*). **Aquaculture Reports**, 27(1), 101331. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101331>.
- Rattanachaikunsophon, P., & Phumkhachom, P. (2010). Use of herbs as prophylactic and therapeutic agents in fish. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University**, 12(4), 63-71. (in Thai).
- Sahimi, M. B. M. K., Nagi, A. M., Hamdan, N. A., Zakariah, M. I., Yusoff, N. A. H., Tosin, O. V., & Hassan, M. (2022). Cajuput *Melaleuca cajuputi* extract supplementation in diets of *Macrobrachium rosenbergii*: insight on the growth, immunological responses and resistance against *Aeromonad hydrophila*. **Aquaculture Research**, 23(1), 3441-3452. <https://doi.org/10.1111/are.15851>.

- Tebsun, K., Kronkpang, L., Rodloy, A., & Jintasataporn, O. (2016). The effect of turmeric and kariat crude extract of fancy carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus.1758). **Technical paper no. 6/2016. Department of Fisheries, Bangkok (Thailand)**. Inland Fisheries Research and Development Division.
- Wangkahart, E. (2018). Effect of *Aeromonas hydrophila* infection on hematological value in hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) and sensitivity test to antibiotic drugs. **Science Essence Journal**, 34(1), 151–166.
<https://ejournals.swu.ac.th/index.php/sej/article/view/10083>.
- Yousefi, M., Hoseini, S. M., Kulikov, E. V., Babichev, N. V., Bloshakova, M. V., Shopinskaya, M. I., Rogov, R. V., & Zharov, A. N. (2023). Effects of Dietary pomegranate peel supplementation on growth performance and biochemical responses of common carp, *Cyprinus carpio*, to chronic crowding stress. **Aquaculture Reports**, 30(1), 101532.
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101532>.
- Yuwapanichsamphan, S. (2022). **Aeromonas Infection**. Retrieved from:
<https://niah.dld.go.th/webnew/images/newsletter/2550/news2550v66.pdf>. (in Thai).

การประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาของบวบหอมเพื่อการใช้ประโยชน์ด้านการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช

Morphological Characterization of Sponge Gourd for Utilization in Plant Germplasm Conservation

อัสনী ส่งเสริม¹Assanee Songserm¹

Received date: 23 ธ.ค. 67 Revised date: 25 มี.ค. 68 Accepted date: 25 มี.ค. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.30.018>

บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของบวบหอม (*Luffa aegyptiaca* Mill.) สำหรับการจำแนกลักษณะประจำพันธุ์และใช้ประโยชน์ข้อมูลเพื่อการอนุรักษ์เชื้อพันธุกรรมพืชในธนาคารเชื้อพันธุกรรมพืชกรมวิชาการเกษตรได้ดำเนินการที่สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ จังหวัดปทุมธานี วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design: RCBD) จำนวน 2 ซ้ำ สิ่งทดลองเป็น บวบหอม จำนวน 13 ตัวอย่าง ได้แก่ L4 (บวบพวง) L18 (บวบหอม) L20 (บวบป้อม) L22 (บวบสั้น) L35 (บวบหอมยาว) L36 (บวบหอม) L43 (บวบหอมสั้น) L44 (บวบหอมยาว) L48 (บวบหอม) L51 (บวบหอมยาว) L56 (บวบหอมป่า) L58 (บวบยาว) และ L60 (บวบหอม) ผลการศึกษาพบว่า ทุกตัวอย่างจัดอยู่ในประเภทดอกแยกเพศอยู่บนต้นเดียวกัน สีกลีบดอกจัดอยู่ในกลุ่มสีเหลือง (Yellow Group) ประกอบด้วย กลุ่ม Yellow Group 7A Yellow Group 7B Yellow Group 12B และ Yellow Group 13B รูปร่างทรงผลส่วนใหญ่เป็นรูปทรงไข่เรียวยาว (elongate slim) คิดเป็น 46 เปอร์เซ็นต์ ร่องสันผลตื้น น้ำหนักผลเฉลี่ย 269.662 กรัม และจำนวนผลต่อต้นเฉลี่ย 23 ผลต่อต้น ผลอ่อนมีรสชาติหวาน อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ไยบวบจากผลแก่สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับทำความสะอาดร่างกาย และเครื่องใช้ภายในครัวเรือน เป็นต้น นอกจากนี้ พบว่า L4 (บวบพวง) มีความแตกต่างของขนาดและทรงผลจากบวบหอมตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด โดยมีความยาวผลจัดอยู่ในประเภทสั้นมาก ความยาวเฉลี่ย 7 เซนติเมตร เมล็ดบวบหอมทั้ง 13 ตัวอย่าง จัดอยู่ในกลุ่มสีดำ ได้แก่ กลุ่ม Black Group 202A Black Group 203A และ Black Group 203B โดยมีน้ำหนัก 100 เมล็ดเฉลี่ยที่ 9.771 กรัม โดยข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้

คำสำคัญ: บวบหอม การประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยา การใช้ประโยชน์ ธนาคารเชื้อพันธุกรรมพืชกรมวิชาการเกษตร

Abstract

The study on morphological characteristics of sponge gourd (*Luffa aegyptiaca* Mill.) for germplasm characterization and data utilization support for plant germplasm conservation at Genebank of Department of Agriculture (DOA Genebank) was carried out at Biotechnology Research and Development Office, Pathumthani. Randomized Completely Block Design with 2 replicates was applied to 13 samples of sponge gourd, comprising of L4 (Buab Phuang), L18 (Buab Hawm), L20 (Buab Pom), L22 (Buab Sun), L35 (Buab Hawm Yao), L36 (Buab Hawm), L43 (Buab Hawm Sun), L44 (Buab Hawm Yao), L48 (Buab Hawm), L51 (Buab Hawm Yao), L56 (Buab Hawm Pah), L58 (Buab Yao), and L60 (Buab Hawm). The result showed that all samples were classified as having a Monoecious sex type. Petal colour was listed in Yellow Group consisting of Yellow Group 7A, Yellow Group 7B, Yellow Group 12B, and Yellow Group 13B. Fruit ribs showed superficial appearances. Average fruit weight was 269.662 grams. The average number of fruit per plant was 23. The young fruits had sweet taste and high nutritional value. The fibers from the mature fruits can be used for body cleaning and household items, etc. It was also found that L4 had obviously shortest fruit size at 7 cm. The matured seed color of total samples can be grouped in Black Group 202A, Black Group 203A and Black Group 203B. The average weight of 100 seeds across all samples was 9.771 grams. The data obtained from this research will be used as a database for the conservation of *Luffa* spp. of DOA Genebank.

Keywords: sponge gourd, morphological characterization, utilization, DOA Genebank

¹ สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร จ.ปทุมธานี 12110

¹ Biotechnology Research and Development Office, Department of Agriculture, Pathum Thani 12110

* Corresponding author: yugyeom.tooney@gmail.com

คำนำ

บวบหอม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Luffa aegyptiaca* Mill. จัดอยู่ในพืชสกุลบวบ (*Luffa* spp.) ซึ่งเป็นหนึ่งในพืชวงศ์แตงที่นำสนใจ มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนชื้นของทวีปเอเชีย (Porterfield, 1955) มีชื่อเรียกตามแต่ละท้องถิ่นแตกต่างกันไป เช่น ในภาคกลางเรียกว่า บวบหอม บวบกลม ในภาคเหนือเรียก มะบวบ มะบวบอ้ม มะนอยอ้ม ในเขตมลายูทางภาคใต้ เรียก กะตอระอ เป็นต้น (Thiangburanatham, 1999) บวบเป็นไม้เถาเลื้อย ลำต้นเป็นเถามีเหลี่ยม ตามข้อมีมือเกาะเป็นเส้นยาว โดยทั่วไปมี 3 เส้น ต้นอ่อนและยอดอ่อนมีขนนุ่มปกคลุม ผลอ่อนหลายสีเขียวแก่ ผลแก่สีเขียวออกเหลือง เนื้อในมีเส้นใยเหนียวเป็นร่างแห เมล็ดแบนรี สารสำคัญที่พบในผล ได้แก่ saponins, luffein และ mucilage รังบวบ ได้แก่ xylan, cellulose, mannan และ lignin ส่วนในเมล็ด ได้แก่ linoleic acid, palmitic acid, steric acid, oleic acid และ glyceron เป็นต้น สำหรับประโยชน์ทางอาหารของบวบหอม ส่วนที่ใช้เป็นอาหาร คือ ผลอ่อน ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการมากมาย บวบหอม 100 กรัม ให้พลังงานแก่ร่างกาย 18 กิโลแคลอรี ประกอบด้วยน้ำ 95.9 กรัม คาร์โบไฮเดรต 2.2 กรัม โปรตีน 0.7 กรัม ไขมัน 0.7 กรัม กากใย 0.2 กรัม แคลเซียม 3 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 3 มิลลิกรัม เหล็ก 0.4 มิลลิกรัม วิตามินบี 1 0.37 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 0.05 มิลลิกรัม ไนอาซิน 0.2 มิลลิกรัม และวิตามินซี 15 มิลลิกรัม ข้อมูลรายงานทางสรรพคุณทางยาที่น่าสนใจ คือ เมล็ดแก่ หากรับประทานตอนท้องว่าง สามารถขับพยาธิตัวกลมได้ น้ำต้มเถาบวบใช้รักษาอาการหลอดลมอักเสบ อาการหอบหืด และจุกอักเสบได้ (Institute of Thai Traditional Medicine, 1999) นอกจากนี้ ใช้เป็นยารักษาสตรีที่ตกเลือดหรือมีประจำเดือนผิดปกติ บิด เจ็บคอ เป็นต้น (Sarasri, 2001) ประโยชน์ของบวบหอม นอกจากบริโภคผล ยังมีประโยชน์อื่นๆ อีก อาทิเช่น การนำส่วนของใยหรือรังบวบ(ผลแก่) ใช้ทำความสะอาดรถยนต์และเครื่องใช้ภายในครัวเรือนและใช้ประดิษฐ์เป็นเครื่องกรองของเครื่องจักรต่างๆ ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 (Siemonsma, 1993)

ธนาคารเชื้อพันธุพืชกรมวิชาการเกษตร เป็นศูนย์กลางการอนุรักษ์เชื้อพันธุกรรมพืช ซึ่งมีการอนุรักษ์เชื้อพันธุพืชหลายชนิด รวมถึงพืชสกุลบวบ ปัจจุบันมีพืชสกุลบวบที่อนุรักษ์ไว้จำนวน 15 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วย บวบหอม จำนวน 13 ตัวอย่าง และบวบเหลี่ยม จำนวน 2 ตัวอย่าง โดยมีแผนรวบรวมพืชสกุลนี้เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความหลากหลายทางพันธุกรรม ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของการประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพืชสกุลบวบ (*Luffa* spp.) สำหรับการใช้ประโยชน์ในการจำแนกลักษณะประจำพันธุ์ของพืชสกุลบวบที่รวบรวมได้จากแหล่งต่างๆ ตลอดจนใช้เป็นฐานข้อมูลในการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชของธนาคารเชื้อพันธุพืชกรมวิชาการเกษตรเพื่อการใช้ประโยชน์ต่อไป

วิธีการศึกษา

ดำเนินการปลูกประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาของบวบหอม ณ สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ จังหวัดปทุมธานี ตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึง เดือนกรกฎาคม 2561 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCB) จำนวน 2 ซ้ำ สิ่งทดลอง (Treatment) ประกอบด้วย บวบหอม 13 ตัวอย่าง (Table 1) โดยบันทึกลักษณะทางสัณฐานวิทยา ได้แก่ ระยะการเจริญเติบโต (Vegetative Growth Stage) ระยะออกดอกและติดผล (Inflorescences and Fruit Stage) และระยะเก็บเกี่ยว (Harvesting Stage) อย่างน้อย 25 ลักษณะ ใช้คำบรรยายลักษณะพืชโดยดัดแปลงจาก Descriptor for Sponge Gourd [*Luffa cylindrical* (L.) Roem.] (Joshi et al, 2004.) วิเคราะห์ความแปรปรวนและทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.05$) ด้วยโปรแกรม IRRISTAT version 3/93 บันทึกข้อมูลสำหรับใช้ประโยชน์ในธนาคารเชื้อพันธุพืชกรมวิชาการเกษตร

Table 1 List of Sponge gourd (*Luffa aegyptiaca* Mill.) collected from Thailand

Code	Local name	Type of sample	Source	Province
L4	Buab Phuang	Landraces	Exhibition	Nan
L18	Buab Hawm	Landraces	Private farm	Nakhon Phanom
L20	Buab Pom	Landraces	Private farm	Mukdahan
L22	Buab Sun	Landraces	Private farm	Nakhon Ratchasima
L35	Buab Hawm Yao	Commercial variety	Local market	Chanthaburi
L36	Buab Hawm	Commercial variety	Local market	Chanthaburi
L43	Buab Hawm Sun	Landraces	Local village	Nakhon Phanom
L44	Buab Hawm Yao	Landraces	Local market	Bangkok
L48	Buab Hawm	Landraces	Private farm	Nakhon Phanom
L51	Buab Hawm Yao	Landraces	Local village	Sakon Nakhon
L56	Buab Hawm Pah	Old landraces	Private farm	Sa Kaeo
L58	Buab Yao	Landraces	Local village	Sa Kaeo
L60	Buab	Landraces	Local market	Sa Kaeo

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาบวบหอม จำนวน 13 ตัวอย่าง (Table 1) พบว่าระยะต้นกล้าบวบหอมมีเปอร์เซ็นต์ความงอก 75 – 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่เมล็ดมีความงอก 80 - 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 11 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 85 และมีความงอกต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 15 ค่าเฉลี่ยของกลุ่มเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดพันธุ์ใช้เวลาในการงอกครั้งแรก 5 วัน โดยสีของใบเลี้ยงเป็นสีเขียวกลุ่ม Green Group 137A 137B 138A และ 138B และอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของใบเลี้ยงอยู่ในช่วงขนาดน้อยกว่า 2 ทั้ง 13 ตัวอย่าง (Table 2)

การประเมินเชื้อพันธุกรรมบวบหอมระยะเจริญเติบโตต้นกล้าต้น พบว่า บวบหอมมีลักษณะวิสัยการเจริญเติบโตเป็นแบบเลื้อย (prostrate) รูปร่างใบคล้ายไตหรือเมล็ดถั่วดำ (reniform) สอดคล้องกับ Mavi et al. (2021) ที่ศึกษาลักษณะประจำพันธุ์ของบวบหอม ซึ่งพบว่า ลักษณะวิสัยของบวบหอมที่ศึกษาทั้งหมดเป็นการเจริญเติบโตแบบเลื้อย โดยมีรูปร่างใบเป็นแบบ reniform เช่นเดียวกัน โดยมีสีลายจุดเป็นสีเขียวปนเงินทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้แก่ L35 (บวบหอมยาว) L36 (บวบหอม) L51 (บวบหอมยาว) และ L60 (บวบหอม) บวบส่วนใหญ่มีขอบใบหยักเป็นจำนวน 11 ตัวอย่าง ยกเว้น L4 (บวบพวง) และ L 22 (บวบสั้น) ที่มีขอบใบเรียบ บวบทั้ง 13 ตัวอย่างมีขนด้านหลังและด้านหน้าใบน้อย แฉกใบตื้น ความยาวก้านใบเฉลี่ยที่ 8.608 เซนติเมตร โดย L20 (บวบป้อม) มีความยาวก้านใบมากที่สุด คือ 10.850 เซนติเมตร ความยาวปล้องเฉลี่ยของบวบ 13 ตัวอย่าง คือ 10.196 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย คือ 4.778 เซนติเมตร รูปร่างลำต้นมีลักษณะเหลี่ยม (Table 2 และ Table 3)

Table 2 Morphological characters of 13 sponge gourd (*Luffa aegyptiaca* Mill.) accessions at seedling and vegetative growth stage since March to July 2018 at Biotechnology Research and Development Office, Department of Agriculture, Pathumthai Province

Code	Local name	Cotyledon length (mm)	Cotyledon width (mm)	Petiole length (cm)	Internode length (cm)	Stem diameter (cm)	Cotyledon Size (ratio of length/width)	Cotyledon color	Habit	Stem shape	Leaf shape
L4	Buab Phuang	51.89 ab	32.50 ef	7.30 ab	10.40 bcd	3.69 ab	1.60	Green Group 138B	Prostrate	Angular	Reniform
L18	Buab Hawm	50.94 a	27.32 ab	6.55 a	10.15 a-d	3.54 a	1.86	Green Group 137B	Prostrate	Angular	Reniform
L20	Buab Pom	51.37 a	27.25 ab	10.85 de	8.05 a	4.40 a-d	1.88	Green Group 138A	Prostrate	Angular	Reniform
L22	Buab Sun	52.70 ab	27.41 ab	6.50 a	9.00 ab	3.96 abc	1.92	Green Group 137B	Prostrate	Angular	Reniform
L35	Buab Hawm Yao	51.30 a	26.31 a	7.75 abc	11.50 de	4.24 abc	1.95	Green Group 137B	Prostrate	Angular	Reniform
L36	Buab Hawm	51.95 ab	29.08 bc	10.00 cde	10.95 b-e	5.85 g	1.79	Green Group 137A	Prostrate	Angular	Reniform
L43	Buab Hawm Sun	61.03 c	32.90 f	12.25 e	10.15 a-d	5.01 c-g	1.85	Green Group 138A	Prostrate	Angular	Reniform
L44	Buab Hawm Yao	52.09 ab	29.45 bcd	8.00 abc	12.75 e	5.42 d-g	1.77	Green Group 137B	Prostrate	Angular	Reniform
L48	Buab Hawm	54.45 ab	31.68 def	5.75 a	11.25 cde	4.67 b-e	1.72	Green Group 137B	Prostrate	Angular	Reniform
L51	Buab Hawm Yao	55.71 b	30.12 cde	7.65 abc	9.95 a-d	5.49 efg	1.85	Green Group 138A	Prostrate	Angular	Reniform
L56	Buab Hawm Pah	63.80 c	32.98 f	10.55 de	9.50 a-d	5.36 d-g	1.93	Green Group 137B	Prostrate	Angular	Reniform
L58	Buab Yao	53.26 ab	28.67 abc	9.50 bcd	9.75 a-d	5.74 fg	1.86	Green Group 138B	Prostrate	Angular	Reniform
L60	Buab	64.73 c	33.95 f	9.25 bcd	9.15 abc	4.77 c-f	1.91	Green Group 137B	Prostrate	Angular	Reniform
Mean		55.02	29.97	8.61	10.20	4.78					
F-test		**	**	**	*	**					
CV ^{1/2} (%)		3.0	3.5	11.4	8.7	9.2					

^{1/2}CV : coefficient of variation, Means within columns and rows followed by the same letters are not significantly different at 5% level probability using DMRT.

Table 3 Morphological characters of 13 sponge gourd (*Luffa aegyptiaca* Mill.) accessions at vegetative and flowering growth stage since March to July 2018 at Biotechnology Research and Development Office, Department of Agriculture, Pathumthai Province

Code	Local name	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf spot color	Leaf margin	Dorsal leaf pubescence	Ventral leaf pubescence	Leaf lobes	Male flower ratio	Flower color	Sex type
L4	Buab Phuang	12.70 ab	12.50 ab	Green	Smooth	Low	Low	Shallow	High	Yellow Group 7A	Monoecious
L18	Buab Hawm	11.40 a	11.65 a	Green	Dented	Low	Low	Shallow	High	Yellow Group 7A	Monoecious
L20	Buab Pom	13.05 ab	13.90 a-d	Green	Dented	Low	Intermediate	Shallow	High	Yellow Group 7A	Monoecious
L22	Buab Sun	12.75 ab	12.75 abc	Green	Smooth	Low	Low	Shallow	High	Yellow Group 7B	Monoecious
L35	Buab Hawm Yao	17.00 cd	18.75 e	Green and silver	Dented	Low	Low	Shallow	High	Yellow Group 12B	Monoecious
L36	Buab Hawm	13.85 abc	14.45 a-d	Green and silver	Dented	Low	Low	Shallow	High	Yellow Group 7A	Monoecious
L43	Buab Hawm Sun	13.65 abc	15.30 a-e	Green	Dented	Low	Low	Shallow	High	Yellow Group 7A	Monoecious
L44	Buab Hawm Yao	17.50 d	15.55 b-e	Green	Dented	Low	Low	Shallow	High	Yellow Group 7A	Monoecious
L48	Buab Hawm	13.25 ab	12.75 abc	Green	Dented	Low	Low	Shallow	High	Yellow Group 7A	Monoecious
L51	Buab Hawm Yao	16.35 bcd	16.80 de	Green and silver	Dented	Low	Low	Shallow	High	Yellow Group 7A	Monoecious
L56	Buab Hawm Pah	16.10 bcd	16.30 cde	Green	Dented	Low	Low	Shallow	High	Yellow Group 13B	Monoecious
L58	Buab Yao	12.25 a	13.00 abc	Green	Dented	Low	Low	Shallow	High	Yellow Group 7A	Monoecious
L60	Buab	14.25 a-d	14.50 a-d	Green and silver	Dented	Low	Low	Shallow	High	Yellow Group 7A	Monoecious
Mean		14.16	14.48								
F-test		*	*								
CV ^{1/2} (%)		10.7	10.4								

^{1/2}CV : coefficient of variation, Means within columns and rows followed by the same letters are not significantly different at 5% level probability using DMRT.

ระยะออกดอกบวบหอมทั้ง 13 ตัวอย่าง พบว่า มีอัตราการดอกเพศผู้อยู่ที่ระดับสูง ซึ่งโดยทั่วไป เพศดอกของบวบประกอบด้วย Androecious (ดอกเพศผู้อย่างเดียว) Gynoecious (ดอกเพศเมียอย่างเดียว) Andromonoecious (ดอกเพศผู้และดอกกระเทยแยกกันแต่อยู่บนต้นเดียวกัน) Gynomonoeious (ดอกตัวเมียและดอกกระเทยแยกกันแต่อยู่บนต้นเดียวกัน) Monoecious (ดอกแยกเพศอยู่ร่วมต้นเดียวกัน) และ Hermaphroditic (ดอกกะเทย มีทั้ง anther และ ovary) จากการประเมินลักษณะระยะออกดอกของบวบหอมทั้ง 13 ตัวอย่าง พบว่า เพศดอกเป็นแบบ Monoecious สีของกลีบดอกจัดอยู่ในกลุ่มสีเหลืองหรือ Yellow Group แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มที่ 1: Yellow Group 7A ได้แก่ L4 (บวบพวง) L18 (บวบหอม) L20 (บวบป้อม) L36 (บวบหอม) L43 (บวบหอมสั้น) L44 (บวบหอมยาว) L48 (บวบหอม) L51 (บวบหอมยาว) L58 (บวบยาว) และ L60 (บวบหอม) กลุ่มที่ 2: Yellow Group 7B ได้แก่ L22 (บวบสั้น) กลุ่มที่ 3: Yellow Group 12B ได้แก่ L35 (บวบหอมยาว) และ กลุ่มที่ 4: Yellow Group 13B ได้แก่ L56 (บวบหอมป้า) (Table 3)

ระยะติดผลและเก็บเกี่ยว พบว่า ความยาวผลเฉลี่ย อยู่ที่ 62.683 เซนติเมตร แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มที่ 1: ผลสั้นมาก ได้แก่ L4 (บวบพวง) คิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 2: ผลสั้น ได้แก่ L22 (บวบสั้น) และ L43 (บวบหอมสั้น) คิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 3: ผลยาวปานกลาง ได้แก่ L18 (บวบหอม) L20 (บวบป้อม) และ L36 (บวบหอม) คิดเป็น 23 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 4: ผลยาว ได้แก่ L35 (บวบหอมยาว) L44 (บวบหอมยาว) L48 (บวบหอม) L56 (บวบหอมป้า) L58 (บวบยาว) และ L60 (บวบหอม) คิดเป็น 46 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ 5: ผลยาวมาก ได้แก่ L51 (บวบหอมยาว) คิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความกว้างผลเฉลี่ยที่ 5.22 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาค้นคว้าความกว้างผลบวบหอมของ Sangma et al. (2020) ที่มีค่าเฉลี่ยที่ 5.58 เซนติเมตร บวบหอมทุกตัวอย่างมีรูปร่างก้านผลกลม โดยความยาวก้านผลเฉลี่ย คือ 8.542 เซนติเมตร การแยกของก้านผลออกจากผลจัดอยู่ในระดับยาก ส่วนใหญ่มีรูปร่างฐานผลส่วนดอกเป็นลักษณะมนและรูปร่างขั้วผลส่วนติดลำต้นมีลักษณะกลม รูปร่างผลส่วนใหญ่เป็นรูปทรงไข่เรียวยาว (elongate slim) คิดเป็น 46 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่มีร่องสันผลตื้น (superficial) (Table 4) น้ำหนักผลเฉลี่ยของบวบ 13 ตัวอย่าง คือ 269.662 กรัม และจำนวนผลต่อต้นเฉลี่ย คือ 23 ผล รสชาติผลระยะผลอ่อนส่วนใหญ่มีรสชาติดหวาน ทุกตัวอย่างมีความแข็งเปลือกอยู่ที่ระดับปานกลาง โดยเมล็ดของบวบหอมทั้ง 13 ตัวอย่าง จัดอยู่ในกลุ่มสีดำ หรือ Black Group จำนวน 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1: Black Group 202A ได้แก่ L4 (บวบพวง) L18 (บวบหอม) L22 (บวบสั้น) L35 (บวบหอมยาว) L36 (บวบหอม) L44 (บวบหอมยาว) L48 (บวบหอม) L51 (บวบหอมยาว) L56 (บวบหอมป้า) L58 (บวบยาว) และ L60 (บวบหอม) กลุ่มที่ 2: Black Group 203A ได้แก่ L20 (บวบป้อม) และกลุ่มที่ 3: Black Group 203B ได้แก่ L43 (บวบหอมสั้น) ความยาวเมล็ดเฉลี่ยที่ 11 มิลลิเมตร ความกว้างเมล็ดเฉลี่ยที่ 7 มิลลิเมตร น้ำหนัก 100 เมล็ด เฉลี่ย 9.77 กรัม (Table 5)

Table 4 Morphological characters of 13 sponge gourd (*Luffa aegyptiaca* Mill.) accessions at Fruit and harvest stage since March to July 2018 at Biotechnology Research and Development Office, Department of Agriculture, Pathumthai Province

Code	Local name	Fruit length (cm)	Fruit width (cm)	Peduncle length (cm)	Peduncle shape	Peduncle separate from fruit	Blossom end fruit shape	Stem-end fruit shape	Fruit size	Fruit shape	Fruit ribs
L4	Buab Phuang	7.00 a	4.88 bcd	5.10 ab	Round	Difficult	Rounded	Rounded	Very short	Elliptical	Superficial
L18	Buab Hawm	58.75 d	3.30 a	6.45 bc	Round	Difficult	Rounded	Rounded	Long	Elongate slim	Superficial
L20	Buab Pom	44.75 c	5.71 ef	6.40 bc	Round	Difficult	Rounded	Rounded	Medium	Elliptical	Superficial
L22	Buab Sun	29.05 b	4.61 b	3.80 a	Round	Difficult	Flattend	Rounded	Short	Elliptical	Superficial
L35	Buab Hawm Yao	118.00 j	4.78 bc	7.00 c	Round	Difficult	Pointed	Rounded	Very long	Elongate slim	Absent
L36	Buab Hawm	42.95 c	4.70 b	15.75 e	Round	Difficult	Flattend	Flattened	Medium	Elongate elliptical	Absent
L43	Buab Hawm Sun	34.10 b	5.30 cde	5.90 bc	Round	Difficult	Rounded	Rounded	Short	Elongate tapered	Superficial
L44	Buab Hawm Yao	66.70 e	5.71 ef	6.80 c	Round	Difficult	Rounded	Rounded	Long	Elongate slim	Absent
L48	Buab Hawm	54.95 d	5.45 e	4.15 a	Round	Difficult	Rounded	Rounded	medium	Elliptical	Superficial
L51	Buab Hawm Yao	103.05 i	6.30 g	7.35 c	Round	Difficult	Rounded	Rounded	Very long	Elongate slim	Intermediate
L56	Buab Hawm Pah	74.25 f	5.38 de	16.75 e	Round	Difficult	Rounded	Rounded	Long	Elongate tapered	Superficial
L58	Buab Yao	95.58 h	6.08 fg	10.00 d	Round	Difficult	Rounded	Rounded	Long	Elongate slim	Intermediate
L60	Buab	85.75 g	5.65 ef	15.60 e	Round	Difficult	Rounded	Rounded	Long	Elongate slim	Superficial
Mean		62.68	5.22	8.54							
F-test		**	**	**							
CV ^{1/2} (%)		4.8	4.5	7.5							

^{1/2}CV : coefficient of variation, Means within columns and rows followed by the same letters are not significantly different at 5% level probability using DMRT.

Table 5 Morphological characters of 13 Sponge gourd (*Luffa aegyptiaca* Mill.) accessions at Fruit and harvest stage since March to July 2018 at Biotechnology Research and Development Office, Department of Agriculture, Pathumthai Province

Code	Local name	Fruit weight (Gram)	Fruit per plant	Seed length (mm)	Seed width (mm)	100-seed weight (Gram)	Seed size	Seed color	Flesh taste	Skin hardness
L4	Buab Phuang	61.10 a	92.48 h	9.97 a	5.83 a	8.38 c	Medium	Black group 202 A	Sweet	Intermediate
L18	Buab Hawm	222.75 bc	13.98 ab	10.02 a	6.48 b	9.40 d	Large	Black group 202 A	Sweet	Intermediate
L20	Buab Pom	205.35 b	21.96 efg	10.39 ab	6.53 b	7.43 b	Large	Black group 203 A	Sweet	Intermediate
L22	Buab Sun	227.70 cd	19.99 def	10.23 ab	6.94 c	6.70 a	Large	Black group 202 A	Sweet	Intermediate
L35	Buab Hawm Yao	453.00 h	13.46 ab	12.70 d	7.77 ef	15.40 g	Large	Black group 202 A	Sweet	Intermediate
L36	Buab Hawm	217.61 bc	15.99 bc	11.77 c	7.370 de	11.55 f	Large	Black group 202 A	Sweet	Intermediate
L43	Buab Hawm Sun	241.53 de	23.48 fg	10.80 b	7.05 cd	8.40 c	Large	Black group 203 B	Intermediate	Intermediate
L44	Buab Hawm Yao	421.00 g	16.50 bcd	13.24 d	7.62 e	10.30 e	Large	Black group 202 A	Sweet	Intermediate
L48	Buab Hawm	249.38 e	14.98 bc	10.53 ab	6.42 b	8.55 c	Large	Black group 202 A	Intermediate	Intermediate
L51	Buab Hawm Yao	369.80 f	15.47 bc	12.82 d	8.51 g	10.52 e	Large	Black group 202 A	Sweet	Intermediate
L56	Buab Hawm Pah	208.18 b	25.99 g	10.46 ab	6.47 b	11.30 f	Large	Black group 202 A	Sweet	Intermediate
L58	Buab Yao	375.88 f	18.50 cde	10.56 ab	7.37 de	7.65 b	Large	Black group 202 A	Sweet	Intermediate
L60	Buab	252.35 e	10.98 a	12.86 d	8.13 f	11.45 f	Large	Black group 202 A	Sweet	Intermediate
Mean		269.66	23.37	11.26	7.11	9.77				
F-test		**	**	**	**	**				
CV ^{1/2} (%)		2.9	4.16	2.2	2.4	2.8				

^{1/2}CV : coefficient of variation, Means within columns and rows followed by the same letters are not significantly different at 5% level probability using DMRT.

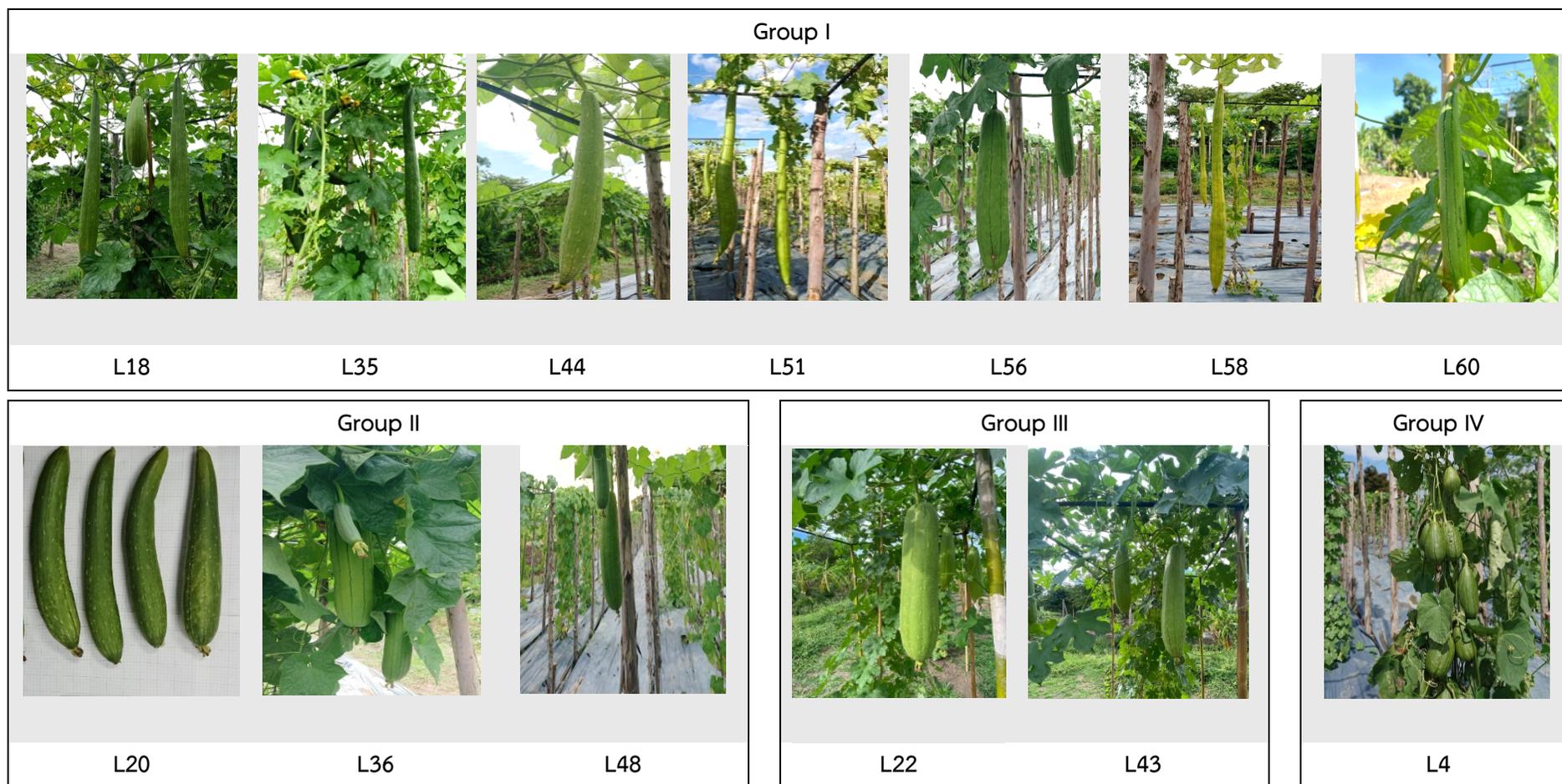


Figure 1 Fruit characters was divided into four morphological groups follows:

Group I: Long fruit group, The fruit is longer than 55 cm with Elongate slim or Elongate tapered fruit shape. (7 samples)

Group II: Medium long fruit group, The fruit is between 40–55 cm long with Elliptic or Elongate elliptical fruit shape. (3 samples)

Group III: Short fruit group, The fruit is between 10–40 cm long with Elliptic fruit shape. (2 samples)

Group IV: Other characters group, The fruit is less than 10 cm long with Elliptic fruit shape and multiple fruit set per inflorescence. (1 sample)

สรุปผลการศึกษา

จากการประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยาบวบหอม จำนวน 13 ตัวอย่าง สามารถแบ่งกลุ่มได้เป็น 4 กลุ่ม (Figure 1) คือ กลุ่มที่ 1 กลุ่มบวบหอมผลยาว ความยาวผลตั้งแต่ 55 เซนติเมตรขึ้นไป รูปทรงผลเรียวยาวแบบ Elongate slim และ Elongate tapered พบจำนวน 7 ตัวอย่าง ได้แก่ L18 (บวบหอม) L35 (บวบหอมยาว) L44 (บวบหอมยาว) L51 (บวบหอมยาว) L56 (บวบหอมป้า) L58 (บวบยาว) และ L60 (บวบหอม)

กลุ่มที่ 2 กลุ่มบวบหอมผลยาวปานกลาง ความยาวผลระหว่าง 40 – 55 เซนติเมตร รูปทรงผลรียาว แบบ Elliptic และ Elongate elliptical พบจำนวน 3 ตัวอย่าง ได้แก่ L20 (บวบป้อม) L36 (บวบหอม) และ L48 (บวบหอม)

กลุ่มที่ 3 กลุ่มบวบหอมผลสั้น ความยาวผลระหว่าง 10 – 40 เซนติเมตร รูปทรงผลรียาว แบบ Elliptic พบจำนวน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ L22 (บวบสั้น) และ L43 (บวบหอมสั้น)

กลุ่มที่ 4 กลุ่มอื่นๆ ผลมีขนาดสั้นมาก ความยาวผลน้อยกว่า 10 เซนติเมตร รูปทรงผลรียาว แบบ Elliptic และมีลักษณะจำนวนมากกว่า 1 ผล ต่อช่อดอก พบจำนวน 1 ตัวอย่าง ได้แก่ L4 (บวบพวง)

ซึ่งตัวอย่างบวบที่น่าสนใจ เหมาะกับการนำไปบริโภค ได้แก่ บวบหอมยาว (L35) บวบหอมยาว (L51) เนื่องจากเป็นบวบหอมที่มีขนาดผลยาวมากกว่า 100 เซนติเมตร เหมาะแก่การนำผลอ่อนไปปรุงเป็นอาหาร ได้ปริมาณวิตามินสูงและคุณค่าต่อการนำไปใช้ประโยชน์ และบวบพวง (L4) ซึ่งมีผลและใบขนาดเล็ก เจริญเติบโตง่าย ผลผลิตสูงมาก รสชาติผลอ่อนมีความหวาน เก็บเกี่ยวง่ายและทนต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูพืช ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการจำแนกลักษณะประจำพันธุ์ ตลอดจนเพื่อเป็นแนวทางในการอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชสกุลบวบของธนาคารเชื้อพันธุ์พืชกรมวิชาการเกษตร

ผลประโยชน์ทับซ้อน

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยและเจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยพัฒนาธนาคารเชื้อพันธุ์พืชและจุลินทรีย์ สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือการทำวิจัยในทุกขั้นตอน โดยเฉพาะงานเจ้าหน้าที่ประจำงานพันธุพืชเชื้อพันธุ์พืช และขอขอบคุณเจ้าของเชื้อพันธุ์พืชสกุลบวบทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อพันธุ์สำหรับใช้ในการทดลอง

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: อัสนี ส่งเสริม. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: อัสนี ส่งเสริม. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: อัสนี ส่งเสริม. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: อัสนี ส่งเสริม. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: อัสนี ส่งเสริม. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และ ครุภัณฑ์: อัสนี ส่งเสริม.

เอกสารอ้างอิง

- Joshi, B. K., KC, H. B., Tiwari, R. K., Ghale, M., Sthapit, B. R., & Upadhyay, P. (2004). **Descriptors for Sponge Gourd [*Luffa cylindrica* (L.) Roem]**. Local Initiatives for Biodiversity, Research and Development (LIBIRD), Nepal Agricultural Research Council (NARC), and International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).
- Mavi, K., Gündüz, K., Uzunoğlu, F., & Karaat, F. (2021). Morphological characterization of sponge gourd (*Luffa aegyptiaca* Mill.) genotypes from the Eastern Mediterranean Region of Turkey. *GENETIKA*, 53(3), 1043-1064.
- Porterfield, W. N. (1955). Loofah-The sponge gourd. *Economic Botany*, 9(9), 211-233.
- Sangma, D. A., Prasad, V. M., & Wamiq, M. (2020). Evaluation of sponge gourd (*Luffa cylindrica* L.) for fruit yield in Prayagraj Agro-climatic conditions. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(6), 1954-1956.
- Sarasri, S. (2001). **Characteristic Studies of Smooth Loofah (*Luffa cylindrica* L.)**. Special Problem of Bachelor's degree. Kasetsart University. (in Thai).
- Siemonsma, J. S., & Piluek, K. (1993). **Plant Resources of South-East Asia No 8.: Vegetable**. Pudoc Scientific Publisher.
- Thiengburanatham, W. (1999). **Dictionary of Thai Herbs**. 5th Ed. Akson Phitthaya Printing House. (in Thai).
- Institute of Thai Traditional Medicine. (1999). **Herbs with Thai Culture Episode 2: Fence Herb Garden**. The War Veterans Organization of Thailand Under Royal Patronage of His Majesty the King Publisher. (in Thai).

KING MONGKUT'S AGRICULTURAL JOURNAL

Research Articles:

Page

□	Modeling the Relationship between Extreme Values of Rainfall and Rice Yields using Machine Learning in the Lower Northern Provinces	Saranya Thongsook and Natthinee Deetae	316
□	Validation of Grain Aroma and Cooking Quality Characters of Improved Aromatic Rice Lines Resistance to Blast Disease and Tolerance to Submergence	Ladarut Tuntree Chantamart Chueakaew Sakda Kongsila Uraiwan Kotchasatit and Sureeporn Kate-ngam	328
□	Effects of Different Concentrations of BA with NAA on Shoot Proliferation and Acclimatization of Niaw Dam Mo 37 Rice	Sasiwimom Muangmee Sompong Te- chato and Sureerat Yenchon	341
□	Effect of Jerusalem Artichoke Powder Supplemented in Striped Catfish Larvae (<i>Pangasianodon hypophthalmus</i>) Diet on Growth Performance, Digestive Enzyme Activities, Plasma Biochemical Parameters and Histopathology of Liver and Intestine	Supalug Kattakdad Krittima Kasamawut Suriya Udduang Suksan Yokdee Chanaphon Sawatphun and Ruttanachira Ruttanaprasert	348
□	Effects of Endophytic Actinomycetes Extracts on Seedling Growth of Tested Plants	Kitiphath Prabkae Apirat Bundit Sirichai Sathuwijarn Paradee Thammaphichai and Yupa Chromkaew	361
□	Lessons Learned of Using Drone for Agriculture: A Case Study of Mega Farm Enterprises in Suphan Buri Province	Songchai Thongpan and Kritchayan Intarat	373
□	Safety Behaviors in Flying Agricultural Drones	Chartchai Charoensook	384
□	Effects of Salt Solution and Drying on the Stability of Chlorophyll Pigments in <i>Chara corallina</i>	Nopparat Mahae Donrudee Pichairat and Wanninee Chankaew	393
□	Factors Affecting the Need to Extension the Cultivation of Mung Bean after Rice Production for Farmers in Utumpomphisai District, Sisaket Province	Junya Singkum Nareerut Seerasam and Intion Wongsahawiwat	403
□	Adoption of Precision Agriculture Systems Smart Farm (HandySense) of Nam Dok Mai Mango farmers, Bang Phli District, Samut Prakan Province	Wannapa Somarsa Patcharavadee Sriboonruang and Pichai Tongdeelert	410
□	Needs for Alternate Wetting and Drying Technology to Promote the Creation of Carbon Credits in Rice Production at the Community Rice Centers, Phetchaburi Province	Khanungnit Jieopuang Patcharavadee Sriboonruang and Supaporn Lertsiri	418
□	Different Opinions on Marketing Mix Affecting the Choice of Buying Organic Rice of Luang Neua Sub-District, Doi Sa Ket District, Chiang Mai, Thailand	Katesuda Sitthisuntikul Banjarata Jolanun Waraporn Nunthasen Ke Nunthasen Anupan Somboonwong and Wassana Chakkaew	427
□	A Study of the Suitability of Subsoiler Process for Pineapple Planting in Ban Kha Subdistrict, Ban Kha District, Ratchaburi Province	Atchareeya Chotklang Wipawee Chanthasri and Supharoek Saikew	437
□	The Producing of High-Quality Organic Fertilizers from Wasted the Empty Palm Fruit Bunch and Crab Shell	Juntakorn Rodyoo Decha Duangnamon Ratiwan Meethong Warangkana Luanglug Sakhorn Chanma Suriyan Tunkijjanukij and Aunthicha Phommuangkhuk	446
□	Maintaining Yield under Organic Fertilizer Management in Khao Dawk Mali 105 and Kum Bangpra Rice Varieties	Supansa Chinaworn Wachirapom Ruanpan Natthaya Ruanpan and Tanawat Yemor	456
□	Effect of Pre-sowing Seed Treatments on Germination and Vigor of the Samdeun Upland Rice Seed	Nattawan Bussaba Nattikan Chottichai Pronpimon Sawangsi Prapasorn Wijitjun Charanya Khaeksawad Arom Sripichitt Thanasin Thabthimtho Phairat Phimsirkul Pakanan Jiamtae and Teerawat Sarutayophat	467
□	Effect of Dietary Melaleuca cajuputi Crude Extract on Growth, Hematology, and Resistance to Bacteria in Common Carp (<i>Cyprinus carpio</i>)	Pinprapha Kreangyong Uscharee Ruangdej and Duangjai Pisuttharachai	476
□	Morphological Characterization of Sponge Gourd for Utilization in Plant Germplasm Conservation	Assanee Songserm	486