



# วารสาร วิชาการเกษตร THAI AGRICULTURAL RESEARCH JOURNAL

ปีที่ 43 ฉบับที่ 2

พฤษภาคม - สิงหาคม 2568

ISSN : 3027-7264 (Print) ISSN : 3027-7272 (Online)

## สารบัญ

บทบรรณาธิการ .....	115
สุภรดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง ผลงานวิจัย	
● การออกแบบและพัฒนาเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย .....	116
ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์ ประสาท แสงพันธุ์ตา มงคล ตุ่นเฮ้า พุทธิธินันท์ จารุวัฒน์ อนุชา เชาววิโชติ วรรณระ สมนึก รัชดา ปรัชเจริญวนิชย์ กันต์ธกรณม์ เขาทอง แดนสรวง จงสุขไวย	
● การติดเชื้อ การถ่ายทอดทางเมล็ด และความผันแปรของลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อ <i>Pepper chat fruit viroid</i> ในพริกและมะเขือ .....	132
กัญญารัตน์ อุบลรัตน์ ชมากร สิงห์พันธุ์	
● การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่านภายใต้พระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม .....	147
อังคณา สุวรรณภูฏ ศรีนวล บุญส่งศรี วทีญญา กลิ่นเนียม	
● ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อผลผลิตและคุณภาพถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่84-2 .....	159
จงรักษ์ พันธุ์ไชยศรี โสพิศ ใจपालะ เกียรติรวี พันธุ์ไชยศรี วงศกร ศรีชัยวงศ์ สราวุธ ดุเมฆ	
● มอร์โฟเมตริกส์ปีกเพื่อการวินิจฉัยชนิดแมลงวันหนอนขอนใบสกุล <i>Liriomyza</i> ในประเทศไทย .....	169
ยุวรินทร์ บุญทาบ สุนัดดา เชาวลิต ชมัยพร บัวมาศ อาทิตย์ รักกลสิกร สิริชัย สาธุวิจารณ์	
● การพัฒนาเครื่องหมายสปีส์ของยีน <i>Lycopene Beta-Cyclase (lcyB)</i> ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารเบต้าแคโรทีนในมันสำปะหลัง .....	181
ธนาวัตี คำชู อัจฉราพรรณ ใจเจริญ สุวลักษณ์ ศันสนีย์ กฤตยา เพชรผึ้ง	
● การสำรวจการแพร่กระจาย การเจริญเติบโต และการรอกจากเมล็ดของจิ้งจอก ( <i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) E. Walker) .....	191
จริญญา ปิ่นสุภา มัลลิกา ศรีจันกลัด ชุศักดิ์ คุณุไทย ไพเราะ ขวัญงาม	
● การประเมินธาตุอาหารพืชของกระชายที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทราย จังหวัดนครปฐม .....	201
ชัชชนพร เกื้อหนุน ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล สมฤทัย ตันเจริญ	
บทความ	
● ความก้าวหน้าของงานวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพในการปรับปรุงพันธุ์พืชต้านทานโรค ของกรมวิชาการเกษตร .....	212
จีราพร แก่นทรัพย์ มัลลิกา นวลแก้ว ภาณุวัฒน์ มุลจันทะ สุวลักษณ์ ศันสนีย์ รัชณี โสภา อ้อยทิน ผลพานิช	

## วารสารวิชาการเกษตร

**เจ้าของ** : กรมวิชาการเกษตร  
**สำนักงาน** : กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ 10900  
**วัตถุประสงค์** : เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ความรู้ผลงานวิจัย และนวัตกรรมวิชาการเกษตรด้านพืช

### ที่ปรึกษา

อธิบดีกรมวิชาการเกษตร รองอธิบดีกรมวิชาการเกษตร  
ผู้เชี่ยวชาญกรมวิชาการเกษตร เลขาธิการกรม ผู้อำนวยการสถาบันวิจัย ผู้อำนวยการกอง  
ผู้อำนวยการสำนัก ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1-8  
ดร.อมรา ชินภูติ

### บรรณาธิการ

ดร.สุภรดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง กรมวิชาการเกษตร

### ผู้ช่วยบรรณาธิการ

วัลย์พร ศะศิประภา ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมวิชาการเกษตร  
ดร.กาญจนา พฤษพันธ์ สำนักคุ้มครองพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร  
ดร.สายน้ำ อุดพัว กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

### กองบรรณาธิการ

#### ภายในหน่วยงาน

วิษณีย์ ออมทรัพย์สิน สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร  
อำนวยการ วรรณรัตน์ สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร  
ดร.ศุภกาญจน์ ล้วนมณี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร  
ศุภมาศ กลิ่นขจร กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร  
ดร.พัชรวิวรรณ จงจิตเมตต์ สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร  
ดร.จิราพร แก่นทรัพย์ สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร

#### ภายนอกหน่วยงาน

ดร.สัณชัย ตันตยาภรณ์ สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช)  
ดร.พรพิมล อธิปัญญาคม ข้าราชการเกษียณอายุ  
สุภาสิต เสี่ยงมพงศ์ ข้าราชการเกษียณอายุ  
ดร.จรัญ ดิษฐไชยวงศ์ ข้าราชการเกษียณอายุ  
รศ.ดร.คำรณวิทย์ ทิพย์มณี คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
รศ.ดร. สนธิชัย จันทร์เปรม คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
ผศ.ดร.รุ่งอรุณ ทิศกระโทก คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
รศ.ดร.พฤษภา หล้าวงษา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รศ.ดร.นพพล อรุณรัตน์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล  
ผศ.ดร.บุญสม บุษบรรณม์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
ผศ.ดร.พรชัย ทาระโคตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ดร.วันพร เข็มมุกด์ สำนักวิจัยและพัฒนาอารักขาข้าว กรมการข้าว  
พัชรินทร์ ศรีวารินทร์ การยางแห่งประเทศไทย

### ผู้จัดการ

ผู้อำนวยการกลุ่มระบบวิจัย กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร

### ผู้ช่วยผู้จัดการ

दनยา คล้ายมาลา กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร



# วารสาร วิชาการเกษตร

THAI AGRICULTURAL RESEARCH JOURNAL ISSN : 3027-7264

ปีที่ 43 ฉบับที่ 2

พฤษภาคม - สิงหาคม 2568



วารสารวิชาการเกษตร ตีพิมพ์เผยแพร่ความรู้ผลงานวิจัย และนวัตกรรมวิชาการเกษตรด้านพืช มีกำหนดออกปีละ 3 ฉบับ ฉบับที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม-สิงหาคม ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน-ธันวาคม ของทุกปี โดยผลงานวิจัยทุกเรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเกษตร ได้ผ่านการพิจารณาแบบ double blind system จากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกหน่วยงานอย่างน้อย 2 ท่าน วารสารมีระบบการจัดการวารสารแบบออนไลน์ โดยไม่มีค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์ และทำการจัดพิมพ์เผยแพร่แก่ห้องสมุดของหน่วยงานราชการ รวมทั้งองค์การต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง



## บทบรรณาธิการ

การเขียนบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการควรมีการนำเสนอข้อมูลใหม่ แนวความคิดใหม่ มีความน่าสนใจ เนื้อหาสมบูรณ์ในฉบับ มีสาระอันเป็นประโยชน์แก่งานวิชาการ และต้องเป็นเรื่องที่ไม่เคยตีพิมพ์หรือรอการตีพิมพ์ในวารสารอื่น ซึ่งการพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์มีความสำคัญ

บทความในวารสารทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ส่วนใหญ่เป็นผลงานวิจัย (research paper) ประกอบด้วยเนื้อหาที่ได้จากผลการศึกษาทดลอง มีการเสนอข้อมูลใหม่ที่ได้จากการทดลอง และเสนอแนวความคิดใหม่ ในส่วนการวิจารณ์ผล และยังมีบทความ (article) อีกประเภทหนึ่งที่เนื้อหาได้จากการรวบรวมข้อมูลบทความวิจัยที่ตีพิมพ์แล้ว มีการแบ่งเป็นหัวข้อย่อยต่าง ๆ แต่ละหัวข้อย่อยรวบรวมข้อมูลที่เป็นประเด็นเดียวกัน และมีการเสนอแนวความคิดใหม่ในแต่ละหัวข้อย่อยผ่านการวิเคราะห์หรือวิจารณ์ข้อมูลที่รวบรวมมา เช่น การกล่าวถึงข้อดี ข้อควรระวัง ข้อสังเกต การเปรียบเทียบระหว่างแต่ละงานวิจัย ความหมายโดยรวมของข้อมูล ข้อสรุปที่ได้ ส่วนที่ขาดหายไป ปัญหา อุปสรรค พร้อมทั้งมีข้อคิดเห็น เสนอแนะ ในเนื้อหาข้อมูลที่รวบรวมมาในแต่ละหัวข้อ และแนวทางในการดำเนินงานในอนาคต หรือการสร้างประโยชน์จากงานวิจัย

สิ่งสำคัญประการหนึ่งนอกจากการนำเสนอข้อมูลใหม่ และแนวความคิดใหม่ในบทความ คือการปะปนข้อมูลที่ขาดการอ้างอิงแหล่งที่มา (citation) ซึ่งอาจทำให้ถูกพิจารณาว่ามีการคัดลอกผลงาน (plagiarism) ทั้งนี้ผู้เขียนอาจไม่ได้ตั้งใจ เช่น บางครั้งอาจมีการนำข้อมูล ข้อเขียน แนวความคิดของผู้อื่นที่ได้ตีพิมพ์แล้วมาเขียนในบทความโดยไม่มีการอ้างอิงแหล่งที่มา หรือการอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ รวมทั้งลักษณะที่เป็นการคัดลอกผลงานของตัวเอง (self-plagiarism) เช่น อาจปรากฏเนื้อหาหรือข้อมูลซ้ำซ้อนกับบทความของตนเองที่ได้ตีพิมพ์แล้วโดยไม่มีการอ้างอิง หรือการใช้รูปภาพประกอบเดิมที่ตีพิมพ์แล้ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการอ้างอิงแหล่งที่มาของข้อมูล หรือแนวความคิดที่มีการตีพิมพ์แล้วทุกครั้ง

ท้ายสุดนี้ ขอให้นักวิจัยทุกท่านเขียนบทความตีพิมพ์เน้นที่การเสนอข้อมูลใหม่ หรือแนวความคิดใหม่ อันเป็นสาระสำคัญ และตรวจทานเนื้อหาเพื่อป้องกันการคัดลอกผลงานโดยไม่ตั้งใจ ซึ่งจะทำให้ได้บทความที่ดี และมีคุณค่าทางวิชาการอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น



( ดร. สุกตราดา สุกนธาภิรมย์ ณ พัทลุง )

บรรณาธิการวารสารวิชาการเกษตร

การออกแบบและพัฒนาเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย  
Design and Development of Sugarcane Leaf Pruning Machine  
and Trash Incorporator

ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์<sup>1/\*</sup> ประสาท แสงพันธุ์ตา<sup>1/</sup> มงคล ตุ่นเฮ้า<sup>1/</sup> พุทธินันท์ จารุวัฒน์<sup>1/</sup>

อนุชา เชาวโชติ<sup>1/</sup> วรธนะ สมณี<sup>1/</sup> รัชดา ปรัชเจริญวิชัย<sup>2/</sup>

กัณฑ์กรณ เขาทอง<sup>3/</sup> แดนสรวง จงสุขไว<sup>3/</sup>

Tinnasit Kaisinburasak<sup>1/\*</sup> Prasat Sangphanta<sup>1/</sup> Mongkol Tunhaw<sup>1/</sup> Puttinun Jaruwat<sup>1/</sup>

Anucha Chaochot<sup>1/</sup> Wanthanah Somnuek<sup>1/</sup> Ratchada Pratcharoenwanich<sup>2/</sup>

Kunthakorn Khaothong<sup>3/</sup> Dansuang Jongsukwai<sup>3/</sup>

*Received 11 Jan. 2025/Revised 21 Apr. 2025/Accepted 21 Apr. 2025*

### ABSTRACT

The pruning of sugarcane leaves is usually done before harvesting to facilitate human labor in harvesting and to increase the stalk weight. Besides, sugarcane residue incorporation is important for increasing soil fertility. There is no equipment that could operate both processes of leaf pruning and trash incorporation. The objective of this research was to design the equipment for operating both processes by applying the hydrostatic power transmission to the sugarcane leaf pruning machine and the mechanical power transmission to the spiral notched disc. A diameter of the sugarcane leaf pruning roller was 248 mm, which revealed that filling the grass trimmer line could increase diameters up to 1,054 mm, and a diameter of the spiral notched disc was 18 inches. It was tested with the DOA Khon Kaen3 sugarcane cultivar at the age of 9 months in Sikhio district, Nakhon Ratchasima province. The average soil cone index was 3.4 MPa. The soil moisture content and bulk density were 14.20% (db) and 1.64 g cm<sup>-3</sup>, respectively. The experiments were conducted at a forward speed of 1.95 km h<sup>-1</sup>, gang angles of 36°, disk revolution speeds of 150 rpm, and roller revolution speeds of 800 rpm. The experimental results showed that the trash covering efficiency was 92.4%, the pruning of sugarcane leave efficiency was 82.2%, the effective field capacity or performance was 1.75 rai h<sup>-1</sup>, and the fuel consumption was

---

<sup>1/</sup> สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ถ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>1/</sup> Agricultural Engineering Research Institute, Phahonyothin Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

<sup>2/</sup> ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรอำนาจเจริญ ต.โนนโพธิ์ อ.เมือง จ.อำนาจเจริญ 37000

<sup>2/</sup> Amnat Charoen Agricultural Research and Development Center, Non Pho, Mueang, Amnat Charoen 37000, Thailand

<sup>3/</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

<sup>3/</sup> Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

\* Corresponding author: tinnasit@hotmail.co.th

1.65 L rai<sup>-1</sup>. The cost of this sugarcane leaf pruning machine and trash Incorporator was 164,000 Baht. The break-even point was 116.21 rais. The use of this machine can facilitate workers in harvesting without burning sugarcane field.

**Keywords:** sugarcane; sugarcane leaf pruning machine; trash incorporator

### บทคัดย่อ

การสาบใบอ้อยจะทำก่อนการตัดอ้อยเพื่อใ้คนงานตัดอ้อยได้สะดวก และช่วยใ้หน้าหนกอ้อยที่ตัดเพิ่มขึ้น ส่วนการพรวนกลบใบอ้อยเป็นการเพิ่มแร่ธาตุในดิน อุปกรณ์สาบใบและอุปกรณ์พรวนกลบใบทำงานแยกกัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องสาบใบอ้อยและพรวนกลบใบอ้อยใ้ทำงานพร้อมกันอย่างมีประสิทธิภาพ โดยประยุกต์ใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิตขับเคลื่อนอุปกรณ์สาบใบอ้อย โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกตีสาบใบ 248 มม. เมื่อติดตั้งเส้นเอ็นตัดหญ้าแล้วมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,054 มม. และใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกลขับเคลื่อนไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนสำหรับพรวนกลบใบอ้อย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลจานไถใบจักรแบบเกลียว 18 นิ้ว ทำการทดสอบใ้แปลงอ้อยปลูกอายุ 9 เดือน พันธุ์กวก.ขอนแก่น 3 ที่ อ. สีคิ้ว จ. นครราชสีมา ในสภาพความต้านทานการแทงทะลุดินเฉลี่ย 3.4 เมกะปาสคาล ปริมาณความชื้นในดินและความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้ง 14.20% (db) และ 1.64 ก./ลบ.ซม. ตามลำดับ ที่ความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์ 1.95 กม./ชม. มุมชุดจานไถ 36° ความเร็วรอบการหมุนที่ผลจานไถ 150 รอบ/นาที และความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสาบใบอ้อย 800 รอบ/นาที พบว่า ประสิทธิภาพ

การพรวนกลบใบอ้อยเฉลี่ย 92.4% ประสิทธิภาพการสาบใบอ้อยเฉลี่ย 82.2% ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักร 1.75 ไร่/ชม. ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ 74.15% และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.65 ล./ไร่ เครื่องสาบใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยต้นแบบมีราคา 164,000 บาท มีจุดคุ้มทุนที่ 116.21 ไร่ ช่วยใ้การใช้แรงงานคนเข้าตัดอ้อยทำได้สะดวกโดยไม่ต้องเผาใบอ้อย

**คำสำคัญ:** อ้อย; เครื่องสาบใบอ้อย; อุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อย

### บทนำ

การขาดแคลนแรงงานในการเก็บเกี่ยวอ้อยสดและค่าจ้างแรงงานสูง รวมถึงความรวดเร็วในการตัดอ้อย ส่งผลใ้เกษตรกรใช้วิธีการเผาใบอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยว แต่การเผาใบอ้อยใ้เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศน์ทั้งใ้ไร่อ้อยและสิ่งแวดล้อม (กล้าณรงค์, 2546) และยังส่งผลเสียต่อระบบนิเวศน์ในดินและโครงสร้างของดิน ส่งผลใ้รากอ้อยเจริญเติบโตไม่เต็มที่ การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์ในดินลดลง ทำให้ดินเสื่อมโทรมอย่างรวดเร็ว การเผาใบอ้อยยังใ้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ทั้งยังเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง PM2.5 ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าเกินมาตรฐานอยู่ในระดับมีผลกระทบต่อสุขภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2568) เพื่อแก้ปัญหาจากการเผาใบอ้อย กรมวิชาการเกษตร (2547) ได้แนะนำใ้ใช้วิธีการสาบใบก่อนการเก็บเกี่ยวอ้อย 2 เดือน เพื่อใ้แรงงานคนเข้าตัดได้สะดวก การสาบใบใ้แสงแดดส่องผ่าน อากาศระบายใ้ดี ปล้องอ้อยขยาย หน้าหนกอ้อยเพิ่มขึ้น ส่งผลใ้เกษตรกรมีรายได้สูงขึ้น อรรถสิทธิ์และคณะ (2558) รายงานว่า ใบอ้อยที่สาบออกช่วยคลุมดินรักษาความชื้นใ้ดินมี

ความชื้นสูงกว่าดินในแปลงอ้อยที่ไม่มีการสางใบ ส่งผลทำให้อ้อยที่มีการสางใบมีผลผลิตสูงกว่าอ้อยที่ไม่สางใบ แปลงเกษตรกรที่มีการสางใบและตัดอ้อยสดจำนวน 14 ราย ได้ผลผลิตเฉลี่ย 17.2 ตัน/ไร่ ในขณะที่แปลงไม่สางใบแต่ตัดอ้อยไฟไหม้ได้ผลผลิตเฉลี่ย 14.7 ตัน/ไร่ ใบอ้อยเมื่อมีการไถพรวน สับ และฝังกลบ จะเป็นการปรับปรุงสภาพการหมุนเวียนของน้ำและอากาศในโครงสร้างดิน และเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ ทั้งยังลดปัญหาการลุกลามของอ้อยไฟไหม้ได้ การพรวนดินระหว่างแถวอ้อยต่อ เป็นการเพิ่มจำนวนรากแขนงของอ้อย และส่งเสริมการเจริญเติบโตในอ้อยต่อ

ธัญญาและวิชัย (2554) ได้ศึกษาสมรรถนะการไถพรวนของเครื่องมือไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ category II ในแปลงอ้อย พบว่าการไถพรวนด้วยเครื่องมือไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนต้องการกำลังจลนศาสตร์ต่อหนึ่งหน่วยความลึกน้อยกว่าเครื่องมือไถงานหมุนอิสระ และการใช้งานไถใบจักรแบบเกลียวส่งผลให้การสับใบอ้อย และการคลุกเคล้าในดินทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อมาธุรกิจและคณะ (2560) ได้พัฒนาต้นแบบไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนเพื่อพรวนกลบวัสดุอ้อยหลังการเก็บเกี่ยว พบว่าความเร็วการหมุนของงานไถที่ 150 รอบ/นาที และมุมงานไถ (gang angle) 40° มีประสิทธิภาพการพลิกกลบใบอ้อย 90.4-95.3% ตฤณสิษฐ์และคณะ (2563) ได้พัฒนาเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์โดยใช้ระบบไฮดรอลิก พบว่า เครื่องต้นแบบสามารถสางใบอ้อยสำหรับตัดทำพันธุ์ได้โดยใช้ลูกตีสางใบฝั่งละ 1 ลูก เคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้ง ใบอ้อยที่ได้จากการสางใบแตกปน ไม่ฟุ้งกระจายและตกคลุมดินสม่ำเสมอ อุปกรณ์สางใบอ้อยโดยใช้ระบบไฮดรอลิกที่พัฒนาขึ้น และอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อยแบบไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน ทำให้ประสิทธิภาพการสางใบและ

พรวนกลบใบอ้อยระหว่างแนวอ้อยตอดีขึ้น อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์สางใบอ้อยและอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อยทำงานแยกกันและยังไม่มีเมื่อนำอุปกรณ์ทั้งสองชนิดมาทำงานพร้อมกัน ซึ่งจะทำให้การสางใบพรวนกลบใบอ้อยทำได้สะดวก รวดเร็วมากขึ้น ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องสางใบอ้อยและอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อยแบบไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน ให้สามารถทำงานพร้อมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงสามารถสางใบและพรวนกลบใบอ้อยได้ดีกับอ้อยพันธุ์กวก.ขอนแก่น3

## อุปกรณ์และวิธีการ

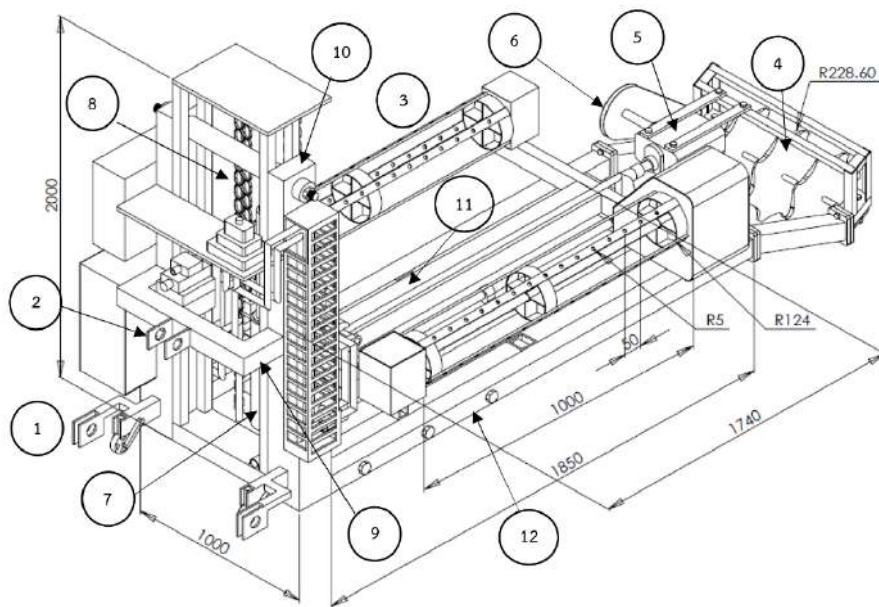
### 1. โครงสร้าง และลักษณะจำเพาะของเครื่องสางใบพรวนกลบใบอ้อย

เครื่องสางใบพรวนกลบใบอ้อยเป็นเครื่องต้นแบบที่พัฒนาต่อยอดจากเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์โดยใช้ระบบไฮดรอลิกของตฤณสิษฐ์และคณะ (2563) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ (Figure 1) คือ โครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์แบบจุดพ่วง 3 จุดอิสระ (No.1) (No.2) โครงเครื่องมืออุปกรณ์สางใบอ้อย และอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อย โดยโครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์เชื่อมต่อกับโครงเครื่องมือ อุปกรณ์สางใบอ้อยประกอบด้วยลูกตีสางใบอ้อย (No.3) ทั้งหมด 2 ลูก มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง เส้นผ่านศูนย์กลาง 248 มม. ยาว 1,000 มม. วางในทิศทางขนานกับพื้น บริเวณพื้นที่ผิวติดตั้งเส้นเอ็นตัดหญ้าความยาว 400 มม. ติดตั้งห่างกัน 50 มม. สามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อสึกหรอ เส้นผ่านศูนย์กลางรวมของลูกตีสางใบอ้อยเมื่อติดตั้งเส้นเอ็นตัดหญ้า 1,054 มม. ขณะทำงานลูกตีสางใบอ้อยจะหมุนรอบแกนหมุนที่ติดตั้งอยู่บนโครงเครื่องมือ และทำให้เส้นเอ็นตัดหญ้าหมุนตีสางใบอ้อยลงมาระยะห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางลูกตีสางใบอ้อย

ทั้ง 2 ลูก 970 มม. โดยติดตั้งสลับกันป้องกันความเสียหายจากการตีกันระหว่างการทำงาน

โครงเครื่องมือส่วนแรก (No.9) เป็นคานในแนวขวางพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมกลวง ขนาด 100 x 110 มม. ยาว 1,000 มม. ส่วนที่สอง (No.10) เป็นเสา 2 ต้นวางในแนวตั้งทำด้วยเหล็กกล่อง ขนาด 65 x 158 มม. หนา 2 มม. สูง 2,000 มม. ประกอบเป็นจุดยึดกระบอบสูบไฮดรอลิก (No.7) และระบบส่งกำลังโดยใช้โซ่ลำเลียง (No.8) ซึ่งยึดติดกับคานในแนวตามยาว ส่วนที่สาม (No.11) เป็นคานในแนวตามความยาวทำด้วยเหล็กกล่อง ขนาด 65 x 158 มม.

หนา 2 มม. ยาว 1,740 มม. ประกอบเป็นคานหลักสำหรับยึดจุดหมุน และลูกตีสางใบอ้อยทั้ง 2 ลูก ส่วนที่สี่ (No.12) เป็นคานตามแนวความยาวทำด้วยเหล็กกล่อง ขนาด 65 x 158 มม. หนา 2 มม. ยาว 1,850 มม. ประกอบเป็นคานหลักสำหรับยึดกล่องเกียร์ทด (No.5) และระบบส่งกำลังเฟืองโซ่ (No.6) สำหรับอุปกรณ์พรวนกลบใบอ้อยที่ใช้ผลาจานไถใบจักรแบบเกลียว (spiral-notched disk) (No.4) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 นิ้ว จำนวน 3 ใบ โดยมีหน้ากว้างในการทำงาน 1,200 มม.



No. 1 : Lower hitch points

No. 3 : Sugarcane leaf pruning roller

No. 5 : Transmission gear box

No. 7 : Hydraulic cylinder

No. 9 : First structure of prototype

No. 11 : Third structure of prototype

No. 2 : Upper hitch point

No. 4 : Spiral-notched disk plow

No. 6 : Chain-sprocket transmission system

No. 8 : Conveyor chain

No. 10 : Second structure of prototype

No. 12 : Fourth structure of prototype

**Figure 1** The isometric drawing of a sugarcane leaf pruning machine and trash incorporator

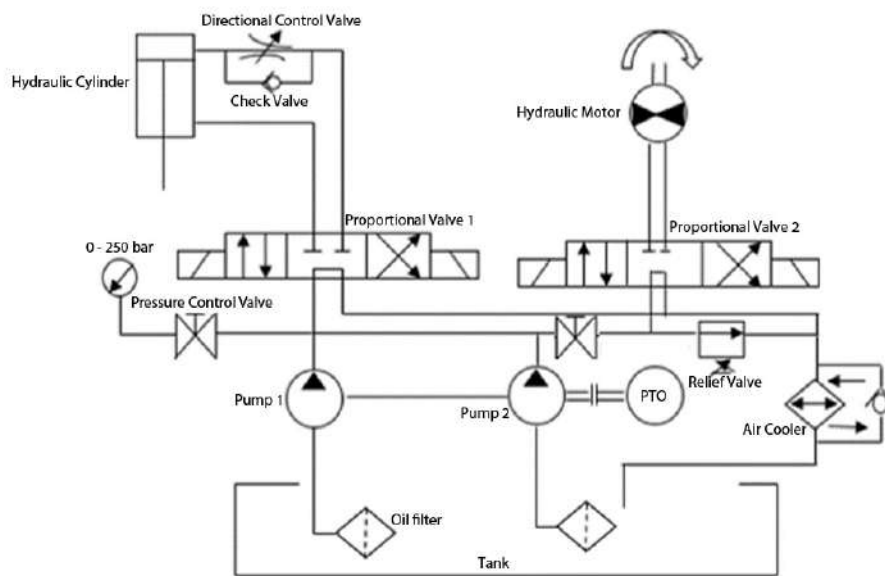
## 2. หลักการทำงานของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย

เครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยใช้เฟลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบ

540 รอบ/นาที ส่งกำลังผ่านชุดเฟือง 2 ชุด ชุดเฟืองแรกอัตราทด 1:4 ขับปั๊มไฮดรอลิก 1 และ 2 ยี่ห้อ EATON รุ่น 25VQ ขนาด 55 มล./รอบ ที่ความเร็วรอบ 2,160 รอบ/นาที ดึงน้ำมันจากถังไฮดรอลิก ขนาด

25 ล. ผ่านตัวกรองน้ำมัน มีอัตราการไหลประมาณ 98 ล./นาที่ มีวาล์วควบคุมความดันแบบปรับด้วยมือที่ 250 บาร์ น้ำมันไฮดรอลิกถูกส่งผ่านระบบท่อไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า 1 และ 2 ยี่ห้อ NACHI รุ่น ESR โดยวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า 1 จะ เปิด หรือปิดวาล์วด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ และต่อไปยังกระบอกสูบไฮดรอลิกซึ่งต่อกับชุดกลไกการเคลื่อนที่ของลูกตีสางใบอ้อย ทำให้ลูกตีสางใบอ้อยเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้งตามความสูงของต้นอ้อย ส่วนวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า 2 จะ เปิด หรือปิดวาล์วด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี (fuzzy controller) ตามที่ทัศนวิษฐ์และคณะ (2563) ได้ออกแบบไว้ และ

ต่อไปยังมอเตอร์ไฮดรอลิก ยี่ห้อ EATON รุ่น 35M ขนาด 100 มล./รอบ แรงบิดสูงสุด 264 นิวตัน-เมตร ซึ่งต่อกับชุดกลไกการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย น้ำมันที่ผ่านกระบอกสูบไฮดรอลิก และมอเตอร์ไฮดรอลิก จะเกิดความร้อนซึ่งแปรผันกับขนาดของภาระงานจะถูกส่งไปยังตัวระบายความร้อนแบบพัดลมระบายอากาศขนาด 250 กิโลแคลอรี/ชม. เพื่อระบายความร้อน และส่งกลับเข้าถังน้ำมันไฮดรอลิกหมุนเวียนตลอดการใช้งาน (Figure 2) ชุดเฟืองที่สองอัตราทด 1:1 ถ่ายทอดกำลังผ่านกล่องเกียร์ทดอัตราทด 39:6 และระบบส่งกำลังเฟืองโซ่อัตราทด 21:38 ไปยังผลจางไถใบจักรแบบเกลียวสำหรับพรวนกลบใบอ้อย



**Figure 2** The schematic diagram of hydraulic system for installing on a sugarcane leaf pruning machine and trash incorporator

### 3. การควบคุมการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย และ ความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิกที่ใช้กับอุปกรณ์สางใบอ้อย เป็นรูปแบบเดียวกับเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัด ทำพันธุ์ของทัศนวิษฐ์และคณะ (2563) สามารถควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกที่รับภาระของโครงเครื่องมือส่วนที่สาม และลูกตีสางใบอ้อยทั้ง

2 ลูก ซึ่งเป็นภาระคงที่ให้เคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้ง โดยรับน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อใช้ในการถ่ายทอดกำลัง จากวาล์วควบคุมอัตราการไหล การควบคุมความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกซึ่งรับภาระคงที่ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ (potentiometer-volume) ต่อเข้ากับอุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (valve

amplifier) ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Figure 3a) ส่วนการควบคุมการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย โดยมอเตอร์ไฮดรอลิกจะขับภาระซึ่งประกอบไปด้วยชุดกลไกการตีสางใบอ้อย และใบอ้อยซึ่งเป็นภาระไม่คงที่ โดยรับน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อใช้ในการถ่ายทอดกำลังจากวาล์วควบคุมอัตราการไหล การหมุนของลูกตีสางใบจะถูกรวัดที่เพลาลูกตีสางใบโดย rotary encoder ในหน่วยรอบ/นาที ไปแสดงผลที่หน้าจอ LCD ที่ตู้ควบคุม และเป็นสัญญาณป้อนกลับสำหรับตัวควบคุมแบบพีซีที่ส่งสัญญาณควบคุมผ่านบอร์ดควบคุม และอุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Figure 3b)

เนื่องจากแรงดึงใบอ้อยแปรผันตามความสูงของต้นอ้อย (ตฤณสิทธิ์และคณะ, 2563) ดังนั้น การควบคุมรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อยให้เพิ่มขึ้นตามความสูง ส่วนตัวควบคุมแบบพีซีสามารถควบคุมรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อยให้สามารถสางใบอ้อยที่ตัดทำพันธุ์และตัดเข้าโรงงานได้ โดยมี response time เฉลี่ย 1.1 วินาที เกิดค่าพุ่งเกินขึ้น 0.83–1.54% ของค่าอ้างอิงซึ่งมีค่าน้อยมาก โดยความเสียหายของตาอ้อย ลำอ้อย และความสะอาดในการสางใบ เกษตรกรตัวแทนของโรงงานน้ำตาล และนักวิชาการเกษตรยอมรับได้ (ตฤณสิทธิ์และคณะ, 2563)

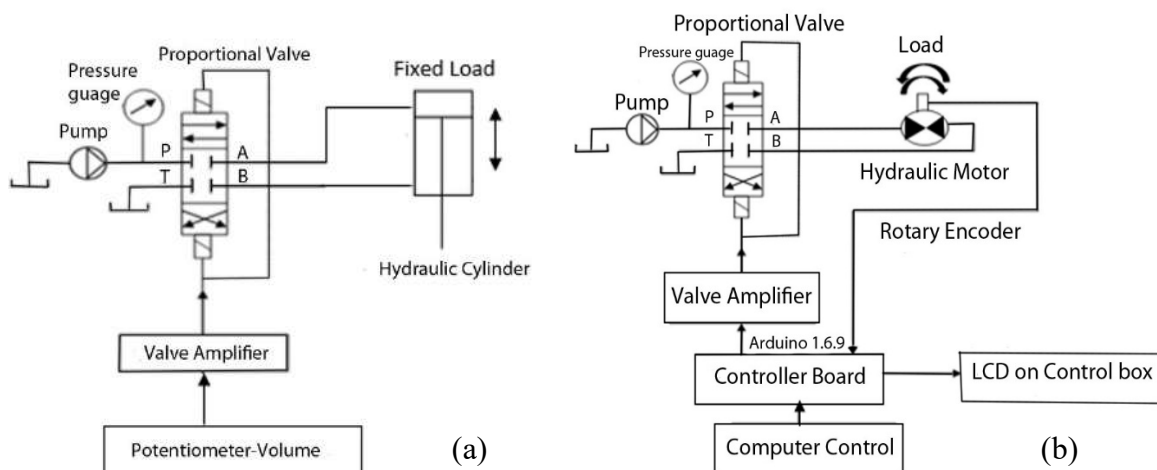


Figure 3 (a) The schematic diagram of hydraulic system for a velocity controller of hydraulic cylinder (b) The schematic diagram of hydraulic system for a velocity controller of hydraulic motor

#### 4. ทดสอบความสามารถในการทำงาน

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยที่บ้านห้วยหิน ต.สีคิ้ว อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา ในแปลงอ้อยปลูกใหม่ อายุ 9 เดือน พันธุ์ขอนแก่น 3 ความสูงเฉลี่ย 2.5 ม. เพื่อการตัดอ้อยเข้าโรงงาน เนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินทรายประกอบด้วยอนุภาคดินทราย 56.2% อนุภาคดินทรายแป้ง 33.4% และอนุภาคดินเหนียว 10.4% สมบัติของดินในแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-60 ซม. มีความชื้นเฉลี่ย

14.20 % (db) ความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดินเฉลี่ย 1.64 ก./ลบ.ซม. ความต้านทานการแทงทะลุดินเฉลี่ย 3.4 MPa

4.1 กำหนดความเร็วการเดินทางเฉลี่ยของรถแทรกเตอร์ 2 ระดับ คือ 1.95 กม./ชม. (เกียร์ Low1) และ 2.45 กม./ชม. (เกียร์ Low2) มุมชุดจานไถ 3 ระดับ คือ 36° 40° และ 44° ความเร็วรอบการหมุนที่ผลาญงานไถ 2 ระดับ คือ 150 และ 180 รอบ/นาที ความเร็วเชิงเส้นที่ขอบผลาญงานไถ 12.93 และ 15.51

กม./ชม. ตามลำดับ รวม 12 กรรมวิธี และความลึกในการไถเฉลี่ย 25 ซม. ส่วนอุปกรณ์สายใบอ้อยกำหนดเป็นค่าคงที่ได้แก่ ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีสายใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกตีสายใบหมุนตีขึ้น ความสูงในการสายใบ 2.5 ม. และความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสายใบอ้อย 800 รอบ/นาที (ตฤณสิษฐ์และคณะ, 2563) ทดสอบ 3 ซ้ำ ขนาดแปลงทดสอบย่อย 1.5x10 ม. ใช้รถแทรกเตอร์ Kubota รุ่น B2440 ขนาด 24 แรงม้า

4.2 การติดตั้งอุปกรณ์วัด การวัดแรงฉุดลาก (drawbar pull) โดยการติด strain gauges แบบ wheatstone bridge บน lower link pin ทั้งสองอัน และ top link ติดตั้ง potentiometer เพื่อวัดมุมเอียงระหว่างแนวระนาบกับแนวแกน top link ติดตั้ง torque transducer 3 ตัว ตัวที่ 1 เพื่อวัดแรงบิดที่เพล่าอำนวยการกำลัง ตัวที่ 2 เพื่อวัดแรงบิดที่เพล่าขับเคลื่อนอุปกรณ์ไถ ตัวที่ 3 เพื่อวัดแรงบิดที่เพล่าขับเคลื่อนลูกตีสายใบ และติดตั้งอุปกรณ์ rotary encoder 3 ตัว ตัวที่ 1 เพื่อวัดความเร็วรอบการหมุนของเพล่าอำนวยการกำลัง ตัวที่ 2 เพื่อวัดความเร็วรอบการหมุนของเพล่าขับเคลื่อนอุปกรณ์ไถ ตัวที่ 3 เพื่อวัดความเร็วรอบการหมุนของเพล่าขับเคลื่อนลูกตีสายใบ สัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดเหล่านี้จะส่งผ่านไปยังโปรแกรมประมวลผล เพื่อคำนวณหา กำลังฉุดลาก กำลังจากมอเตอร์ไฮดรอลิก กำลังจากเพล่าอำนวยการกำลัง และกำลังรวม ซึ่งเขียนด้วยโปรแกรม Arduino1.6.9 ที่บอร์ดควบคุม และแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

4.3 การทดสอบในแต่ละกรรมวิธี โดยทำการวัดค่าต่างๆ ประกอบด้วย

4.3.1 กำลังฉุดลาก (drawbar power,  $P_D$ ) คือ ผลคูณของแรงฉุดลาก กับความเร็วรถแทรกเตอร์

$$P_D = F_D \times v \quad (1)$$

เมื่อ  $P_D$  = กำลังฉุดลาก (กิโลวัตต์)

$v$  = ความเร็วรถแทรกเตอร์ (ม./วินาที)

$F_D$  = แรงฉุดลาก คือ แรงที่เกิดจากผลรวมของแรงฉุดลากในแนวระดับที่ lower link pins กับแรงดึงในแนวระดับของ top link (กิโลนิวตัน)

4.3.2 กำลังที่เพล่าอำนวยการกำลัง (P.T.O power,  $P_{PTO}$ ) คือ ผลคูณของแรงบิดที่เพล่าอำนวยการกำลัง กับความเร็วเชิงมุมของเพล่าอำนวยการกำลัง

$$P_{PTO} = \frac{2\pi N_{PTO} \times T_{PTO}}{60,000} \quad (2)$$

เมื่อ  $P_{PTO}$  = กำลังที่เพล่าอำนวยการกำลัง (กิโลวัตต์)

$N_{PTO}$  = ความเร็วรอบของเพล่าอำนวยการกำลัง (รอบ/นาที)

$T_{PTO}$  = แรงบิดที่เพล่าอำนวยการกำลัง (นิวตัน-เมตร)

4.3.3 กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อย (specific power,  $P_{SP}$ ) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างกำลังขับที่เพล่าขับเคลื่อนอุปกรณ์ไถต่อพื้นที่หน้าตัดการไถของผาลงานใบจักรที่ตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ พื้นที่หน้าตัดดังกล่าวคำนวณได้จากสมการที่ (3) (Abo El Ees and Wills, 1986)

$$P_{SP} = \frac{P_{TCP}}{A_p} \quad (3)$$

เมื่อ  $P_{TCP}$  = กำลังขับที่เพล่าขับเคลื่อนอุปกรณ์ไถ (กิโลวัตต์)

$A_p$  = พื้นที่หน้าตัดการไถของผาลงานใบจักรที่ตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ (ตร.ม.)

4.3.4 กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก (motor hydraulic power,  $P_{Motor}$ ) คือ ผลคูณของแรงบิดที่เพล่าขับเคลื่อนลูกตีสายใบอ้อย กับความเร็วเชิงมุมของเพล่าขับเคลื่อนลูกตีสายใบอ้อย

$$P_{\text{Motor}} = \frac{2\pi N_{\text{SLR}} \times T_{\text{SLR}}}{60,000} \quad (4)$$

เมื่อ  $P_{\text{Motor}}$  = กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก (กิโลวัตต์)

$N_{\text{SLR}}$  = ความเร็วรอบของเพลาชัปลูกตีเสา  
ไบอ้อย (รอบ/นาที)

$T_{\text{SLR}}$  = แรงบิดที่เพลาชัปลูกตีเสาไบอ้อย  
(นิวตัน-เมตร)

#### 4.3.5 กำลังรวม (total power, $P_{\text{Total}}$ )

คือ ผลรวมของกำลังดูดจากกับกำลังที่เพลานำมาจ่าย

$$P_{\text{Total}} = P_D + P_{\text{PTO}} \quad (5)$$

เมื่อ  $P_{\text{Total}}$  = กำลังรวม (กิโลวัตต์)

4.3.6 การประเมินประสิทธิภาพการ  
พรวนกลบไบอ้อยทำได้โดยการคำนวณหาร้อยละ  
พื้นที่การพรวนกลบไบอ้อยจากภาพถ่าย การกลบวัสดุ  
อ้อยในกรอบเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส 1x1 ม. คำนวณ  
ด้วยสมการที่ (6) (รุจิภาสและคณะ, 2560)

$$\text{Trash Covering Efficiency: C. E. (\%)} \\ = \frac{A_2}{A_1} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ  $A_1$  = พื้นที่ระหว่างแนวร่องไถกับแนวอ้อยต่อ  
(ตร.ม.)

$A_2$  = พื้นที่ระหว่างแนวร่องไถถึงแนวการพลิก  
กลบไบอ้อย (ตร.ม.)

#### 4.3.7 ประสิทธิภาพในการสางไบอ้อย

คือ การคำนวณหาร้อยละจำนวนไบอ้อยที่ได้จากการ  
สางไบอ้อย โดยมีอัตราส่วนระหว่างจำนวนไบอ้อยที่  
ได้จากการสางไบอ้อยกับจำนวนไบอ้อยทั้งหมด

$$\text{Pruning of Sugarcane Leaves Efficiency (\%)} \\ = \frac{N_2}{N_1} \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ  $N_1$  = จำนวนไบอ้อยทั้งหมด (ใบ)

$N_2$  = จำนวนไบอ้อยที่ได้จากการสางไบอ้อย (ใบ)

4.3.8 การลื่นไถล (slip) คือ การคำนวณ  
หาร้อยละของระยะทางที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ขณะ  
ไม่มีไหลด์ หรืออุปกรณ์ยังไม่ถูกใช้งานบนพื้นแปลง  
ทดสอบ ลบด้วยระยะทางที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่

ขณะมีไหลด์หรือรถแทรกเตอร์เคลื่อนขณะอุปกรณ์  
กำลังใช้งาน หารด้วยระยะทางที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่  
ขณะไม่มีไหลด์หรืออุปกรณ์ยังไม่ถูกใช้งาน

$$\text{Slip (\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (8)$$

เมื่อ A = ระยะทางที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่  
ขณะไม่มีไหลด์ (ม.)

B = ระยะทางที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่  
ขณะมีไหลด์ (ม.)

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเชิง  
พื้นที่ กำหนดเงื่อนไขการทดสอบตามผลในข้อ 4.1  
และ 4.2 ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเชิง  
พื้นที่ทั้งหมด 3 ครั้ง ขนาดแปลงทดสอบ 1.5x20 ม.  
สำหรับการทดสอบความสามารถในการทำงานของ  
เครื่องจักรเชิงทฤษฎี ขนาดแปลงทดสอบ 20x40 ม.  
และวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเครื่องกล  
ตามวิธีการของวุฒิชัย (2528)

4.5 การทดสอบความสามารถในการสาง  
ไบอ้อยและพรวนกลบไบอ้อยโดยใช้เครื่องสางไบอ้อย  
และเครื่องพรวนกลบไบอ้อยที่มีใช้อยู่ทั่วไป สำหรับ  
เครื่องสางไบอ้อย ประกอบด้วยลูกตีเสาไบอ้อย  
4 ลูก ฝัองละ 2 ลูก ระบบส่งกำลังผ่านชุดเฟือง พูเล่  
สายพานและตัวสายพานไปขับเคลื่อนเพลาลูกตีเสาไบอ้อย ความกว้างการทำงาน 2,300 มม. ความ  
สูงการทำงาน 2,500 มม. ติดตั้งเอ็นตัดหญ้าความยาว  
400 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางรวมของลูกตีเสาไบอ้อย  
เมื่อติดตั้งเอ็นตัดหญ้า 1,100 มม. ส่วนเครื่อง  
พรวนกลบไบอ้อย ประกอบด้วยระบบส่งกำลังผ่าน  
กล่องเกียร์ และระบบส่งกำลังเฟืองโซ่ไปขับเคลื่อน  
ผลงานไถใบจักรแบบเกลียวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  
20 นิ้ว จำนวน 4 ใบ โดยมีหน้ากว้างในการทำงาน  
1,300 มม. การทดสอบใช้เงื่อนไขเดียวกับเครื่องสางไบอ้อย  
พร้อมพรวนกลบไบอ้อย ขนาดแปลงทดสอบ  
20x40 ม. ทำ 3 ซ้ำ

4.6 การทดสอบความสามารถของตัวควบคุมพืชซีลोजิกกระทำโดยการควบคุมความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสารใบอ้อย 800 รอบ/นาที ความเร็วเชิงเส้นที่ปลายเอ็นตัดหญ้าของลูกตีสารใบ 44.15 ม./วินาที โดยกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 2.45 กม./ชม. (เกียร์ Low2) ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีสารใบ 0.5 ม./วินาที ความสูงในการสารใบ 2.5 ม. และทิศทาง การหมุนของลูกตีสารใบหมุนตีขึ้น

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 1. กำลังดูดลาก กำลังที่เพล่าอำนวยการกำลัง กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อย กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก และกำลังรวม

1.1 กำลังดูดลาก เป็นกำลังที่รถแทรกเตอร์ใช้ขับเคลื่อนเครื่องต้นแบบขณะทำการสารใบ และพรวนกลบใบอ้อยเพื่อเอาชนะความต้านทานที่เกิดขึ้น ทั้งกรณีความเร็วรอบการหมุนที่ผลจางไถ 150 และ 180 รอบ/นาที ที่ความเร็ว 2.45 กม./ชม. รถแทรกเตอร์ต้องใช้กำลังดูดลากสูงกว่าที่ความเร็ว 1.95 กม./ชม. กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.45 กม./ชม. เปรียบเทียบกับความเร็ว 1.95 กม./ชม. ค่ากำลังดูดลากขณะอุปกรณ์สารใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยเพิ่มขึ้น 36.84–37.75 และ 26.49–26.95% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลเนื่องจากมุมชุดจางไถ ทั้งกรณีผลจางใบจักรพรวนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุน 150 และ 180 รอบ/นาที พบว่าขณะที่อุปกรณ์สารใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจางไถ 44° ค่ากำลังดูดลากเพิ่มขึ้น 1.44–2.56 และ 0.50–0.59% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมชุดจางไถ 40° ขณะที่อุปกรณ์สารใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจางไถ 40° ค่ากำลังดูดลาก

เพิ่มขึ้น 1.44–1.88 และ 0.79–1.26% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมชุดจางไถ 36° (Figure 4a)

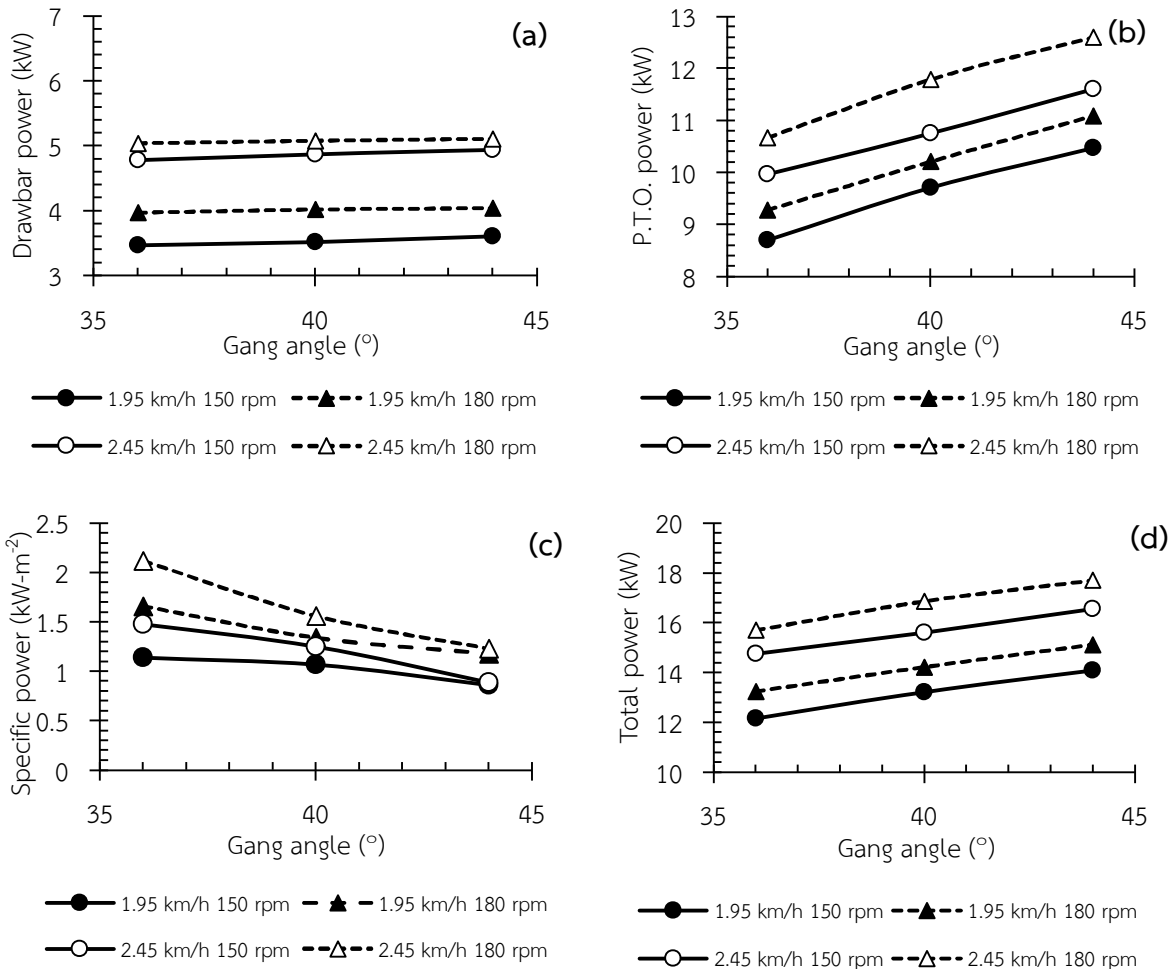
1.2 กำลังที่เพล่าอำนวยการกำลัง เป็นกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฮดรอลิกเพื่อสารใบอ้อยและผลจางใบจักรเพื่อพรวนพรวนกลบวัสดุอ้อย ทั้งกรณีความเร็วรอบการหมุนที่ผลจางไถ 150 และ 180 รอบ/นาที ที่ความเร็ว 2.45 กม./ชม. อุปกรณ์ต้องใช้กำลังที่เพล่าอำนวยการกำลังสูงกว่าที่ความเร็ว 1.95 กม./ชม. กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.45 กม./ชม. เปรียบเทียบกับความเร็ว 1.95 กม./ชม. ค่ากำลังที่เพล่าอำนวยการกำลังขณะอุปกรณ์สารใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยเพิ่มขึ้น 10.89–14.60 และ 13.62–14.98% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลเนื่องจากมุมชุดจางไถ ทั้งกรณีผลจางใบจักรพรวนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุน 150 และ 180 รอบ/นาที พบว่า ขณะสารใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจางไถ 44° อุปกรณ์ใช้กำลังที่เพล่าอำนวยการกำลังเพิ่มขึ้น 7.83–8.00 และ 6.87–8.62% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมชุดจางไถ 40° และขณะที่การสารใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจางไถ 40° อุปกรณ์ใช้กำลังที่เพล่าอำนวยการกำลังเพิ่มขึ้น 7.82–11.61 และ 10.49–10.02% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมชุดจางไถ 36° (Figure 4b)

1.3 กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อย ค่ากำลังจำเพาะขณะอุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยเพิ่มขึ้น 3.49–29.82 และ 4.24–27.71% ตามลำดับ ขณะที่อุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจางไถ 44° อุปกรณ์ใช้กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อยลดลง 24.42–40.45 และ 13.56–26.83% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับมุมชุดจางไถ 40° และขณะที่อุปกรณ์พรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจางไถ 40° อุปกรณ์ใช้กำลังจำเพาะในการพรวนกลบใบอ้อยลดลง 6.54–

18.40 และ 23.88–35.90% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมุมชุดจานไถ 36° (Figure 4c)

1.4 กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก เป็นกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนลูกตีสางใบอ้อย กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่

ด้วยความเร็ว 2.45 กม./ชม. เปรียบเทียบกับความเร็ว 1.95 กม./ชม. ค่ากำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิกขณะอุปกรณ์สางใบอ้อยจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 39.41% จากแรงต้านใบอ้อยที่เพิ่มขึ้น



**Figure 4** (a) Drawbar power at the conditions of 36°, 40° and 44°  
 (b) P.T.O power at the conditions of 36°, 40° and 44°  
 (c) Specific power at the conditions of 36°, 40° and 44°  
 (d) Total power at the conditions of 36°, 40° and 44°

1.5 กำลังรวม เป็นผลรวมของกำลังชุดลากกับกำลังที่เพลลาอำนาจกำลัง ทั้งกรณีความเร็วรอบการหมุนที่ผลงานไถ 150 และ 180 รอบ/นาที ที่ความเร็ว 2.45 กม./ชม. ค่ากำลังรวมสูงกว่าที่ความเร็ว 1.95 กม./ชม. กรณีรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.45 กม./ชม. เปรียบเทียบกับความเร็ว

1.95 กม./ชม. ค่ากำลังรวมจะเพิ่มขึ้น 17.54–21.20 และ 17.05–18.57% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลเนื่องจากมุมชุดจานไถทั้งกรณีผลงานใบจักรหมุนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุน 150 และ 180 รอบ/นาที พบว่าขณะที่อุปกรณ์สางใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 44° ค่ากำลังรวม

เพิ่มขึ้น 5.95–6.42 และ 4.98–6.32% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขมุมชุดจานไถ 40° และขณะที่อุปกรณ์สร้างใบและพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยมุมชุดจานไถ 40° ค่ากำลังรวมเพิ่มขึ้น 5.90–8.71 และ 7.38–7.40% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขมุมชุดจานไถ 36° (Figure 4d)

กำลังรวม เป็นกำลังทั้งหมดที่รถแทรกเตอร์ต้องใช้ขณะที่เครื่องทำการสร้างใบและพรวนกลบใบอ้อย โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์มุมชุดจานไถ และความเร็วรอบการหมุนที่ผลจาดจานไถเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรวมเพิ่มขึ้นเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ความเร็วรถแทรกเตอร์มุมชุดจานไถ และความเร็วรอบการหมุนที่ผลจาดจานไถส่งผลกระทบต่อกำลังรวมที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ผลกระทบของอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัยประกอบด้วย กลุ่มที่ 1. ความเร็วแทรกเตอร์ 1.95 กม./ชม. มุมชุดจานไถ เพิ่มขึ้นจาก 36° จนถึง 44° ที่ใบจักร

หมุนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุนเดียวกัน พบว่า กำลังรวมมีความแตกต่างกันในแต่ละมุมชุดจานไถ และความเร็วรอบการหมุนที่ผลจาดจานไถเพิ่มขึ้นจาก 150 จนถึง 180 รอบ/นาที ที่มุมชุดจานไถเดียวกัน กำลังรวมมีความแตกต่างกันในแต่ละมุมชุดจานไถ โดยมุมชุดจานไถ 36° ความเร็วรอบการหมุน 150 รอบ/นาที ใช้กำลังรวมต่ำสุด 12.17 กิโลวัตต์ กลุ่มที่ 2 ความเร็วแทรกเตอร์ 2.45 กม./ชม. มุมชุดจานไถเพิ่มขึ้นจาก 36° จนถึง 44° ที่ใบจักรหมุนพรวนกลบวัสดุอ้อยด้วยความเร็วรอบการหมุนเดียวกัน พบว่า กำลังรวมมีความแตกต่างกันในแต่ละมุมชุดจานไถ และความเร็วรอบการหมุนที่ผลจาดจานไถเพิ่มขึ้นจาก 150 จนถึง 180 รอบ/นาที ที่มุมชุดจานไถเดียวกัน กำลังรวมมีความแตกต่างกันในแต่ละมุมชุดจานไถ โดยมุมชุดจานไถ 36° ความเร็วรอบการหมุน 150 รอบ/นาที ใช้กำลังรวมต่ำสุด 14.75 กิโลวัตต์ (Table 1)

**Table 1** The relationship of a forward speed, gang angle and revolution of the spiral-notched disk influent the total power

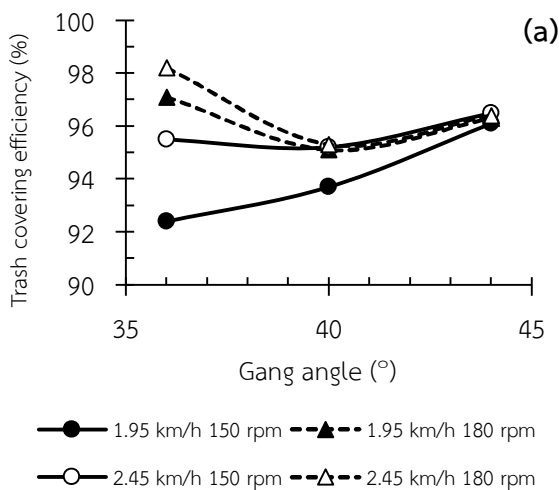
Gang angle (G)	Revolution of the spiral-notched disk (L)		G-MEAN	DIFF
	L1 = 150 rpm	L2 = 180 rpm		
Forward speed = 1.95 km/h				
G1 = 36°	12.17 c	13.25 c	12.71	-1.080**
G2 = 40°	13.23 b	14.23 b	13.73	-1.000**
G3 = 44°	14.08 a	15.13 a	14.60	-1.050**
Forward speed = 2.45 km/h				
G1 = 36°	14.75 c	15.71 c	15.23	-0.960**
G2 = 40°	15.62 b	16.87 b	16.25	-1.250**
G3 = 44°	16.55 a	17.71 a	17.13	-1.160**
L-MEAN	14.40	15.48	14.94	

Means in a column, followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by LSD

Note: \*, \*\* = significant at 5%, 1% level

## 2. ประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อย การสางใบอ้อย และการสั่นไถล

2.1 ประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อย ที่เงื่อนไขมุมชุดจานไถ 36° ประสิทธิภาพการพรวนกลบวัสดุอ้อยในไร่อยู่ในช่วงระหว่าง 92.4–98.2% สำหรับกรณีมุมชุดจานไถ 40° ประสิทธิภาพการพรวนกลบวัสดุอ้อยในไร่อยู่ในช่วงระหว่าง 93.7–95.3% และที่เงื่อนไขมุมชุดจานไถ 44° ประสิทธิภาพการพรวนกลบวัสดุอ้อยในไร่อยู่ในช่วงระหว่าง 96.1–96.5% (Figure 5a)



2.2 ประสิทธิภาพการสางใบอ้อย ที่ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีสางใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกตีสางใบหมุนตีขึ้น ความสูงในการสางใบ 2.5 ม. ความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย 800 รอบ/นาที และความเร็วจึงเส้นที่ปลายเอ็นตัดหญ้าของลูกตีสางใบ 44.15 ม./วินาที ประสิทธิภาพการสางใบอ้อยในไร่อยู่ในช่วง 81.3–85.7% เนื่องจากใบบริเวณยอดลำอ้อยที่มีความสูงเกิน 2.5 ม. ประมาณ 15-20% ไม่ได้ถูกเครื่องสางลงมา แต่มีความสะอาดเพียงพอให้แรงงานคนเข้าตัด (Figure 5b)

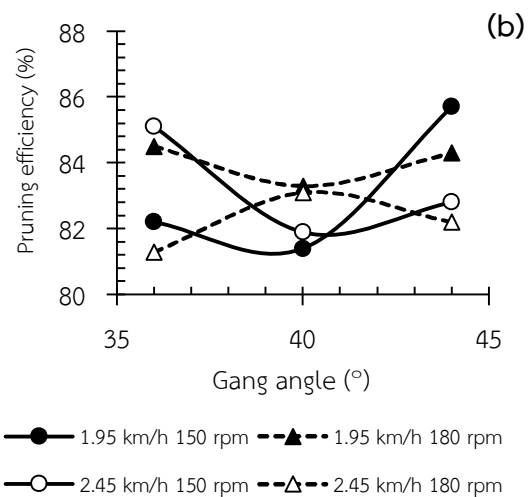


Figure 5 (a) Trash covering efficiency at the conditions of 36°, 40° and 44°

(b) Pruning of sugarcane leaves efficiency at the conditions of 36°, 40° and 44°

2.3 การสั่นไถล การสั่นไถลลดลงทุกกรณีเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 1.95 กม./ชม. เป็น 2.45 กม./ชม. และที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ 2.45 กม./ชม. มีค่าลบซึ่งหมายความว่าเมื่อเครื่องสางใบและไถพรวนกลบวัสดุอ้อยจะก่อให้เกิดแรงผลักดันไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ ส่งผลให้รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ไกลกว่าเห็นได้ว่ามุมชุดจานไถ 40° ความเร็วเพิ่มขึ้น ที่ความเร็วรอบเดียวกันมีการสั่นไถลที่มีค่าบวกต่ำสุด และมีการสั่นไถลที่มีค่าลบสูงสุด

จากผลการทดสอบในข้อ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่า ขนาดมุมชุดจานไถส่งผลทำให้กำลังฉุดลากแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบที่เงื่อนไขความเร็วการเดินทางเดียวกัน แต่ความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์ที่เร็วกว่าส่งผลทำให้กำลังฉุดลากเพิ่มขึ้น ส่วนค่ากำลังจำเพาะที่เพลลาอำนาจกำลังมีขนาดลดลงเมื่อมุมชุดจานไถที่โตมากขึ้น สาเหตุมาจากปริมาตรดินในการพรวนกลบเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่ากำลังจำเพาะที่เพลลาอำนาจกำลังลดลง และสอดคล้องกับรัฐจิภาสและคณะ

(2560) ส่วนค่ากำลังรวมเป็นผลรวมของกำลังขุดลากกับกำลังที่เพลอำนวนยกกำลัง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบหมุนของพลาจันไถ และความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้น รวมถึงอุปกรณ์พรวนกลบวัสดุด้วยมุมชุดจันไถที่โตมากขึ้น นอกจากนี้ค่ากำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิกเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นจากภาระโหลดที่เพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อยและประสิทธิภาพการสางใบอ้อยควรสูงกว่า 90% (รุจิภาสและคณะ, 2560) ผลการประเมินประสิทธิภาพการพรวนกลบวัสดุอ้อยทุกกรรมวิธีสูงกว่า 90% และประสิทธิภาพการสางใบอ้อยจาก

การทดสอบมากกว่า 80% (Figure 6) ทุกกรรมวิธี ดังนั้น กรรมวิธีที่ 1 ความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์ 1.95 กม./ชม. (เกียร์ Low1) มุมชุดจันไถ 36° ความเร็วรอบการหมุนที่พลาจันไถ 150 รอบ/นาที ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกตีสางใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกตีสางใบหมุนตีขึ้น และความเร็วรอบการหมุนของลูกตีสางใบอ้อย 800 รอบ/นาที มีค่ากำลังรวมต่ำสุด 12.17 กิโลวัตต์ ที่มีประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อย 92.4% และมีประสิทธิภาพการสางใบอ้อย 82.2% เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด



(a)



(b)

**Figure 6** (a) Sugarcane residue incorporation before harvesting  
(b) Cleaned sugarcane plant for next harvesting

### 3. ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่

ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรจริง อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง และอัตราการสิ้นเปลือง โดยความสามารถในการทำงานขึ้นอยู่กับความเร็วของรถแทรกเตอร์ เมื่อใช้ความเร็วรถแทรกเตอร์ 1.95 กม./ชม. พบว่า มีอัตราการสิ้นเปลืองเล็กน้อยและมีค่าเป็นบวก ส่งผลให้ความเร็วของรถแทรกเตอร์ลดลงเนื่องจาก

การสิ้นเปลืองของล้อแทรกเตอร์ส่วนใหญ่เกิดจากแรงต้านของดินที่กระทำต่อชุดไถมีค่ามากกว่าแรงต้านของดินที่ล้อแทรกเตอร์ (Table 2) ส่วนใบอ้อยซึ่งเป็นภาระโหลดของอุปกรณ์สางใบอ้อยจะอยู่ด้านข้างของรถแทรกเตอร์ และลำต้นอ้อยจะถูกการ์ดป้องกันซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหน้าของรถแทรกเตอร์ดันออก จึงไม่ส่งผลต่อความเร็วของรถแทรกเตอร์ และไม่ส่งผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่อง

**Table 2** Results of testing performance, fuel consumption and slip

Effective field capacity (rai h <sup>-1</sup> )	Theoretical field capacity (rai h <sup>-1</sup> )	Field efficiency (%)	Fuel consumption (L rai <sup>-1</sup> )	Slip (%)
1.75	2.36	74.15	1.65	0.22

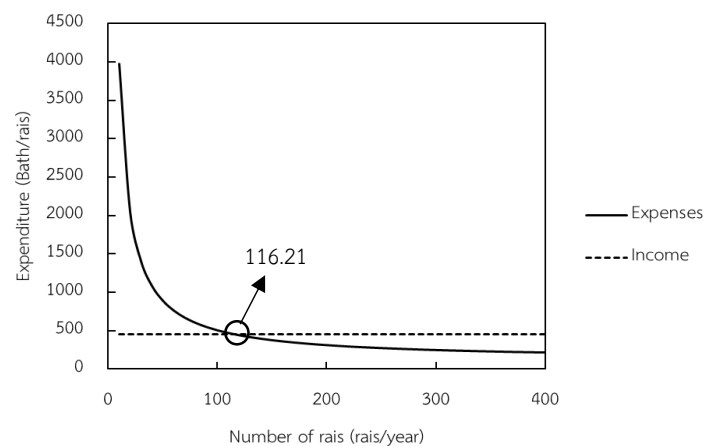
ประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อย และประสิทธิภาพการสาบใบอ้อยจากการใช้งานเครื่องต้นแบบกับเครื่องสาบใบและเครื่องพรวนกลบใบอ้อยที่มีใช้อยู่ทั่วไปไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ข้อเด่นของเครื่องต้นแบบคือความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรจริงสูงกว่าเครื่องทั่วไป 0.88 ไร่/ชม. เนื่องจากเครื่องทั่วไปต้อง

ทำงาน 2 ครั้ง ในการสาบ และพรวนกลบใบอ้อย ส่งผลให้อัตรากาใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องต้นแบบนี้ต่ำกว่า 4.2 ลิ./ไร่ (Table 3) เครื่องสาบใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยต้นแบบมีราคา 164,000 บาท และค่าจ้างสาบใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย 450 บาท/ไร่ ทำงาน 8 ชม./วัน มีจุดคุ้มทุนที่ 116.21 ไร่ (Figure 7)

**Table 3** Test result of trash covering efficiency, pruning of sugarcane leaves efficiency, fuel consumption and effective field capacity using the prototype as compared to the machine

Comparison	Trash covering efficiency (%)	Pruning of sugarcane leave efficiency (%)	Fuel consumption (L rai <sup>-1</sup> )	Effective field capacity (rai h <sup>-1</sup> )
prototype	92.4	82.2	1.65	1.75
machine	94.7	81.4	5.85	0.87
T-test	3.07 <sup>ns</sup>	0.60 <sup>ns</sup>	17.74*	11.52 <sup>ns</sup>

Note: \* = significant at 5% level, NS = not significant



**Figure 7** The break-even point of a sugarcane leaf pruning machine and trash incorporator

#### 4. ความสามารถของตัวควบคุมพีชซีลอจิก

ผลตอบสนองความเร็วรอบการหมุนของ ลูกดีสางใบของอ้อยพันธุ์กวก.ขอนแก่น3 กับเวลา ขณะทีลูกดีสางใบหมุนตีใบอ้อยลงมา เปรียบเทียบกับ ความเร็วรอบ input setpoint พบว่า ความเร็วรอบ เริ่มหมุนจาก 0 รอบ/นาที จนถึง 800 รอบ/นาที ใช้ ช่วงเวลา response time 1.2 วินาที ช่วงเวลา delay

time 0.6 วินาที ช่วงเวลา rise time 0.8 วินาที และ ช่วงเวลา setting time 1.0 วินาที ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน (overshoot) ขึ้น (Figure 8) เนื่องจากระบบควบคุม การหมุนของลูกดีสางใบอ้อยออกแบบให้ง่ายต่อการ ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบการหมุน โดยป้อนความเร็ว รอบที่ต้องการผ่านบอร์ดควบคุม

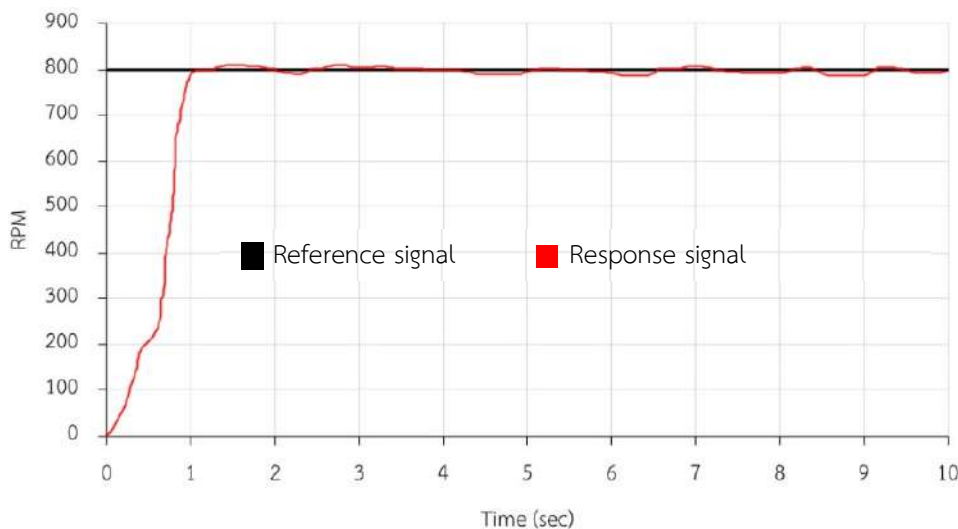


Figure 8 Response of Khon Kaen3 sugarcane cultivar for the revolution of the rollers compared with the reference signal

จากภาระโหลด (ปริมาณใบ และแรงดึงใบ) ที่เปลี่ยนแปลงส่งผลต่อรอบการหมุนของลูกดีสางใบ แต่ตัวควบคุมจะพยายามควบคุมรอบการหมุนให้ เท่ากับค่าความเร็ว input setpoint ดังนั้น ค่าความ ผิดพลาด เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง สางใบที่มีข้ออยู่ทั่วไปที่ไม่มีตัวควบคุม โดยผลตอบสนอง ที่เข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิง (steady-state) ได้รวดเร็ว ไม่ เกิดค่าพุ่งเกิน และค่าความผิดพลาดน้อยส่งผลให้ ประสิทธิภาพในการสางใบของเครื่องสางใบเพิ่มสูงขึ้น ความสะอาดในการสางใบสำหรับตัดอ้อยเข้า โรงงานสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องสางใบที่มีข้อ อยู่ทั่วไป

#### สรุปผลการทดลอง

เครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย สามารถ สางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยในการทำงานครั้งเดียว ทำการทดสอบกับอ้อยพันธุ์กวก.ขอนแก่น3 สำหรับ ตัดเข้าโรงงาน ที่ความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์ 1.95 กม./ชม. (เกียร์ Low1) มุมชุดจานไถ 36° ความเร็วรอบการหมุนที่ผลาจานไถ 150 รอบ/นาที ความเร็วเชิงเส้นที่ขอบผลาจานไถ 12.93 กม./ชม. ความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของลูกดี สางใบ 0.5 ม./วินาที ทิศทางการหมุนของลูกดีสางใบ หมุนตีขึ้น ความเร็วรอบการหมุนของลูกดีสางใบอ้อย 800 รอบ/นาที และความเร็วเชิงเส้นที่ปลายเอ็น

ตัดหญ้าของลูกตีสามใบ 44.15 ม./วินาที มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด โดยมีประสิทธิภาพการพรวนกลบใบอ้อยเฉลี่ย 92.4% ประสิทธิภาพการสางใบอ้อยเฉลี่ย 82.2% ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรจริง 1.75 ไร่/ชม. และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.65 ล./ไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องสางใบและเครื่องพรวนกลบใบอ้อยที่มีใช้อยู่ทั่วไป มีความสามารถในการทำงานสูงกว่า 0.88 ไร่/ชม. และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่า 4.2 ล./ไร่ ควบคุมการหมุนของลูกตีสามใบแบบพีชซี เครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยต้นแบบมีราคา 164,000 บาท ค่าจ้างสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อย 450 บาท/ไร่ ทำงาน 8 ชม./วัน มีจุดคุ้มทุนที่ 116.21 ไร่ สามารถใช้ก่อนการใช้แรงงานคนเข้าตัดอ้อย มีความสะดวกและช่วยลดการเผาใบอ้อยได้

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ธัญญา นิยมภา และ รศ.ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการไถพรวนด้วยเครื่องมือไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนถึงภาควิศวกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทดสอบอุปกรณ์ไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน และเป็นพื้นฐานในการออกแบบเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณ ข้าราชการและลูกจ้าง กรมวิชาการเกษตรทุกท่าน ที่ได้ร่วมมือในการสร้างและทดสอบเครื่องสางใบพร้อมพรวนกลบใบอ้อยจนงานวิจัยลุล่วง

### เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2568. มาตรการรับมือสถานการณ์ไฟป่าหมอกควัน และฝุ่นละออง ปี 2568. แหล่งข้อมูล: <https://www.pcd.go.th/airandsound/มาตรการรับมือ>

- สถานการณ์ไฟป่า-หมอกควัน-และฝุ่นละออง-ปี-2568. สืบค้น: 10 มกราคม 2568.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. คู่มืองดเผาตอซัง สร้างดินยั่งยืน พื้นสิ่งแวดล้อม. แหล่งข้อมูล: [https://www.ldd.go.th/manual\\_stump/stump.pdf](https://www.ldd.go.th/manual_stump/stump.pdf). สืบค้น: 5 มกราคม 2568.
- กรมวิชาการเกษตร. 2547. แนวทางการแก้ปัญหาการเผาใบอ้อย. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 332 หน้า.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2546. อ้อยไฟไหม้: ผลกระทบต่ออุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย. วารสารอ้อยและน้ำตาลไทย. 10(2): 61-63.
- ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์ ดนัย ศาลทูลพิทักษ์ อนุชา เขาวีโชติ มงคล ตุ่นเฮ้า พุทธธินันท์ จารุวัฒน์ ปรีชา อานันท์รัตนกุล อนุชิต ฉ่ำสิงห์ รัชดา ปรัชเจริญวิชัย จิระวิวัฒน์ ไกรสินบุรศักดิ์ และกันต์ธกรณ์ เขาทอง. 2563. ออกแบบและพัฒนาเครื่องสางใบอ้อยสำหรับอ้อยตัดทำพันธุ์โดยใช้ระบบไฮดรอลิค. วารสารวิชาการเกษตร. 38(1): 33-49.
- ธัญญา นิยมภา และวิชัย หมอชาติ. 2554. การพัฒนาเครื่องมือไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน. หน้า 1-6. ใน: รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 ประจำปี 2554. 31 มี.ค.-1 เม.ย. 2554 จังหวัดชลบุรี.
- วุฒิชัย กปิลกาญจน์. 2528. กลไกและพลศาสตร์ของเครื่องจักรกล. สำนักพิมพ์ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 377 หน้า.
- รุจิภาส คงกล้า ศิริศักดิ์ เขิดเกียรติพล และประเทือง อุษาบริสุทธิ์. 2560. การพรวนกลบวัสดุอ้อยในไร่หลังการเก็บเกี่ยวด้วยไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48(3พิเศษ): 23-26.
- อรรถสิทธิ์ บุญธรรม ช่ออ้อย กาฬกิติ และนันทนา โพธิ์สุข. 2558. การทดสอบวิธีการแก้ปัญหาการเผาใบอ้อยโดยการสางใบในไร่เกษตรกร. หน้า 1-18. ใน: รายงานเรื่องเต็มผลการทดลองสิ้นสุด 2558. กรมวิชาการเกษตร.
- Abo El Ees, N.A.E.H and B.M.D. Wills. 1986. An analysis of the geometric and soil working parameters of a curved vertical disc. Journal of Agricultural Engineering Research. 35(4): 277-286.

การติดเชื้อ การถ่ายทอดทางเมล็ด และความผันแปรของลำดับนิวคลีโอไทด์  
ของเชื้อ *Pepper chat fruit viroid* ในพริกและมะเขือ

Infection, Seed Transmission and Sequence Variation of  
*Pepper chat fruit viroid* in Pepper and Eggplant

กัญญารัตน์ อุบลรัตน์<sup>1/</sup> ษมากร สิงห์พันธุ์<sup>1/\*</sup>

Kanyarat Aubonrat<sup>1/</sup> Samabhorn Singhabandhu<sup>1/\*</sup>

Received 5 Nov. 2024/Revised 27 Mar. 2025/Accepted 27 Mar. 2025

ABSTRACT

*Pepper chat fruit viroid* (PCFVd) is a significant quarantine pest impacting the production of pepper and tomato crops for exportation. This study aimed to evaluate the pathogenicity, disease symptoms, seed transmission rate, and nucleotide sequence variation of PCFVd. Mechanical inoculation was conducted on 13 pepper accessions and 16 eggplant accessions. Reverse transcription-polymerase chain reaction was used to detect viroid infection. The results showed 100% infection in all pepper samples, which led to reduced fruit size, though seeds were still produced. Among the eggplant samples, 12 showed infection rates of 10-100%, while 4 accessions were not infected. Infected leaves and flowers of eggplant exhibited reduced sizes but still produced viable seeds. Seedlings from infected plants exhibited transmission rates of 48.9 and 2% in pepper accessions CA1181 and CA1220, respectively, and 1.2% in eggplant accessions SM021B. The RNA from the infected seeds and seedlings was also pathogenic when reinoculated into a susceptible tomato variety, Seedatip4. The nucleotide sequence comparison of the DNA products obtained in this study with the database of GenBank confirmed the species as PCFVd. Nucleotide sequence variation was identified in the terminal right domain, exhibiting 96–99% sequence identity to the LPng20-11c1 isolate (accession no. JF446893). This study demonstrated that PCFVd can induce disease and be transmitted through seeds of both pepper and eggplant plants.

**Keywords:** reverse transcription-polymerase chain reaction; *Pepper chat fruit viroid*; seed transmission; quarantine pest

---

<sup>1/</sup> ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

<sup>1/</sup> Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

\* Corresponding author: fagsab@ku.ac.th

## บทคัดย่อ

เชื้อ *Pepper chat fruit viroid* (PCFVd) เป็น ศัตรูพืชกักกันของหลายประเทศ มีผลกระทบต่อ การส่งออกเมล็ดพันธุ์และการผลิตพริกและมะเขือเทศ จึงได้ศึกษาความสามารถในการก่อโรคของเชื้อ PCFVd ลักษณะอาการโรค อัตราการถ่ายทอดเชื้อผ่านทาง เมล็ด และความผันแปรของลำดับนิวคลีโอไทด์ของ เชื้อ PCFVd โดยการปลูกเชื้อด้วยวิธีกล บนพริกจำนวน 13 accessions และมะเขือจำนวน 16 accessions ตรวจสอบการเข้าทำลายของเชื้อไวรอยด์ด้วยเทคนิค reverse transcription-polymerase chain reaction พบว่า พริกทุก accessions ติดเชื้อ 100% และมีขนาด ผลลดลงแต่ติดเมล็ดได้ ในมะเขือติดเชื้อ 10-100% โดยพบการติดเชื้อ 12 accessions และไม่ติดเชื้อ 4 accessions ใบและดอกมะเขือที่ติดเชื้อมีขนาด ลดลงแต่ติดเมล็ดได้ เมื่อนำเมล็ดพริกและมะเขือ มาศึกษาการถ่ายทอดเชื้อทางเมล็ดในสภาพโรงเรือน พบอัตราการติดเชื้อในต้นกล้าที่งอกจากเมล็ดที่ได้จาก ต้นพริกติดเชื้อ 2 accessions ได้แก่ CA1181 และ CA1220 คิดเป็น 48.9 และ 2% ตามลำดับ และจาก มะเขือ 1 accession ได้แก่ SM021B มีอัตราต้นกล้า ติดเชื้อ 1.2% อาร์เอ็นเอจากเมล็ดและต้นกล้าที่ตรวจ พบเชื้อ PCFVd สามารถก่อโรคบนพืชทดสอบมะเขือเทศ อ่อนแอพันธุ์สีดาทิพย์ 4 การเปรียบเทียบลำดับ นิวคลีโอไทด์ของดีเอ็นเอผลผลิตที่ได้กับฐานข้อมูล GenBank ยืนยันชนิดเชื้อไวรอยด์ว่าเป็น PCFVd โดย ความผันแปรของลำดับนิวคลีโอไทด์ในบริเวณโดเมน ฝั่งขวาของเชื้อ PCFVd มีความเหมือนกับไอโซเลต LPng20-11c1 (accession no. JF446893) 96–99% ผลการศึกษานี้ชี้ว่าเชื้อ PCFVd สามารถก่อโรคและ ถ่ายทอดเชื้อผ่านทางเมล็ดพันธุ์พริกและมะเขือได้

**คำสำคัญ:** ปฏิกริยาปลูกโซโพลิเมอร์เรสแบบย้อนกลับ; การถ่ายทอดทางเมล็ด; ความผันแปรของลำดับ นิวคลีโอไทด์; ศัตรูพืชกักกัน

## บทนำ

เชื้อไวรอยด์เป็นเชื้อสาเหตุโรคพืชที่มีขนาดเล็กที่สุด ลักษณะโครงสร้างเป็นอาร์เอ็นเอสายเดี่ยวที่เป็นวงปิด ไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้ และไม่มีโปรตีนห่อหุ้ม สามารถเพิ่มปริมาณตัวเองได้ในเซลล์ที่อ่อนแอต่อการเข้าทำลาย และก่อโรคกับพืชเศรษฐกิจหลายชนิดทั่วโลก (Diener, 1987) การแพร่กระจายและการถ่ายทอดเชื้อจะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อไวรอยด์ และวิธีการถ่ายทอด ซึ่งเชื้อไวรอยด์สามารถถ่ายทอดด้วยวิธีกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การสัมผัสน้ำคั้นจากต้นเป็นโรคที่เข้าทำลายโดยเชื้อ PSTVd, *Citrus exocortis viroid* (CEVd), CLVd (Hadidi et al., 2003) และ PCFVd (Verhoeven et al., 2009; Yanagisawa and Matsushita, 2017) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีรายงานการถ่ายทอดเชื้อไวรอยด์ผ่านทางเมล็ดและละอองเกสร เช่น PSTVd ในมะเขือเทศ (Matsushita and Tsuda, 2016) และ CLVd ในพริก (ขมากรและคณะ, 2562) เป็นต้น มีรายงานการพบเชื้อไวรอยด์ชนิดใหม่ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ได้แก่ เชื้อ PCFVd พบครั้งแรกในฤดูใบไม้ร่วงภายในโรงเรือนปลูกพริกหวาน (*Capsicum annuum* L.) อาการที่เกิดจากเชื้อ PCFVd คือ ขนาดของผลลดลงถึง 50% และพืชมีการเจริญเติบโตลดลง (Verhoeven et al., 2009) เชื้อ PCFVd ยังก่อโรครุนแรงกับมะเขือเทศและมันฝรั่ง โดยทำให้เกิดอาการเส้นใบไหม้ (vein necrosis) ขนาดผลลดลงในมะเขือเทศและขนาดหัวลดลงในมันฝรั่ง

ในประเทศไทยมีรายงานการตรวจพบเชื้อ PCFVd ในมะเขือเทศที่ จ.ลำปาง โดยพบว่า มีลำดับ

เดี่ยวแคะ เส้นใบไหม้ ใบบิดเบี้ยวผิดปกติและใบเปลี่ยนสี ตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ไม่พบอนุภาคไวรัส แต่ตรวจพบด้วยเทคนิค RT-PCR มีความเหมือนกับเชื้อ PCFVd ที่ได้มีรายงานจากประเทศเนเธอร์แลนด์ 99% (คณิงนิตย, 2556; Reanwarakorn et al., 2011) การเข้าทำลายของเชื้อไวรอยด์ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ดังนั้น เชื้อ PCFVd จึงถูกกำหนดให้เป็นศัตรูพืชกักกันของหลายประเทศ (กรมวิชาการเกษตร, 2564ก; 2564ข) มีผลกระทบต่อส่งออกเมล็ดพันธุ์พืช ดังเช่น การตรวจพบเชื้อ PCFVd ติดไปกับเมล็ดมะเขือเทศที่ส่งจากประเทศไทยไปประเทศออสเตรเลีย ทำให้ประเทศไทยถูกระงับการนำเข้าเมล็ดพันธุ์และมีมาตรการตรวจสอบที่เข้มข้มขึ้น (Chambers et al., 2013) และจากรายงานการตรวจเชื้อไวรอยด์จากเมล็ดมะเขือเทศและพริกพันธุ์การค้านำเข้าของประเทศออสเตรเลียจำนวน 49 lots พบเชื้อ PCFVd ปนเปื้อนในเมล็ดมะเขือเทศและพริก 8 และ 36% ตามลำดับ (Dall et al., 2019) การเข้าทำลายของเชื้อยากต่อการสังเกตด้วยตาเปล่า การตรวจวินิจฉัยโรคต้องใช้เทคนิคที่แม่นยำและนำเชื้อถือ นอกจากนี้ข้อมูลความแตกต่างอัตราการติดเชื้อ และการถ่ายทอดผ่านทางเมล็ดพันธุ์ของเชื้อ PCFVd ในพริกและมะเขือ accessions ต่าง ๆ ยังขาดรายละเอียด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการเข้าทำลายและการถ่ายทอดเชื้อ PCFVd ผ่านทางเมล็ดพริก (*C. annuum*) และมะเขือ (*Solanum melongena*) และความผันแปรของลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อ PCFVd เพื่อเป็นประโยชน์ในการหาแนวทางควบคุมโรคจากเชื้อ PCFVd ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นข้อมูลเพื่อตรวจหาเชื้อในระบบการผลิตพืชระดับแปลง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การเตรียมพืชทดสอบ

นำเมล็ดพันธุ์พริก และมะเขือ 13 และ 16 accessions ตามลำดับ (Table 1-2) จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพาะในกระถางขนาด 2.5 นิ้ว และย้ายกล้าลงกระถางขนาด 10 นิ้ว ในโรงเรือนตาข่ายป้องกันแมลง พืชทดสอบ 10 ต้น/accession และเตรียมพืชปกติควบคุม 4 ต้น/accession

### 2. การปลูกเชื้อและการเก็บข้อมูล

นำเชื้อ PCFVd ไอโซเลต LPng20-11c1 (accession no. JF446893) ที่ได้รับการอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.คณิงนิตย เจริญวรารากร ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการเพิ่มปริมาณเชื้อในมะเขือเทศพันธุ์สีดาทิพย์4 เมื่อครบ 4 สัปดาห์หลังการปลูกเชื้อ บดใบมะเขือเทศติดเชื้อ PCFVd อัตรา 1 ก. ต่อบัฟเฟอร์ (0.1M phosphate buffer, pH 8.0 ที่เติม 0.1% w/v Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) 20 มล. จนละเอียดและกรองเอาเศษพืชออก เติมนงคาร์โบรันตัม 0.1% w/v ปลูกเชื้อด้วยวิธีกล โดยทาน้ำคั้นลงบนใบต้นกล้าพริกและมะเขือที่มีใบจริง 3-4 ใบ ทิ้งไว้ 5 นาที และล้างด้วยน้ำสะอาด และปลูกเชื้ออีกครั้งห่างกัน 1 สัปดาห์ และทาบัฟเฟอร์บนพืชปกติควบคุม จากนั้นสังเกตอาการและตรวจสอบการติดเชื้อไวรอยด์ด้วยเทคนิค RT-PCR เมื่อครบ 8 สัปดาห์หลังการปลูกเชื้อ ปล่อยให้ติดเมล็ดตามธรรมชาติในสภาพโรงเรือนตาข่ายป้องกันแมลง เก็บผลพริกและมะเขือที่สุกแก่เต็มที่ นำมาผ่าผลเพื่อเก็บเมล็ด ล้างเมล็ดด้วยน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง ตากเมล็ด

ให้แห้งในสภาพอุณหภูมิห้อง แยกเมล็ดที่มีความสมบูรณ์ซึ่งจะมีลักษณะเมล็ดสีเหลืองอ่อน นูนเล็กน้อยเนื่องจากมีเอ็มบริโออยู่ด้านใน ออกจากเมล็ดผิดปกติที่มีลักษณะดำหรือแบนลึบ นับจำนวนและบรรจุใส่ซอง บันทึกข้อมูลกำกับไว้ และเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °ซ. เพื่อใช้ทดสอบต่อไป

### 3. การตรวจสอบการติดเชื้อด้วยเทคนิค RT-PCR และการหาลำดับนิวคลีโอไทด์

สกัดอาร์เอ็นเอจากตัวอย่างใบและเมล็ดพืชทดสอบปลูกเชื้อและจากต้นปกติควบคุม โดยใช้สาร TRIzol reagent (Thermo Fisher Scientific) ตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยดัดแปลงวิธีการด้วยการใช้ตัวอย่างพืชทดสอบที่บดละเอียดปริมาณ 50 มก. ผสมให้เข้ากันกับสาร TRIzol 500 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที เติมนคลอโรฟอร์ม 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและบ่มที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 13,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 4 °ซ. เป็นเวลา 15 นาที ดูดของเหลวใสส่วนบน 350 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดใหม่ขนาด 1.7 มล. และเติม isopropanol 500 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันโดยพลิกหลอดกลับไปมา 20 ครั้ง และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 13,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 4 °ซ. เป็นเวลา 10 นาที เทของเหลวทิ้งและเก็บตะกอน ล้างตะกอนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 70% ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และปั่นเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 13,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 4 °ซ. เป็นเวลา 5 นาที (ล้างตะกอนซ้ำ 2 ครั้ง) เก็บตะกอนและใช้ปิเปตดูดของเหลวที่เหลือออกให้หมด ตากตะกอนในตู้ดูดควันเป็นเวลา 10 นาที และละลายตะกอนอาร์เอ็นเอด้วย 0.1X TE ปริมาตร 50 ไมโครลิตร/ตัวอย่าง และนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไปหรือเก็บตัวอย่างอาร์เอ็นเอที่ -20 °ซ.

นำอาร์เอ็นเอที่ได้มาตรวจสอบหาเชื้อ PCFVd ด้วยเทคนิค RT-PCR กับคูไพรเมอร์ที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อเชื้อ PCFVd ประกอบด้วยไพรเมอร์ PCF-seq-F (5' CCGTCTTCTGACAGGAGTA ATCCC 3') และ PCF-seq-R (5'ACCCGCACGGCGCT TCTC 3') ที่ให้ผลผลิตขนาด 348 คู่เบส (Yanagisawa and Matsushita, 2017) โดยมีขั้นตอนดังนี้ การทำ reverse transcription (RT) เพื่อสร้างสาย cDNA จาก RNA ปฏิกริยา 20 ไมโครลิตร ประกอบด้วยไพรเมอร์ PCF-seq-R ความเข้มข้น 0.2 ไมโครโมลาร์ 10 ไมโครลิตร ผสมกับตัวอย่างอาร์เอ็นเอ 3.5 ไมโครลิตร นำเข้าเครื่อง thermal cycler โดยใช้โปรแกรม 96 °ซ. นาน 5 นาที 1 รอบ จากนั้นนำมาแช่แข็งทันที 5 นาที และเติมส่วนผสมของ reverse transcriptase buffer ความเข้มข้น 1X ปริมาตร 4 ไมโครลิตร 10 mM dNTPs 2 ไมโครลิตร และเอนไซม์ reverse transcriptase 100 ยูนิต นำเข้าเครื่อง thermal cycler โดยใช้โปรแกรม 49 °ซ. นาน 1 ชั่วโมง และตามด้วยอุณหภูมิ 70 °ซ. นาน 10 นาที จากนั้นเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยขั้นตอน PCR จาก cDNA ที่ได้ โดยปฏิกริยา 20 ไมโครลิตร ประกอบด้วย GO tag green master mix (Promega) 10 ไมโครลิตร ไพรเมอร์ PCF-seq-F และ PCF-seq-R ความเข้มข้น 2 ไมโครโมลาร์ 1 ไมโครลิตร น้ำนิ่งฆ่าเชื้อที่ปราศจาก nuclease 6 ไมโครลิตร และ cDNA จากปฏิกริยา RT 2 ไมโครลิตร นำเข้าเครื่อง thermal cycler โดยใช้โปรแกรมนี้นี้: 92 °ซ. นาน 3 นาที 1 รอบ จากนั้นตามด้วย 92 °ซ. นาน 40 วินาที 62 °ซ. นาน 40 วินาที และ 72 °ซ. นาน 40 วินาที 35 รอบ และ 72 °ซ. นาน 7 นาที 1 รอบ ตามลำดับ

ตรวจสอบผลผลิตดีเอ็นเอด้วยวิธี gel electrophoresis โดยใช้ 2% agarose gel ในบัฟเฟอร์ 0.5X TBE เติมนี้อย้อม (staining dye) Red safe™ (intron BIOTECHNOLOGY) อัตรา 1 ไมโครลิตร/เจล

20 มล. แยกขนาดดีเอ็นเอด้วยความต่างศักย์ของกระแสไฟ 100 โวลต์ เป็นเวลา 35 นาที และตรวจสอบผลภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตกับเครื่อง gel documentation และบันทึกภาพเพื่อยืนยันชนิดของไวรอยด์ที่ตรวจพบด้วยเทคนิค RT-PCR ทำการแยกสกัดดีเอ็นเอผลผลิตขนาด 348 คู่เบส จากเจล โดยใช้ชุดสกัด FavorPrep™ Gel/PCR Purification Kit (FAVOGEN® BIOTEC CORP.) ตามขั้นตอนของบริษัทส่งตัวอย่าง DNA วิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยเทคนิค Sanger (Sanger sequencing) กับ BIONICS (South Korea Co., Ltd.) และเปรียบเทียบข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้กับฐานข้อมูลใน NCBI ด้วยโปรแกรม BLAST

#### 4. การถ่ายทอดทางเมล็ดของเชื้อ PCFVd ในเมล็ดพริกและมะเขือ

4.1 การตรวจสอบการติดเชื้อเบื้องต้นเปรียบเทียบกับต้นปกติควบคุม

สุ่มเมล็ดจากต้นติดเชื้อทุกต้น 100 เมล็ดต่อ accession และต้นปกติของแต่ละ accession สกัดอาร์เอ็นเอจากเมล็ดที่บดละเอียดด้วยไนโตรเจนเหลว น้ำหนัก 50 มก. ด้วยสาร TRIzol® (1 ตัวอย่าง RNA สกัดจาก 100 เมล็ด/accession) และตรวจหาเชื้อด้วยเทคนิค RT-PCR โดยใช้ไพรเมอร์ PCF-seq ดังวิธีการที่กล่าวไว้ในข้างต้น ตัวอย่าง RNA จากเมล็ดของ accession ที่ให้ผลผลิต DNA ขนาดประมาณ 350 คู่เบส เท่ากับขนาดผลผลิต DNA ของเชื้อ PCFVd (positive control) จะให้ผลตรวจตัวอย่างดังกล่าวเป็นบวกหรือตรวจพบเชื้อ PCFVd และยืนยันความสามารถในการ

ก่อโรคของเชื้อ PCFVd ที่ตรวจพบจากเมล็ดพริกและมะเขือด้วยการนำเมล็ดที่บดละเอียดในชั้นตอนนี้ อัตรา 100 มก. ผสมกับบัฟเฟอร์ (0.1M phosphate buffer, pH 8.0 ที่เติม 0.1% (v/w) Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) ปริมาตร 1 มล. และปลูกเชื้อด้วยการป้ายน้ำคั้นจากเมล็ดกลงไปบนมะเขือเทศพันธุ์สีดาทิพย์ 4 (biological assay) จำนวน 3 ต้น/accession สังเกตอาการบนมะเขือเทศที่ได้รับการปลูกเชื้อและตรวจหาเชื้อ PCFVd หลังการปลูกเชื่อนาน 4 สัปดาห์ ด้วยเทคนิค RT-PCR มะเขือเทศสีดาทิพย์ 4 ที่แสดงอาการและตรวจพบเชื้อ PCFVd อย่างน้อย 1 ต้น จาก 3 ต้น ใช้ยืนยันว่าเชื้อ PCFVd จากเมล็ดยังมีความสามารถในการก่อโรค

4.2 การถ่ายทอดเชื้อไปสู่ต้นกล้าจากเมล็ดที่ได้จากต้นติดเชื้อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ได้จากต้นปกติ

นำเมล็ดพริกและมะเขือที่ได้จากต้นปกติและเมล็ดที่ได้จากต้นติดเชื้อ PCFVd 100 เมล็ด/accession เพาะในกระถางขนาด 2.5 นิ้ว ที่มีพีทมอสเป็นวัสดุเพาะกล้า 1 เมล็ด/กระถาง ในสภาพโรงเรือนตาข่ายป้องกันแมลง เก็บข้อมูลอัตราการงอก ลักษณะการเจริญเติบโต และอาการผิดปกติต่าง ๆ และเก็บตัวอย่างใบเมื่อต้นพริกและมะเขืออายุ 12 สัปดาห์ เพื่อนำไปสกัด RNA และตรวจสอบหาเชื้อ PCFVd ด้วยเทคนิค RT-PCR คำนวณหาอัตราการถ่ายทอดเชื้อ PCFVd ผ่านทางเมล็ดไปสู่ต้นกล้า จากสูตร (1) และหาลำดับนิวคลีโอไทด์จากผลผลิต DNA ที่ได้เพื่อยืนยันชนิดของเชื้อไวรอยด์

$$\text{อัตราการถ่ายทอดเชื้อ PCFVd ผ่านทางเมล็ดไปสู่ต้นกล้า} = \frac{\text{จำนวนต้นกล้าติดเชื้อ PCFVd}}{\text{จำนวนต้นกล้าที่ออกทั้งหมด}} \times 100 \quad (1)$$

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. การติดเชื้อและอาการผิดปกติที่เกิดจากเชื้อ PCFVd

พริกทั้ง 13 accessions หลังได้รับการปลูกเขื่อนาน 8 สัปดาห์ พบว่า มีอัตราการติดเชื้อทุก accessions

หรือ 100% และพบอาการผิดปกติ คือ พริกมีความสูงของต้นลดลง ยอดเป็นกระจุก และบางพันธุ์ผลพริกมีขนาดเล็กลง (Table 1 และ Figure 1) แต่พืชทดสอบยังสามารถเจริญเติบโตมีการติดผลและเมล็ดได้

**Table 1** The infectivity and seed transmission rate of PCFVd on pepper (*C. annuum*)

No.	Accession	Fruit type	PCFVd infection in mother plants			PCFVd infection in seed		
			% Plant infection	Symptom	100 seeds bulked / Bioassay <sup>a</sup>	by Grow-out test		
						% G <sup>b</sup>	% G <sup>c</sup>	% Inf <sup>d</sup> , (Bioassay)
1	CA1106	elongate	100	BS, RF	+/+	50	39	0 (0/39), (-)
2	CA1110	elongate	100	RF	+/+	65	70	0 (0/70), (-)
3	CA1113	elongate	100	RF	+/+	90	92	0 (0/92), (-)
4	CA1168	elongate	100	RF	+/+	65	87	0 (0/87), (-)
5	CA1172	elongate	100	NS	+/+	87	65	0 (0/65), (-)
6	CA1179	elongate	100	RF	+/+	87	61	0 (0/61), (-)
7	CA1181	triangular	100	RF	+/+	95	90	48.9 (+44/90), (+)
8	CA1182	blocky	100	RF	+/+	85	73	0 (0/73), (-)
9	CA1194	blocky	100	RF	+/+	80	51	0 (0/51), (-)
10	CA1199	blocky	100	RF	+/+	68	72	0 (0/72), (-)
11	CA1200	elongate	100	RF	+/+	90	72	0 (0/72), (-)
12	CA1210	blocky	100	RF	+/+	70	15	0 (0/15), (-)
13	CA1220	blocky	100	RF	+/+	90	50	2 (+1/50), (+)

**Remark:** BS = Bushy; RF = Reduced fruit size; NS = No symptom

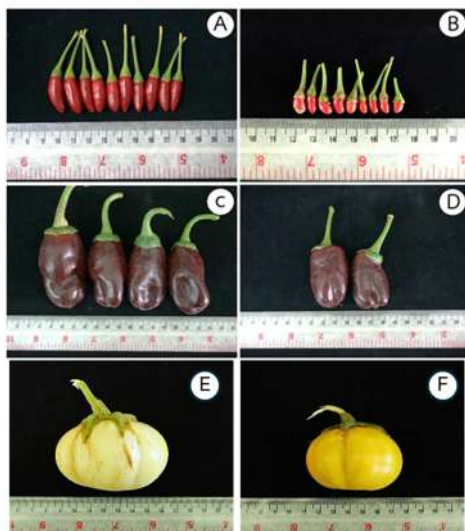
(+) = PCFVd-infected sample was found by RT-PCR; (-) = PCFVd-infected sample was not found by RT-PCR

<sup>a</sup> Bioassay as mechanical inoculation on Seedathip4 tomato

<sup>b</sup> Germination rate of seed from healthy plant = (number of germinated seedling/total seed) x 100

<sup>c</sup> Germination rate of seed from PCFVd-infected plant = (number of germinated seedling/total seed) x 100

<sup>d</sup> PCFVd infected rate = (number of PCFVd-infected seedling /total germinated seedling) x 100



**Figure 1** Characteristics of *C. annuum* two accessions; CA1181 (A, B) and CA1220 (C, D) and *S. melongena* accession SM021B (E, F); Fruits from healthy plants (A, C, E) and fruits from PCFVd-infected plants (B, D, F)

ส่วนมะเขือ 16 accessions พบว่า 12 accessions มีอัตราการติดเชื้อ 10-100% และไม่ติดเชื้อ 4 accessions นอกจากนี้ ยังพบอาการผิดปกติ ได้แก่ ใบและดอกของต้นติดเชื้อมีขนาดลดลง แต่ดอกยังสามารถพัฒนาเป็นผลและติดเมล็ดได้ โดยมีตัวอย่างมะเขือ 8 accessions ที่มีอัตราการติดเชื้อ PCFVd 100% ได้แก่ SM006 SM264 SM244 SM004 SM013 SM099

SM021B และ SM112 มี 3 accessions ที่อัตราการติดเชื้อ 83-85.7% ได้แก่ SM252-36 SM252-49 และ SM110A มี 1 accession ที่อัตราการติดเชื้อ 10% ได้แก่ SM103B และมี 4 accessions ที่อัตราการติดเชื้อ 0% ได้แก่ มะเขือยาว 1 accession คือ SM057 และมะเขือจาน 3 accessions คือ SM474 SM474B และ SM477 (Table 2, Figure 2-3)

**Table 2** The infectivity and seed transmission rate of PCFVd on eggplants (*S. melongena*)

No.	Accession	Fruit type	PCFVd infection in mother plants			PCFVd infection in seed		
			% Plant infection	Symptom	100 seeds bulked/Bioassay <sup>a</sup>	by Grow-out test		
						% G <sup>b</sup>	% G <sup>c</sup>	% Inf <sup>d</sup> , (Bioassay)
1	SM006	long green	100	RL, RFL	+/+	100	100	0 (0/100), (-)
2	SM252-36	long green	85.7	NS	+/+	80	84	0 (0/84), (-)
3	SM264	long green	100	RL, RFL	+/+	97	93	0 (0/93), (-)
4	SM057	long purple	0	NS	-/-	90	90	0 (0/90), (-)
5	SM244	long purple	100	ST, RL, RFL	+/+	90	90	0 (0/90), (-)
6	SM252-49	long purple	85.7	ST, RL, RFL	-/-	100	100	0 (0/100), (-)
7	SM004	round green	100	RL, RFL	-/-	100	100	0 (0/100), (-)
8	SM013	round green	100	RL, RFL	-/-	100	64	0 (0/64), (-)
9	SM099	round green	100	RL, RFL	+/+	32	5	0 (0/5), (-)
10	SM103B	round green	10	RL, RFL	+/+	100	96	0 (0/96), (-)
11	SM110A	round green	83	RL, RFL	+/+	100	92	0 (0/92), (-)
12	SM021B	white ribbed	100	RL, RFL	+/+	80	77	1.2 (+1/77), (+)
13	SM112	white ribbed	100	RL, RFL	+/+	92	80	0 (0/80), (-)
14	SM474	white ribbed	0	NS	-/-	80	85	0 (0/85), (-)
15	SM474B	white ribbed	0	NS	-/-	90	90	0 (0/90), (-)
16	SM477	white ribbed	0	NS	-/-	100	98	0 (0/98), (-)

**Remark:** ST = Stunt; RL = Reduced leaf size; RFL = Reduced flower size; NS = No symptom

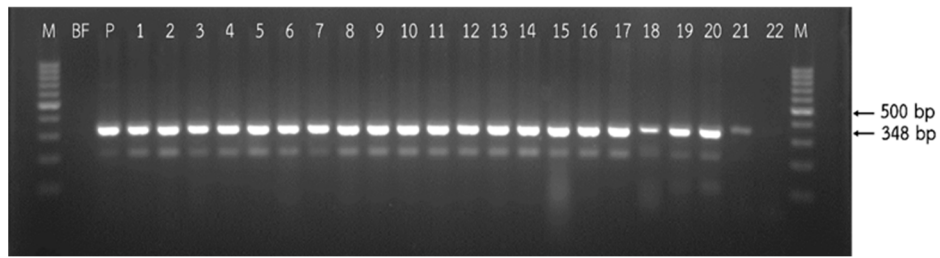
(+) = PCFVd-infected sample was found by RT-PCR; (-) = PCFVd-infected sample was not found by RT-PCR

<sup>a</sup> Bioassay as mechanical inoculation on Seedathip4 tomato

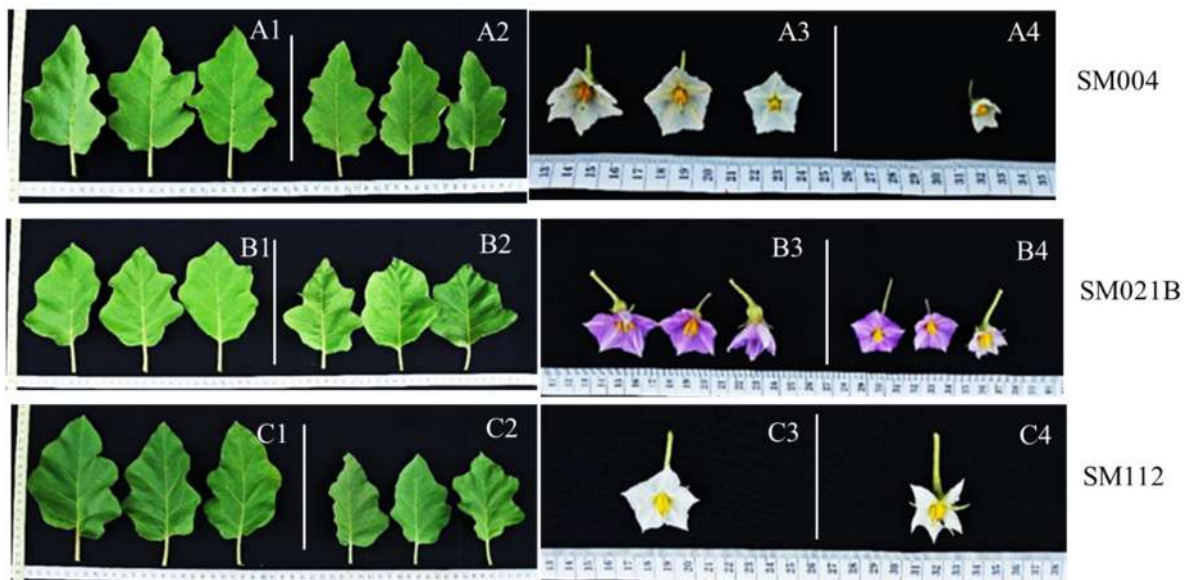
<sup>b</sup> Germination rate of seed from healthy plant = (number of germinated seedling/total seed) x 100

<sup>c</sup> Germination rate of seed from PCFVd-infected plant = (number of germinated seedling/total seed) x 100

<sup>d</sup> PCFVd infected rate = (number of PCFVd-infected seedling /total germinated seedling) x 100



**Figure 2** Results of PCFVd infection detected by RT-PCR technique using PCF-seq primers with target DNA of 348 bp (PCFVd-infected plant) from RNA extracted from *S. melongena*, 8 weeks after inoculation; M = 100 bp. Molecular weight marker, BF = buffer, P = PCFVd positive control, 1-5 = SM006 plant no. 1 to 5, 6-10= SM252-36 plant no. 1 to 5, 11-15 = SM264 plant no. 1 to 5, 16-19 = SM244 plant no. 1 to 4 and 20-22 = SM252-49 plant no. 1 to 3, respectively



**Figure 3** Comparison on healthy and PCFVd-infected plants of *S. melongena* three accessions, SM004 (A1-A4), SM021 (B1-B4) and SM112 (C1-C4): healthy leaves (A1, B1, C1); infected leaves (A2, B2, C2); healthy flowers (A3, B3, C3) and infected flowers (A4, B4, C4)

การศึกษานี้สอดคล้องกับ Verhoeven et al. (2009; 2011; 2020) ที่พบว่า เชื้อ PCFVd สามารถเข้าทำลายในพริกชนิด *C. annuum* และส่งผลให้ผลพริกมีขนาดเล็ก และ Matsushita and Tsuda (2015) ที่พบว่า เชื้อ PCFVd สามารถเพิ่มปริมาณในพริกชนิด *C. annuum* และพบอาการผลเล็กลงเช่นเดียวกัน การศึกษาของ Keyata et al (2024) พบว่า

พริกพันธุ์การค้าทั้ง *C. annuum* และ *C. frutescense* L. ที่ติดเชื้อ PCFVd มีอาการต้นเตี้ยแคระ ทรงพุ่มแคบลง พริกบางพันธุ์ไม่มีการติดผลและเมล็ดเมื่อเปรียบเทียบกับต้นปกติในพันธุ์เดียวกัน โดยในพันธุ์ที่ติดเมล็ดตรวจพบเชื้อ PCFVd แต่ไม่พบการถ่ายทอดเชื้อไปยังต้นกล้าพริก เมื่อเปรียบเทียบกับอาการโรคที่เกิดจากเชื้อ PCFVd ในมะเขือเทศพันธุ์ Money-

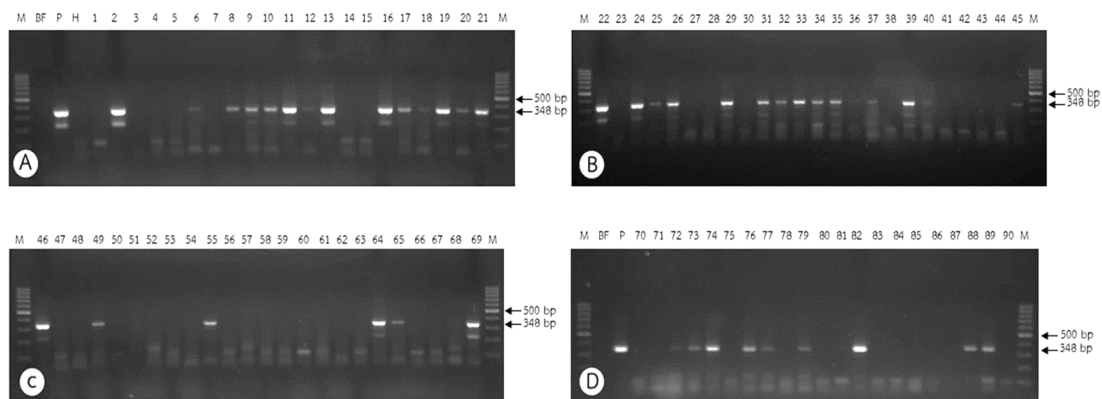
maker (Verhoeven et al., 2009) และมะเขือเทศพันธุ์ Rutgers (Reanwarakorn et al., 2011) พบมีอาการโรครุนแรงกว่าพริกและมะเขือมาก ได้แก่ ต้นเตี้ยแคระ ใบหงิกกลดรูป แผลไหม้ที่เส้นใบ ก้านใบและลำต้นอย่างรุนแรง จากที่กล่าวมาจึงสรุปได้ว่า ความรุนแรงของอาการโรคที่เกิดจากการติดเชื้อ PCFVd ในพืชชนิดต่าง ๆ ขึ้นกับหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดและสายพันธุ์ของเชื้อไวรอยด์ ชนิดและพันธุ์ของพืช ระยะเวลาการติดเชื้อ และสภาพแวดล้อม (Hadidi et al., 2003; Ding, 2009; Hadidi et al., 2017) อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้พบมะเขือที่ติดเชื้อ PCFVd แสดงอาการผิดปกติเพียงเล็กน้อย ได้แก่ ขนาดของใบและดอกลดลง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมะเขือเทศพริก และมะเขือเป็นพืชในวงศ์เดียวกัน ดังนั้น จึงเป็นพืชอาศัยที่ไวรอยด์ชนิดนี้เข้าทำลายได้ แต่มีระดับการเข้าทำลายของเชื้อ PCFVd ที่แตกต่างกัน

## 2. การถ่ายทอดเชื้อผ่านทางเมล็ด

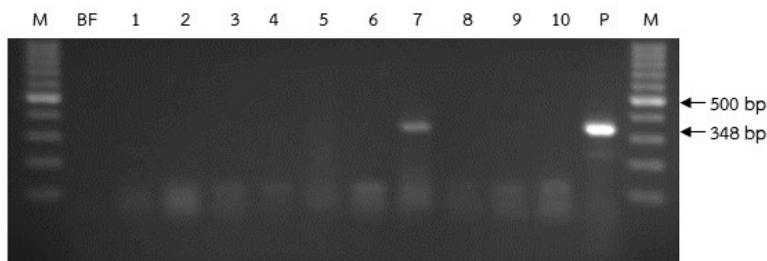
ตรวจสอบเชื้อไวรอยด์ที่สะสมอยู่ในเมล็ดพริกด้วยเทคนิค RT-PCR พบการติดเชื้อ PCFVd ในเมล็ดทั้ง 13 accessions ได้แก่ CA1106 CA1110 CA1113 CA1168 CA1172 CA1179 CA1181 CA1182 CA1194 CA1199 CA1200 CA1210 และ CA1220 (Table 1) และในมะเขือพบเมล็ดติดเชื้อ PCFVd 9 accessions จากทั้งหมด 16 accessions ได้แก่ SM006 SM252-36 SM264 SM244 SM099 SM103B SM110A SM021B และ SM112 (Table 2) ยืนยันความสามารถในการก่อโรคของเชื้อ PCFVd จากเมล็ดพริกและมะเขือที่ได้จากต้นติดเชื้อ พบว่า มะเขือเทศติดเชื้อ PCFVd จากน้ำคั้นเมล็ดพริกทั้ง 13 accessions และมะเขือเทศติดเชื้อ PCFVd จากน้ำคั้นเมล็ดมะเขือจำนวน 12 accessions จากทั้งหมด 16 accessions (Table 2) แสดงให้เห็นว่าเชื้อ PCFVd ที่ตรวจพบใน

เมล็ดยังคงความสามารถในการก่อโรคได้ และมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมระหว่างการเก็บและทำความสะอาดเมล็ดพันธุ์ ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับ Verhoeven et al. (2009) ที่พบอาการเส้นใบไหม้ และขนาดของผลลดลงในมะเขือเทศหลังได้รับการปลูกเชื้อ PCFVd เพื่อทดสอบการเข้าทำลายของเชื้อไวรอยด์บนพืชทดสอบอ่อนแอ และยังคงสอดคล้องกับ ปรีเชษฐ์และคณะ (2556) Reanwarakorn et al. (2011) และ Kungwon et al. (2022) ที่พบลักษณะอาการต้นเตี้ย เส้นใบไหม้ ใบผิดปกติ และใบเปลี่ยนสีในมะเขือเทศ จากการศึกษา พบว่า อาการโรคที่เกิดจากการติดเชื้อ PCFVd บนมะเขือเทศพันธุ์สีดาทิพย์ 4 สังเกตเห็นตั้งแต่ 14 วันหลังการปลูกเชื้อไวรอยด์สามารถทำให้เกิดอาการต้นแคระแกร็นอาการบนใบ ได้แก่ บิดม้วนงอ หดเล็กลงและผิดปกติอาการเหลืองซีด (chlorosis) อาการเซลล์ตายที่กิ่งก้าน และเส้นใบ ผลเล็กลงและผิดปกติ เป็นต้น (Flores et al., 2005)

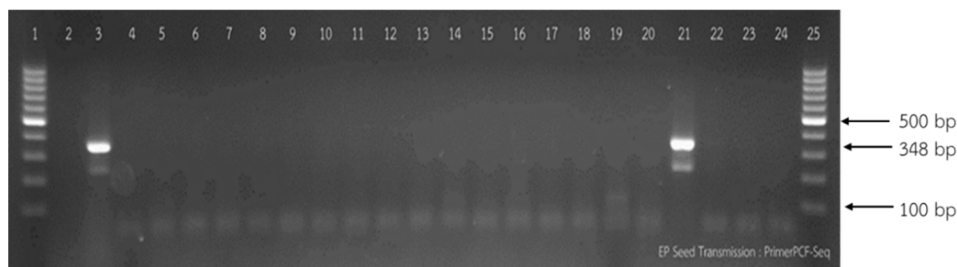
การถ่ายทอดผ่านทางเมล็ดของเชื้อ PCFVd ของเมล็ดพริกและมะเขือที่ได้จากต้นที่ได้รับการปลูกเชื้อ PCFVd เปรียบเทียบกับเมล็ดที่ได้จากต้นปกติควบคุม โดยการปลูกทดสอบในสภาพโรงเรือนนาน 12 สัปดาห์ พบว่า พริก 2 accessions ได้แก่ CA1181 ตรวจพบต้นกล้าติดเชื้อ 44 ต้น จากต้นกล้าที่งอกทั้งหมด 90 ต้น และ CA1220 ตรวจพบต้นกล้าติดเชื้อ 1 ต้น จากต้นกล้าที่งอกทั้งหมด 50 ต้น คิดเป็นการถ่ายทอดผ่านทางเมล็ดของ CA1181 และ CA1220 มีอัตรา 48.9 และ 2% ตามลำดับ (Table 1 และ Figure 4-5) และพบว่า มะเขือ 1 accession ได้แก่ SM021B ตรวจพบต้นกล้าติดเชื้อ 1 ต้น จากต้นกล้าที่งอกทั้งหมด 77 ต้น คิดเป็นอัตราการถ่ายทอดผ่านทางเมล็ด 1.2% (Table 2 และ Figure 6)



**Figure 4** PCFVd detected by RT-PCR using PCF-seq primers with target DNA of 348 bp (PCFVd-infected seedling) on 12-week-old seedling of *C. annuum* accession CA1181 from the Grow-out test; M = 100 bp. molecular weight marker, BF = buffer, P = PCFVd positive control, H = healthy, lane 1-90 = seedling no.1 to 90 (A, B, C, D)



**Figure 5** PCFVd detected by RT-PCR using PCF-seq primers with target DNA of 348 bp (PCFVd-infected seedling) on 12-week-old seedling of *C. annuum* accession CA1120 from the Grow-out test; M = 100 bp. molecular weight marker, BF = buffer, 1 = seedling no. 26, 2 = seedling no. 27, 3 = seedling no. 28, 4 = seedling no. 29, 5 = seedling no. 30, 6 = seedling no. 41, 7 = seedling no. 42, 8 = seedling no. 43, 9 = seedling no. 44, 10 = seedling no. 45 and P = PCFVd positive control



**Figure 6** PCFVd detected by RT-PCR using PCF-seq primers with target DNA of 348 bp (PCFVd-infected seedling) on 12-week-old seedling of *S. melongena* accession SM021B from the Grow-out test; lane 1 and 25 = 100 bp. molecular weight marker, 2 = buffer, 3 = PCFVd positive control and 4-24 = seedling no. 1 to 20, respectively

จากข้างต้น พริก 2 accessions ที่ติดเชื้อ PCFVd ได้แก่ CA1181 เป็นพริกต้นเตี้ย มีทรงพุ่มแน่น ใบเล็ก เรียว ออกดอกเป็นช่อจำนวนมาก ขนาดผลสั้นและ เล็กคล้ายกับพริกขี้หนูประดับ และ CA1220 เป็นพริก ที่มีต้นสูงขนาดกลาง ทรงพุ่มโปร่ง ใบใหญ่ ผลยาวและ ใหญ่คล้ายพริกหวาน สามารถเจริญให้ผลผลิตและ เมล็ดพันธุ์ติดเชื้อ PCFVd ที่ถ่ายทอดไปยังต้นกล้า ที่งอกใหม่ได้ จึงยืนยันได้ว่าเชื้อ PCFVd สามารถ ถ่ายทอดเชื้อผ่านทางเมล็ดพริกไปยังต้นกล้าที่ใช้ใน การศึกษารั้งนี้ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้แตกต่าง จากการรายงานของ Verhoeven et al. (2020) ที่ตรวจ พบเชื้อ PCFVd จากเมล็ดพริก แต่ไม่พบการถ่ายทอด เชื้อ PCFVd ผ่านทางเมล็ดไปสู่ต้นกล้าพริกที่งอกจาก เมล็ดชุดเดียวกันนี้ เช่นเดียวกับการศึกษาพีชอัสย และการถ่ายทอดเชื้อ PCFVd ผ่านทางเมล็ดของ Yanagisawa and Matsushita (2017) พบการถ่ายทอด เชื้อผ่านทางเมล็ดไปสู่ต้นกล้าในพิทูเนียสูงถึง 65.3– 91.9% และถ่ายทอดผ่านทางเมล็ดไปสู่ต้นกล้า มะเขือเทศ (*S. lycopersicum*) พันธุ์ Yellow Pare 1.4% แต่ไม่พบการถ่ายทอดผ่านทางเมล็ดพริก (*C. annuum*) พันธุ์ Miyoki

มะเขือที่ติดเชื้อใน accession SM021B เป็น มะเขือจาน ที่มีลักษณะต้นสูงปานกลาง ออกดอก เดี่ยว กลีบดอกสีขาว ผลมีลักษณะกลมแบนและมีร่อง ยุบเล็กน้อยด้านข้างของผล หลังติดเชื้อไวรอยด์ยัง สามารถเจริญให้ผลผลิตและเมล็ดติดเชื้อ PCFVd และถ่ายทอดเชื้อไปยังต้นกล้าที่งอกใหม่ได้ จึงยืนยัน ได้ว่าเชื้อ PCFVd สามารถถ่ายทอดผ่านทางเมล็ด มะเขือที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ และยังไม่พบรายงาน การถ่ายทอดเชื้อ PCFVd ผ่านทางเมล็ดในมะเขือชนิด อื่น ๆ

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การติดเชื้อ PCFVd ของคัพภะ (embryo) พริกและมะเขือ อาจเกิดได้จาก

2 เหตุผล คือ 1) ต้นแม่ติดเชื้อและมีรังไข่ (ovary) ที่ติดเชื้อด้วย เมื่อเชื้อจากรังไข่มีการเคลื่อนที่ระหว่าง เซลล์ (cell-to-cell) จนเข้าถึงเซลล์ของคัพภะที่อยู่ ภายในและงอกเป็นต้นกล้าติดเชื้อ หรือ 2) ระหว่างที่ ต้นแม่มีการติดเชื้อ PCFVd และเมื่อถึงระยะออกดอก และสร้างละอองเกสร (pollen) ที่มีการติดเชื้อ เมื่อ เกิดการผสมตัวเอง (self-pollination) ละอองเกสรที่ ติดเชื้อไวรอยด์สามารถเข้าปฏิสนธิได้คัพภะที่ติดเชื้อ และงอกเป็นต้นกล้าที่ติดเชื้อได้ ซึ่งกลไกการถ่ายทอดนี้ Bhuvitarkom and Reanwarakorn (2019) ได้รายงาน การถ่ายทอดทางเมล็ดของเชื้อ CLVd ในมะเขือว่า ไวรอยด์สามารถติดไปกับละอองเกสรและเกิดการ ปฏิสนธิได้คัพภะติดเชื้อที่สามารถเจริญและงอกเป็น ต้นกล้าที่ติดเชื้อได้ในอัตราที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ พันธุ์พีช อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อ ยืนยันว่าเชื้อ PCFVd สามารถติดไปกับละอองเกสร และทำให้เกิดการถ่ายทอดเชื้อไวรอยด์ไปสู่คัพภะใน รังไข่ได้ เพื่อเป็นข้อมูลให้เกิดความระมัดระวังการใช้ ละอองเกสรที่ไม่มีการติดเชื้อ PCFVd ในการผลิต เมล็ดพันธุ์ เนื่องจาก Yanagisawa and Matsushita (2017) ศึกษาการถ่ายทอดของเชื้อ PCFVd ในพิทูเนีย พบว่า การถ่ายทอดผ่านทางเมล็ดเกิดจากการผสม ของละอองเกสรติดเชื้อไวรอยด์กับไข่ในรังไข่ และ ส่งผลให้เชื้อถ่ายทอดเข้าไปในคัพภะซึ่งเจริญต่อไป เป็นเมล็ดและงอกเป็นต้นกล้าติดเชื้อ PCFVd ในอัตรา ที่สูงมากกว่า 65%

### 3. การวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อไวรอยด์

ลำดับนิวคลีโอไทด์ของทุกตัวอย่างที่นำมา ศึกษา มีความเหมือนกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อ PCFVd ไอโซเลต LPng20-11c1 (accession no. JF446893) โดยมีค่าความเหมือนกันของลำดับ นิวคลีโอไทด์ที่ 96% ถึง 99% (Table 3) และจากการ เปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์แบบ multiple sequence

alignment ด้วย Clustal OMEGA (version 1.2.4) ของเชื้อ PCFVd ที่ได้จากพริก มะเขือ และมะเขือเทศ ติดเชื้อในการศึกษานี้กับเชื้อ PCFVd ไอโซเลต LPng20-11c1 (accession no. JF446893) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของลำดับ นิวคลีโอไทด์บางตำแหน่ง บริเวณลำดับที่ 160 ถึง 190 ซึ่งลำดับนิวคลีโอไทด์ดังกล่าวอยู่ในบริเวณโดเมนฝั่งขวา (terminal right domain; TR domain) ของเชื้อ PCFVd โดยพบการเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อ PCFVd

ที่ศึกษาจากพริก accession CA1181 ได้แก่ accession no. PQ872184 (จากต้นพริกติดเชื้อ) จำนวน 12 ตำแหน่ง accession no. PQ872186 (จากเมล็ดของพริกติดเชื้อ) 10 ตำแหน่ง accession no. PQ872188 (มะเขือเทศจากการทดสอบ biological assay) 3 ตำแหน่ง และ accession no. PQ872194 (ต้นกล้าพริกติดเชื้อจากการทดสอบปลูกในสภาพโรงเรือน) 3 ตำแหน่ง (Table 3 และ Figure 7)

**Table 3** Results of sequence similarity of PCFVd infected plant, whole seeds, biological assay and Grow-out test seedling of the *C. annuum*, *S. melongena* and *S. lycopersicum* compared to the isolate LPng20-11c1 (accession no. JF446893)

Plant accession no.	NCBI accession no.	Sample ID	Host	Source	Score (bits)	E Value	% Identity	No. of nucleotide changing at TR-domain
CA1181	PQ872184	SB_Pe_PC1	pepper	Infected pepper plant	571	2e-158	96	12
	PQ872186	SB_Pe_PC5	pepper	100 whole seeds	588	2e-163	97	10
	PQ872188	SB_Pe_PC8	tomato	biological assay	627	4e-175	99	3
	PQ872194	SB_Pe_PC18	pepper	GOT seedling	627	4e-175	99	2
CA1220	PQ872185	SB_Pe_PC3	pepper	Infected pepper plant	593	4e-165	97	7
	PQ872187	SB_Pe_PC6	pepper	100 whole seeds	627	4e-175	99	3
	PQ872189	SB_Pe_PC10	tomato	Biological assay	627	4e-175	99	3
	PQ872193	SB_Pe_PC17	pepper	GOT seedling	621	2e-173	99	3
SM021B	PQ872174	SB_Eg_PC28	eggplant	Infected eggplant plant	627	4e-175	99	3
	PQ872179	SB_Eg_PC53	eggplant	100 whole seeds	621	2e-173	99	3
	PQ872180	SB_Eg_PC76	eggplant	GOT seedling	627	4e-175	99	3

Note: Length 348 (nucleotide)

จำนวนการเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อ PCFVd จำนวน 3 ตำแหน่ง ที่ศึกษาในพริก accession CA1220 ได้แก่ accession no. PQ872185 (จากต้นพริกติดเชื้อ) จำนวน 7 ตำแหน่ง accession no. PQ872187 (จากเมล็ดของพริกติดเชื้อ) accession no. PQ872189 (จากมะเขือเทศทดสอบ biological assay) และ accession no. PQ872193 (ต้นกล้าพริกติดเชื้อจากการทดสอบปลูกในสภาพโรงเรือน) (Table 3 และ Figure 7)

จำนวนการเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อ PCFVd จำนวน 3 ตำแหน่ง ที่ศึกษาในมะเขือ accession SM021B ได้แก่ accession no. PQ872174 (จากต้นมะเขือติดเชื้อ) accession no. PQ872179 (จากเมล็ดมะเขือติดเชื้อ) และเชื้อ accession no. PQ872180 (จากต้นกล้ามะเขือติดเชื้อจากการทดสอบปลูกในสภาพโรงเรือน) (Table 3)

CLUSTAL OMEGA (1.2.4) multiple sequence alignment

```

JF446893.1      CCGGATTCCTCTAAGGGTGCCTGTGGTGCCFCCCCGAAGCCCGCTTAGGGAAAAAGAAA 60
PQ872184      CCGGATTCCTCTAAGGGTGCCTGTGGTGCCFCCCCGAAGCCCGCTTAGGGAAAAAGAAA 60
PQ872186      CCGGATTCCTCTAAGGGTGCCTGTGGTGCCFCCCCGAAGCCCGCTTAGGGAAAAAGAAA 60
PQ872188      CCGGATTCCTCTAAGGGTGCCTGTGGTGCCFCCCCGAAGCCCGCTTAGGGAAAAAGAAA 60
PQ872194      CCGGATTCCTCTAAGGGTGCCTGTGGTGCCFCCCCGAAGCCCGCTTAGGGAAAAAGAAA 60
PQ872185      CCGGATTCCTCTAAGGGTGCCTGTGGTGCCFCCCCGAAGCCCGCTTAGGGAAAAAGAAA 60
PQ872187      CCGGATTCCTCTAAGGGTGCCTGTGGTGCCFCCCCGAAGCCCGCTTAGGGAAAAAGAAA 60
PQ872189      CCGGATTCCTCTAAGGGTGCCTGTGGTGCCFCCCCGAAGCCCGCTTAGGGAAAAAGAAA 60
PQ872193      CCGGATTCCTCTAAGGGTGCCTGTGGTGCCFCCCCGAAGCCCGCTTAGGGAAAAAGAAA 60
*****

JF446893.1      GGGGAAGCAAGCATCTCCTGTTTCAGGGATCCCCGGGGAACCTGAACAGATCGGGCGGAG 120
PQ872184      GGGGAAGCAAGCATCTCCTGTTTCAGGGATCCCCGGGGAACCTGAACAGATCGGGCGGAG 120
PQ872186      GGGGAAGCAAGCATCTCCTGTTTCAGGGATCCCCGGGGAACCTGAACAGATCGGGCGGAG 120
PQ872188      GGGGAAGCAAGCATCTCCTGTTTCAGGGATCCCCGGGGAACCTGAACAGATCGGGCGGAG 120
PQ872194      GGGGAAGCAAGCATCTCCTGTTTCAGGGATCCCCGGGGAACCTGAACAGATCGGGCGGAG 120
PQ872185      GGGGAAGCAAGCATCTCCTGTTTCAGGGATCCCCGGGGAACCTGAACAGATCGGGCGGAG 120
PQ872187      GGGGAAGCAAGCATCTCCTGTTTCAGGGATCCCCGGGGAACCTGAACAGATCGGGCGGAG 120
PQ872189      GGGGAAGCAAGCATCTCCTGTTTCAGGGATCCCCGGGGAACCTGAACAGATCGGGCGGAG 120
PQ872193      GGGGAAGCAAGCATCTCCTGTTTCAGGGATCCCCGGGGAACCTGAACAGATCGGGCGGAG 120
*****

JF446893.1      AAGCGCCGTGCGGGTCCGTCTTCTGACAGGAGTAATCCCAGTAGAAACAGGGTTTTCACC 180
PQ872184      AAGCGCCGTGCGGGTCCGTCTTCTGACAGGAGTAATCCCAGTCCATCAAAGTCCGCCACC 180
PQ872186      AAGCGCCGTGCGGGTCCGTCTTCTGACAGGAGTAATCCCATCATAAACAATGCCAGCACC 180
PQ872188      AAGCGCCGTGCGGGTCCGTCTTCTGACAGGAGTAATCCCAGCTGAAACAGGGTTTTCACC 180
PQ872194      AAGCGCCGTGCGGGTCCGTCTTCTGACAGGAGTAATCCCAGCTGAAACAGGGTTTTCACC 180
PQ872185      AAGCGCCGTGCGGGTCCGTCTTCTGACAGGAGTAATCCCAGCGAATCAGGGCAGCCACC 180
PQ872187      AAGCGCCGTGCGGGTCCGTCTTCTGACAGGAGTAATCCCAGCTGAAACAGGGTTTTCACC 180
PQ872189      AAGCGCCGTGCGGGTCCGTCTTCTGACAGGAGTAATCCCAGCTGAAACAGGGTTTTCACC 180
PQ872193      AAGCGCCGCGCGGGTCCGTCTTCTGACAGGAGTAATCCCAGCTGAAACAGGGTTTTCACC 180
*****

JF446893.1      CTTCCTTTCTTCGGGTTTCCTTCTCAGTCGACCGGACCGCGTCGGCCTTCTCGGCACT 240
PQ872184      CTTCCTTTCTTCGGGTTTCCTTCTCAGTCGACCGGACCGCGTCGGCCTTCTCGGCACT 240
PQ872186      CTTCCTTTCTTCGGGTTTCCTTCTCAGTCGACCGGACCGCGTCGGCCTTCTCGGCACT 240
PQ872188      CTTCCTTTCTTCGGGTTTCCTTCTCAGTCGACCGGACCGCGTCGGCCTTCTCGGCACT 240
PQ872194      CTTCCTTTCTTCGGGTTTCCTTCTCAGTCGACCGGACCGCGTCGGCCTTCTCGGCACT 240
PQ872185      CTTCCTTTCTTCGGGTTTCCTTCTCAGTCGACCGGACCGCGTCGGCCTTCTCGGCACT 240
PQ872187      CTTCCTTTCTTCGGGTTTCCTTCTCAGTCGACCGGACCGCGTCGGCCTTCTCGGCACT 240
PQ872189      CTTCCTTTCTTCGGGTTTCCTTCTCAGTCGACCGGACCGCGTCGGCCTTCTCGGCACT 240
PQ872193      CTTCCTTTCTTCGGGTTTCCTTCTCAGTCGACCGGACCGCGTCGGCCTTCTCGGCACT 240
*****

```

**Figure 7** Multiple sequence alignment using Clustal Omega of *Pepper chat fruit viroid* sequences from PCFVd-infected plant, whole seeds and GOT seedling of the *C. annuum* CA1181 and CA1220 and biological assay on *S. lycopersicum* ‘Seedathip4’ compared to the isolate LPng20-11c1 (accession no. JF446893.1). Blue highlights show the original sequences and yellow highlights show the changed sequences

ผลการศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อไวรอยด์ตลอดการทดลองยืนยันได้ว่าเป็นเชื้อ PCFVd และมีความเหมือนกับไอโซเลต LPng20-11c1 (accession no. JF446893) ที่ 96 ถึง 99% และความแตกต่างของลำดับ นิวคลีโอไทด์ของเชื้อ PCFVd ทั้ง 11 accessions จากการศึกษาที่อยู่ในบริเวณลำดับที่ 160 ถึง 190 เป็นลำดับ นิวคลีโอไทด์ในบริเวณโดเมนฝั่งขวา (right terminal domain; TR-domain) ของเชื้อ PCFVd การเปลี่ยนแปลงของลำดับนิวคลีโอไทด์ที่พบในการศึกษายังไม่สามารถสรุปได้ว่า เกิดจากความสัมพันธ์ของเชื้อ PCFVd กับชนิดของพืชทดสอบ

ในด้านใด อย่างไรก็ตาม ได้มีการศึกษาความสำคัญของโดเมนบนเชื้อไวรอยด์ในวงศ์ *Pospiviroidae* และพบว่า TR domain ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของเชื้อไวรอยด์ภายในเซลล์พืชไปยังนิวเคลียสพืช อาจอาศัยโปรตีนของพืชที่มีคุณสมบัติในการจับกับ TR domain ของเชื้อไวรอยด์และพาไปยังนิวเคลียสพืชและเกิดการจำลองตัวของเชื้อไวรอยด์ และเคลื่อนที่ไปตามระบบท่อลำเลียง (systemic trafficking) ในพืชอาศัยเพื่อเข้าทำลายเซลล์ในเซลล์บริเวณอื่นๆ (Kalantidis et al., 2007; Zhong et al., 2008; Steger, 2017) และรายงานของ ปรีเชษฐ์และคณะ

(2567) ได้ศึกษา quasi-species ของเชื้อ CLVd ในมะเขือเทศพันธุ์ Rutgers และสีกดา50 มะอึก และมะเขือเปราะ และสรุปว่า พบจำนวน variant ทั้งสิ้น 22 variant และมี single-nucleotide polymorphisms เฉลี่ย 3 ตำแหน่งต่อจีโนม อยู่ในบริเวณ TR และ pathogenic domain (P domain) และพบอัตราการกลายพันธุ์เฉลี่ยของ CLVd Solanum-1 ที่  $8.15 \times 10^{-3}$  เพื่อพิสูจน์การเกิด quasi-species ของ CLVd และพบว่าชนิดของ dominant variant มีความเกี่ยวข้องกับชนิดพืชอาศัย

### สรุปผลการทดลอง

การศึกษ้อัตราการติดเชื้อและการถ่ายทอดผ่านทางเมล็ดพันธุ์ของเชื้อ PCFVd โดยการปลูกเชื้อด้วยวิธีกล พบว่า พริก 13 accessions มีอัตราการติดเชื้อ 100% และการเข้าทำลายของเชื้อทำให้มีขนาดของผลเล็กลง มะเขือ 16 accessions มีอัตราการติดเชื้อระหว่าง 0-100% และพบอาการผิดปกติ ได้แก่ ใบและดอกของต้นติดเชื้อมีขนาดลดลง เมื่อศึกษ้อัตราการถ่ายทอดเชื้อผ่านทางเมล็ดโดยเพาะกล้าในสภาพโรงเรือน พบอัตราการถ่ายทอดเชื้อ PCFVd ผ่านทางเมล็ดพันธุ์ในพริก accession CA1181 และ CA1120 ที่ 48.9 และ 2% ตามลำดับ และมะเขือ accession SM021B ที่ 1.2% การศึกษานี้พบการถ่ายทอดของเชื้อ PCFVd ผ่านทางเมล็ดพันธุ์พริกและมะเขือจากต้นที่ได้รับการปลูกเชื้อด้วยวิธีกล ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลในการสังเกตอาการผิดปกติที่เกิดจากไวรัสในแปลงพริกและมะเขือ และชี้ว่าการใช้เมล็ดที่ปราศจากการปนเปื้อนของเชื้อไวรัส การสำรวจโรคอย่างสม่ำเสมอ การกำจัดพืชที่เป็นโรคออกจากแปลง จะช่วยให้การผลิตเมล็ดพันธุ์พริกและมะเขือปลอดจากเชื้อไวรัส

### คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University Research and Development Institute, KURDI) และขอขอบคุณโครงการศูนย์เชื้อพันธุกรรมพืชแห่งประเทศไทย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้การสนับสนุนเมล็ดพันธุ์ในการทำวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2564ก. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องเงื่อนไขการนำเข้าเมล็ดพันธุ์พริก พ.ศ. 2563. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2021/01/ประกาศกรมวิชาการเกษตร-เรื่อง-เงื่อนไขการนำเข้าเมล็ดพันธุ์พริก-พ.ศ.-2563.pdf>. สืบค้น: 1 ตุลาคม 2567.
- กรมวิชาการเกษตร. 2564ข. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องเงื่อนไขการนำเข้าเมล็ดพันธุ์มะเขือ พ.ศ. 2563. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2021/01/ประกาศกรมวิชาการเกษตร-เรื่อง-เงื่อนไขการนำเข้าเมล็ดพันธุ์มะเขือ-พ.ศ.2563-1.pdf>. สืบค้น: 1 ตุลาคม 2567.
- คณินนิตย์ เจริญวรารกร. 2556. โรคพืชที่เกิดจากเชื้อไวรัส. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 164 หน้า.
- ปรีเชษฐ์ ตั้งกาญจนภาสน์ คณินนิตย์ เจริญวรารกร และวิภา เกิดพิพัฒน์. 2556. การตรวจวินิจฉัยเชื้อ *Columnea latent viroid* (CLVd) และ *Pepper chat fruit viroid* (PCFVd) ในพืชวงศ์ *Solanaceae*. วารสารวิชาการเกษตร. 31(2): 108-122.
- ปรีเชษฐ์ ตั้งกาญจนภาสน์ กาญจนา วาระวิชณี A. Haegeman M. Höfte และ K. De Jonghe. 2567. วิวัฒนาการของเชื้อ *Columnea latent viroid* (CLVd) ในพืชอาศัย โดยการศึกษา quasi-species population. วารสารวิชาการเกษตร. 42(3): 272-286.
- ชมภาร ภูวิชกรณ จิราพร ปอสูงเนิน สุภาพร กลิ่นคง และคณินนิตย์ เจริญวรารกร. 2562. การเข้าทำลายและการถ่ายทอดทางเมล็ดของ *Columnea latent viroid* ในพริก. วารสารเกษตร. 35(1): 101-111.

- Bhuvitarkorn, S and K. Reanwarakorn. 2019. Pollen and seed transmission of *Columnea latent viroid* in eggplants. *European Journal of Plant Pathology*. 154(4): 1067-1075.
- Chambers, G.A., A.M. Seyb, J. Mackie, F.E. Constable, B.C. Rodoni, D. Letham, K. Davis and M.J. Gibbs. 2013. First report of Pepper chat fruit viroid in traded tomato seed, an interception by Australian Biosecurity. *Plant Disease*. 97(10): 1386.
- Dall, D., L. Penrose, A. Daly, F. Constable and M. Gibbs. 2019. Prevalences of pospiviroid contamination in large seed lots of tomato and capsicum, and related seed testing considerations. *Viruses*. 11(11): 1034.
- Diener, T.O. 1987. *The Viroids*. Plenum Press, Inc., New York. 366 p.
- Ding, B. 2009. The biology of viroid-host interactions. *Annual Review of Phytopathology*. 47(1): 105-131.
- Flores, R., C. Hernandez, A.E. Emilio Martínez de Alba, J.A. Daros and F.D. Serio. 2005. Viroids and viroid-host interactions. *Annual Review of Phytopathology*. 43(1): 117-139.
- Hadidi, A., R. Flores, J.W. Randles and J.S. Semancik. 2003. *Viroids*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. 370 p.
- Hadidi, A., R. Flores, J.W. Randles and P. Palukaitis, 2017. *Viroids and Satellites*. Academic Press. 716 p.
- Kalantidis, K., M.A. Denti, S. Tzortzakaki, E. Marinou, M. Tabler and M. Tsagris. 2007. Virp1 is a host protein with a major role in *Potato spindle tuber viroid* infection in Nicotiana plants. *Journal of Virology*. 81(23): 12872-12880.
- Keyata, T., S. Sinhabandhu and K. Reanwarakorn. 2024. Symptoms and disease virulence assessment in commercial pepper cultivars caused by *Pepper chat fruit viroid*. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 131(6): 1935-1944.
- Kungwon, P., C. Netwong, S. Porsoongnoen and K. Reanwarakorn. 2022. *Chrysanthemum stunt viroid* as a protective viroid isolate against *Columnea latent viroid* and *Pepper chat fruit viroid* in tomato plants. *International Journal of Agricultural Technology*. 18(4): 1601-1618.
- Matsushita, Y. and S. Tsuda. 2015. Host ranges of *Potato spindle tuber viroid*, *Tomato chlorotic dwarf viroid*, *Tomato apical stunt viroid*, and *Columnea latent viroid* in horticultural plants. *European Journal of Plant Pathology*. 141(1): 193-197.
- Matsushita, Y. and S. Tsuda. 2016. Seed transmission of *Potato spindle tuber viroid*, *Tomato chlorotic dwarf viroid*, *Tomato apical stunt viroid*, and *Columnea latent viroid* in horticultural plants. *European Journal of Plant Pathology*. 145(4): 1007-1011.
- Reanwarakorn, K., S. Klinkong and J. Porsoongnurn. 2011. First report of natural infection of *Pepper chat fruit viroid* in tomato plant in Thailand. *New Disease Reports*. 24(6): 2044-0588.
- Steger, G., 2017. Modelling the three-dimensional structure of the right-terminal domain of pospiviroids. *Scientific Reports*. 7(1): 711.
- Verhoeven, J.T., C.C.C. Jansen, J.W. Roenhorst, R. Flores and M. de la Peña. 2009. *Pepper chat fruit viroid*: biological and molecular properties of a proposed new species of the genus *Pospiviroid*. *Virus Research*. 144(1-2): 209-214.
- Verhoeven, J.T.J., M. Botermans, C.C.C. Jansen and J.W. Roenhorst. 2011. First report of *Pepper chat fruit viroid* in capsicum pepper in Canada. *New Disease Reports*. 23(1): 15.
- Verhoeven, J.T.J., H.M.S. Koenraad, A. Jodlowska, L. Hüner and J.W. Roenhorst. 2020. Pospiviroid infections in *Capsicum annuum*: disease symptoms and lack of seed transmission. *European Journal of Plant Pathology*. 156(1): 21-29.
- Yanagisawa, H. and Y. Matsushita. 2017. Host ranges and seed transmission of *Tomato planta macho viroid* and *Pepper chat fruit viroid*. *European Journal of Plant Pathology*. 149(1): 211-217.
- Zhong, X., A.J. Archual, A.A. Amin and B. Ding. 2008. A genomic map of viroid RNA motifs critical for replication and systemic trafficking. *The Plant Cell*. 20(1): 35-47.

การวิเคราะห์ต้นทุนการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่านภายใต้  
พระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม

Cost Analysis of Import and Bring in Transit Permit under  
the Plant Quarantine Act B.E. 2507 and Amended

อังคณา สุวรรณกoot<sup>1/\*</sup> ศรีนวล บุญส่งศรี<sup>1/</sup> วทัญญู กลิ่นเนียม<sup>1/</sup>  
Angkana Suwannakoot<sup>1/\*</sup> Sreenual Bungsongsree<sup>1/</sup> Watanyoo Klinneam<sup>1/</sup>

*Received 30 Sep. 2024/Revised 7 Dec. 2024/Accepted 8 Dec. 2024*

### ABSTRACT

This study aimed to analyze the service cost of import and bring in-transit permit under the Plant Quarantine Act B.E. 2507 and amended and to find guidelines for controlling costs of Technical Groups, Office of Agricultural Regulation, Department of Agriculture. The study followed a structured approach in the fiscal year 2022, encompassing four main steps: 1) investigation of general information on import and bring in-transit permit services, 2) analysis of organizational structure to determine cost units, 3) calculation of unit costs for permit services, and 4) analysis of approaches to control service unit cost. The results of the study revealed that the unit cost of import- and bring in-transit permit services for prohibited articles was 248.44 Baht per issue. This cost was further broken down into direct costs (228.50 Baht) including labor (218.50 Baht) and material costs (10.01 Baht), and indirect costs (19.94 Baht) including indirect labor (14.16 Baht) and indirect material costs (5.48 Baht). No investment cost was incurred, as depreciation was calculated to be 0 Baht. The analysis of cost distribution indicated that total labor costs constituted the highest proportion, accounting for 93.65% for permits. In contrast, total material costs made up only 6.35% for the permit. This discrepancy was attributed to the electronic permit system, which streamlines the process from application submission to receiving the permit. The findings of this study emphasized the significance of implementing guidelines for controlling labor costs in service provision. Besides, the fees should be revised to reflect a more reasonable cost.

**Keywords:** service cost; permit; plant quarantine act

---

<sup>1/</sup> สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>1/</sup> Agricultural Regulation Office, 50 Phahonyothin Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

\* Corresponding author: ang.moac@gmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า นำผ่าน สิ่งต้องห้ามเพื่อการค้าภายใต้พระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม เพื่อหาแนวทางในการควบคุมต้นทุนของกลุ่มวิชาการ สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ดำเนินการวิจัยโดยใช้ข้อมูลของ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ศึกษาข้อมูลทั่วไปของการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน 2) วิเคราะห์โครงสร้างองค์กรเพื่อกำหนดหน่วยต้นทุน 3) การคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของการให้บริการออกใบอนุญาต และ 4) การวิเคราะห์แนวทางในการควบคุมต้นทุนของหน่วยให้บริการ ผลการศึกษา พบว่าการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน สิ่งต้องห้ามเพื่อการค้ามีต้นทุนต่อหน่วย 248.44 บาท/ฉบับ ซึ่งแบ่งเป็น ต้นทุนทางตรง 228.50 บาท (ต้นทุนค่าแรง 218.50 บาท และต้นทุนค่าวัสดุ 10.01 บาท) และต้นทุนทางอ้อม 19.94 บาท (ต้นทุนค่าแรงทางอ้อม 14.16 บาท และต้นทุนค่าวัสดุทางอ้อม 5.48 บาท) โดยไม่มีต้นทุนค่าลงทุน เนื่องจากคำนวณค่าเสื่อมราคาแล้วมีค่าเป็น 0 บาท ต้นทุนค่าแรงทั้งหมดมีสัดส่วนสูงสุด คือ 93.65% ในขณะที่ต้นทุนค่าวัสดุทั้งหมดมีเพียง 6.35% เนื่องจากระบบการออกใบอนุญาตได้ดำเนินการในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ตั้งแต่การยื่นคำขอจนถึงการรับใบอนุญาต ดังนั้นแนวทางในการควบคุมต้นทุนการให้บริการ จึงควรควบคุมต้นทุนค่าแรงเป็นสำคัญ และควรปรับปรุงอัตราค่าธรรมเนียมให้มีความเหมาะสม

**คำสำคัญ:** ต้นทุนการให้บริการ; ใบอนุญาต; กฎหมายกักพืช

## บทนำ

พระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ให้อำนาจพนักงานเจ้าหน้าที่ทำการควบคุมและ กักสินค้าพืชที่นำเข้า นำผ่าน เพื่อป้องกันการเข้ามาระบาดของศัตรูพืชตามที่ประกาศในกฎกระทรวง และควบคุมพืชที่ส่งออกไปนอกราชอาณาจักรด้วยการตรวจรับรองสุขอนามัยพืชตามเงื่อนไขของประเทศปลายทาง (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, ม.ป.ป.) กฎหมายฉบับดังกล่าวเป็นไปตามอนุสัญญาการอารักขาพืชระหว่างประเทศ (International Plant Protection Convention: IPPC) (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2562) ซึ่งประเทศไทยเป็นภาคีสมาชิก มีกรมวิชาการเกษตรทำหน้าที่เป็นหน่วยงานอารักขาพืชแห่งชาติ และกฎหมายฉบับดังกล่าวกำหนดให้ต้องวิเคราะห์ความเสี่ยงศัตรูพืชก่อนที่จะอนุญาตให้นำเข้า-นำผ่าน โดยออกเป็นประกาศกรมวิชาการเกษตรกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขให้ผู้ที่เกี่ยวข้องปฏิบัติตาม ภายใต้ความเห็นชอบของคณะกรรมการกักพืช โดยผู้ประกอบการจะต้องจ่ายค่าธรรมเนียมให้กับภาครัฐในการขอใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน ข้อกำหนดดังกล่าวจึงเป็นภาระต่อผู้ประกอบการทั้งด้านระยะเวลาและต้นทุนในการดำเนินการ ส่วนในภาครัฐนั้นก็มีส่วนเช่นกัน ซึ่งในการคำนวณต้นทุนของภาครัฐประกอบด้วย ต้นทุนทางตรง (direct cost) คือ ทรัพยากรที่ใช้ในการดำเนินการก่อให้เกิดผลผลิตของหน่วยงาน โดยรวมทรัพยากรที่เกิดจากทุกแหล่งเงินที่สามารถระบุได้ว่าเป็นต้นทุนของศูนย์ต้นทุนใด และต้นทุนทางอ้อม (indirect cost) เป็นต้นทุนที่ไม่สามารถระบุเข้าสู่ศูนย์ต้นทุนได้โดยตรง ต้องอาศัยเกณฑ์การปันส่วนในการระบุต้นทุนเข้าสู่ศูนย์ต้นทุน (สำนักงานมาตรฐานบัญชีของภาครัฐ, 2557)

สำหรับอัตราค่าธรรมเนียมการออกใบอนุญาตนำเข้า นำผ่าน สิ่งต้องห้ามเพื่อการค้าภายใต้พระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติมในปัจจุบันซึ่งประกาศใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 กำหนดค่าธรรมเนียมใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน ฉบับละ 100 บาท โดยไม่มีการปรับปรุง ต่อมาในปี พ.ศ. 2562 คณะกรรมการกักพืชเห็นชอบให้มีการปรับปรุงอัตราค่าธรรมเนียม แต่ฝ่ายนโยบายมีความเห็นว่าการปรับอัตราค่าธรรมเนียมเป็นการเพิ่มภาระให้กับประชาชนตามนัยมาตรา 6 แห่งพระราชบัญญัติการอำนวยความสะดวกในการพิจารณาอนุญาตของทางราชการ พ.ศ. 2558 กำหนดให้ทบหวนอัตราค่าธรรมเนียมทุก 5 ปี (พระราชบัญญัติการอำนวยความสะดวกฯ, 2558) และยุทธศาสตร์ชาติด้านการปรับสมดุลและพัฒนาระบบการบริหารจัดการภาครัฐ มีเป้าหมายเพื่อปรับเปลี่ยนภาครัฐที่ยึดหลัก “ภาครัฐของประชาชน เพื่อประชาชน และประโยชน์ส่วนรวม” ด้วยการนำระบบการทำงานที่เป็นดิจิทัลเข้ามาประยุกต์ใช้ให้มีความสะดวก รวดเร็ว โปร่งใส ปลอดภัยจากการทุจริตและประพฤติมิชอบ (สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา, 2562) ซึ่งกรมวิชาการเกษตรได้พัฒนาระบบการออกใบอนุญาตนำเข้า/ใบรับรองผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ในปีงบประมาณ 2562-2564 เพื่อรองรับการเป็นรัฐบาลดิจิทัล ตามนโยบายของรัฐบาล เนื่องจากอัตราค่าธรรมเนียมการออกใบอนุญาตนำเข้าเพิ่มเติมประกาศใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 อาจไม่สอดคล้องเหมาะสมกับระบบการออกใบอนุญาตนำเข้าผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน จำเป็นต้องมีการปรับปรุงและศึกษาต้นทุนในการให้บริการตามระบบใหม่ ดังนั้น จึงดำเนินการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาต้นทุนต่อหน่วยการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า นำผ่าน สิ่งต้องห้ามเพื่อการค้าภายใต้พระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไข

เพิ่มเติม นำมาใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงในการปรับปรุงอัตราค่าธรรมเนียม ใช้เป็นข้อเสนอแนะในเชิงนโยบายเพื่อปรับปรุงกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง และเป็นแนวทางในการลดต้นทุนของภาครัฐ รวมถึงใช้เป็นฐานในการคำนวณค่าบริการกรณีภาครัฐมีนโยบายถ่ายโอนภารกิจดังกล่าวในอนาคต

## อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาต้นทุนการให้บริการในมุมมองของผู้ให้บริการ มีการกำหนดประชากรที่ใช้ศึกษา เครื่องมือการวิจัย การรวบรวมข้อมูล และ วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

### 1. ประชากรที่ใช้ศึกษา

หน่วยงานของสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้าภายใต้พระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ตามแผนผังองค์กรของสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร ปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 โดยแบ่งออกเป็น 2 หน่วยต้นทุน ได้แก่ หน่วยต้นทุนหลัก 1 หน่วย และหน่วยต้นทุนสนับสนุน 2 หน่วย โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายของหน่วยต้นทุนในปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 (1 ต.ค. 2564 - 30 ก.ย. 2565)

### 2. วิธีการวิจัย

เก็บรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายทางบัญชีของหน่วยต้นทุนของสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตรแบบย้อนหลัง (retrospective) จากแผนปฏิบัติการในช่วงเวลาที่ศึกษา ระบบ GFMS และระบบ News DOA NSW ได้แก่ ต้นทุนค่าแรง ต้นทุนค่าวัสดุ ต้นทุนค่าลงทุน และข้อมูลการออกใบอนุญาตนำเข้า นำผ่าน ที่บันทึกในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** ศึกษาข้อมูลทั่วไปของการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน ทำการศึกษา รูปแบบขั้นตอน และปริมาณการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน ภายใต้พระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม

**ขั้นตอนที่ 2** วิเคราะห์โครงสร้างองค์กรเพื่อกำหนดหน่วยต้นทุน กำหนดหน่วยต้นทุนออกเป็น 2 ประเภท คือ หน่วยต้นทุนงานหลัก (functional cost center) ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน่วยผลิตหลักขององค์กร และหน่วยต้นทุนสนับสนุน (support cost center) ที่ทำหน้าที่สนับสนุนการผลิตผลผลิตขององค์กร

**ขั้นตอนที่ 3** การคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของการให้บริการออกใบอนุญาต ดังนี้

3.1 กำหนดเกณฑ์และอัตราปันส่วนต้นทุน (allocation criteria and rate) โดยวิธีการปันส่วนต้นทุน (allocation method) แบบการกระจายโดยตรง (สำนักมาตรฐานบัญชีของภาครัฐ, 2557) ตามเกณฑ์การปันส่วน 2 เกณฑ์ คือ (1) เกณฑ์การกระจายตามสัดส่วนจำนวนบุคลากรของหน่วยต้นทุนหลัก และ (2) เกณฑ์การกระจายตามสัดส่วนจำนวนชั่วโมงการทำงาน

3.2 ปันส่วนต้นทุน (indirect cost allocation) ทำการย้ายต้นทุนของหน่วยต้นทุนงานสนับสนุนของแต่ละหน่วยต้นทุน ไปยังหน่วยต้นทุนงานหลักตามลำดับ ดังนี้

(1) รวบรวมต้นทุนทางตรงทั้งหมด (total direct cost: TDC) ของแต่ละหน่วยต้นทุน ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนค่าแรง (labor cost: LC) ต้นทุนค่าวัสดุ (material cost: MC) ต้นทุนค่าลงทุน (capital cost: CC) โดยต้นทุนทางตรงทั้งหมด เท่ากับผลรวมของต้นทุนค่าแรง ต้นทุนค่าวัสดุ และต้นทุนค่าลงทุน ดังสมการที่ 1

$$TDC = LC + MC + CC \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ TDC = ต้นทุนทางตรงทั้งหมด

LC = ต้นทุนค่าแรง (ได้แก่ เงินเดือน เงินประจำตำแหน่ง ค่าตอบแทน เงินเพิ่ม พิเศษ เงินสมทบ ประกันสังคม ค่าล่วงเวลา ค่าป่วยการ ค่าเล่าเรียนบุตร ค่าเช่าบ้าน ค่ารักษาพยาบาล)

MC = ต้นทุนค่าวัสดุ (ได้แก่ ค่าสาธารณูปโภค ค่าเช่า ค่าจ้างเหมา ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าวัสดุ สำนักงาน และค่าใช้จ่ายอื่นๆ)

CC = ต้นทุนค่าลงทุน (ได้แก่ ค่าครุภัณฑ์ ค่าที่ดินและสิ่งปลูกสร้าง คิดค่าเสื่อมราคาของอาคาร โดยวิธีเส้นตรง กำหนดอายุการใช้งาน 40 ปี คิดค่าเสื่อมราคาตามสัดส่วนของพื้นที่การใช้งาน สำหรับค่าเสื่อมราคาครุภัณฑ์สำนักงาน โดยวิธีเส้นตรง กำหนดอายุการใช้งานตามกรมบัญชีกลาง)

(2) ย้ายต้นทุนทางตรงทั้งหมด ของหน่วยงานสนับสนุนไปยังแต่ละหน่วยต้นทุนหลักตามเกณฑ์และอัตราการปันส่วนต้นทุน โดยต้นทุนที่ย้ายไปนั้นจะกลายเป็นต้นทุนทางอ้อมทั้งหมด (indirect cost: IDC) ของหน่วยต้นทุนงานหลัก

(3) คำนวณต้นทุนรวมทั้งหมด (total full cost: TFC) ของแต่ละหน่วยต้นทุนงานหลัก ซึ่งเป็นผลรวมของต้นทุนทางตรงทั้งหมด และต้นทุนทางอ้อมทั้งหมด ดังสมการที่ 2

$$TFC = TDC + IDC \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ TFC = ต้นทุนรวมทั้งหมด

TDC = ต้นทุนทางตรงทั้งหมด (ต้นทุนที่เกิดขึ้นกับหน่วยต้นทุนงานใบอนุญาต กลุ่มวิชาการ)

IDC = ต้นทุนทางอ้อมทั้งหมด (ต้นทุนที่เกิดขึ้นโดยอ้อมจากการปันส่วนต้นทุนจากหน่วยต้นทุนงานสนับสนุน)

3.3 คำนวณต้นทุนการให้บริการต่อหน่วย (unit cost calculation) คำนวณจากต้นทุนรวมทั้งหมดหารด้วยจำนวนผลผลิต มีหน่วยเป็น บาท/ฉบับ ดังสมการที่ 3

$$UC = \frac{TFC}{OP} \dots\dots\dots (3)$$

เมื่อ UC = ต้นทุนต่อหน่วย

TFC = ต้นทุนรวมทั้งหมด

OP = ผลผลิต

**ขั้นตอนที่ 4** การวิเคราะห์แนวทางในการควบคุมต้นทุนของหน่วยให้บริการ คำนวณสัดส่วนร้อยละของต้นทุนการให้บริการออกใบอนุญาตต่อหน่วย ตามประเภทของต้นทุน ได้แก่ ต้นทุนค่าแรงรวมทั้งหมด (total full labor cost: TFLC) ต้นทุนค่าวัสดุรวมทั้งหมด (total full material cost: TFMC) และ ต้นทุน ค่าลงทุนรวมทั้งหมด (total full capital cost: TFLC) นำมาวิเคราะห์ประเภทของต้นทุนที่ต้องควบคุม

**3. การวิเคราะห์ข้อมูล**

วิเคราะห์เชิงพรรณนา (description method) ได้แก่ รูปแบบและขั้นตอนการออกใบอนุญาต โครงสร้างหน่วยงาน เพื่ออธิบายรายละเอียดของการให้บริการออกใบอนุญาต รวมถึงบทบาทและภารกิจของหน่วยงาน และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative method) ได้แก่ ต้นทุนค่าแรง ต้นทุนค่าวัสดุ และต้นทุนค่าลงทุน เพื่อศึกษาต้นทุนการให้บริการออกใบอนุญาต และวิเคราะห์แนวทางในการควบคุมต้นทุน

**ผลการทดลองและวิจารณ์**

**1. ข้อมูลทั่วไปของการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน**

ข้อกำหนดทางกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการออกใบอนุญาตนำสิ่งต้องห้ามเข้ามาในราชอาณาจักรเพื่อการค้า (พ.ก. 2-1) และใบอนุญาตนำผ่านราชอาณาจักรซึ่งสิ่งต้องห้าม (พ.ก. 4-1) (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, ม.ป.ป.) สรุปดังนี้

มาตรา 4 ของพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม กำหนดคำนิยามของ สิ่งต้องห้าม สิ่งกักต และสิ่งไม่ต้องห้าม ดังนี้

“สิ่งต้องห้าม” หมายความว่า พืช ศัตรูพืช และพาหะที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษาให้เป็นสิ่งต้องห้าม โดยสิ่งต้องห้าม อาจเป็น พืช ศัตรูพืช หรือพาหะก็ได้ โดยรัฐมนตรีประกาศ ชื่อ พืช ชื่อศัตรูพืช หรือชื่อพาหะชนิดหนึ่งชนิดใดในราชกิจจานุเบกษากำหนดให้เป็นสิ่งต้องห้าม (มาตรา 6) การประกาศกำหนดสิ่งใดเป็นสิ่งต้องห้ามถือหลักเกณฑ์ การพิจารณา โดยถ้าเป็นพืชต้องเป็นพืชที่อาศัยของศัตรูพืชกักกัน หรือถ้าเป็นศัตรูพืชต้องเป็นศัตรูพืชที่มีความสำคัญทางกักกันพืชและยังไม่มีในประเทศ หรือมีในประเทศแต่อยู่ภายใต้มาตรการควบคุม และถ้าเป็นพาหะต้องเป็นพาหะชนิดที่เชื่อได้ว่าสามารถเป็น สื่อนำศัตรูพืชกักกัน

“สิ่งกักต” หมายความว่า พืช ศัตรูพืช และพาหะที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษาให้เป็นสิ่งกักต โดยสิ่งกักต อาจจะเป็นพืช ศัตรูพืช หรือพาหะก็ได้ โดยรัฐมนตรีประกาศ ชื่อ พืช ชื่อศัตรูพืช หรือชื่อพาหะในราชกิจจานุเบกษาให้เป็น สิ่งกักต (มาตรา 6) การประกาศกำหนดสิ่งใดเป็น สิ่งกักตถือหลักเกณฑ์การพิจารณา พิจารณาโดยถ้า

เป็นพืชต้องเป็นพืชที่ไม่เป็นพืชอาศัยของศัตรูพืช กักกัน หรือถ้าเป็นศัตรูพืชต้องเป็นศัตรูพืชที่ไม่เป็น ศัตรูพืชกักกัน และถ้าเป็นพาหะต้องเป็นพาหะที่เชื่อ ได้ว่าไม่สามารถเป็นสื่อนำศัตรูพืชกักกัน

“สิ่งไม่ต้องห้าม” หมายความว่า พืชอย่างอื่น ที่ไม่เป็นสิ่งต้องห้ามหรือสิ่งกักกัน ดังนั้น สิ่งไม่ต้องห้าม ได้แก่ บรรดาพืช (เฉพาะพืชเท่านั้น) ชนิดต่าง ๆ ที่ไม่ได้ ประกาศกำหนดเป็นสิ่งต้องห้ามหรือสิ่งกักกัน

สำหรับหลักเกณฑ์ในการนำเข้าสิ่งต้องห้าม สิ่งกักกัน และสิ่งไม่ต้องห้าม เป็นไปตามประกาศ กรมวิชาการเกษตร เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการ และ เงื่อนไขการนำเข้าหรือนำผ่านซึ่งสิ่งต้องห้าม สิ่งกักกัน และสิ่งไม่ต้องห้าม พ.ศ. 2551 และประกาศกรม วิชาการเกษตร เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไข การนำเข้าหรือนำผ่านซึ่งสิ่งต้องห้าม สิ่งกักกัน และ สิ่งไม่ต้องห้าม พ.ศ.2551 (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2565 ซึ่งกำหนดให้การนำเข้าและนำผ่านสิ่งต้องห้ามเพื่อ การค้า จะต้องขอใบอนุญาตนำเข้า (พ.ก. 2-1) หรือ ใบอนุญาตนำผ่าน (พ.ก. 4-1) โดยสิ่งต้องห้ามที่ อนุญาตให้นำเข้าต้องผ่านการวิเคราะห์ความเสี่ยง ศัตรูพืชตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดี กำหนดแล้ว ซึ่งผู้ที่ประสงค์จะยื่นคำขอรับใบอนุญาต นำเข้า-นำผ่าน โดยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ ให้ปฏิบัติ ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร ว่าด้วยหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขการนำเข้า นำผ่านหรือนำเข้า เพื่อการ ส่งต่อซึ่งสิ่งต้องห้าม สิ่งกักกัน และสิ่งไม่ต้องห้าม ตามพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไข เพิ่มเติม โดยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. 2559

ระบบการออกใบอนุญาตนำเข้า/นำผ่านแบบ อิเล็กทรอนิกส์ ภายใต้ความรับผิดชอบของสำนักควบคุม พืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร โดย กลุ่มวิชาการ ดำเนินการเชื่อมต่อกับระบบ National Single Window (NSW) ของประเทศ ในปี พ.ศ. 2559

โดยเป็นระบบกึ่งอิเล็กทรอนิกส์ ยังไม่สามารถ ดำเนินการอย่างเต็มรูปแบบได้ การเข้าใช้บริการ ของผู้ประกอบการยังจำเป็นต้องยื่นข้อมูลในลักษณะ เอกสารและใบอนุญาตออกในรูปแบบของเอกสารมี เพียงการเชื่อมโยงข้อมูลใบอนุญาตในรูปแบบ อิเล็กทรอนิกส์ ระยะเวลาดำเนินการสำหรับการออก ใบอนุญาตเฉพาะ แบบ พ.ก. 2-1 ที่ไม่มีเงื่อนไขในการ ตรวจโรงงานก่อนออกใบอนุญาต และแบบ พ.ก. 4-1 ใช้เวลาดำเนินการประมาณ 4-5 วันทำการ และการ ชำระค่าธรรมเนียมยังไม่สามารถดำเนินการผ่านระบบ e-Payment ได้

จากปัญหาและอุปสรรคดังกล่าว ส่งผลให้ สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร ดำเนินการ พัฒนาระบบบูรณาการและปรับปรุงประสิทธิภาพการ เชื่อมโยงข้อมูลแบบอิเล็กทรอนิกส์ของใบรับรอง ใบอนุญาตนำเข้า นำผ่าน ส่งออก พืช ผลิตภัณฑ์ และ บัญชีการผลิตทางการเกษตรผ่านระบบ NSW ซึ่งเป็นการพัฒนาระบบทั้งในส่วนของผู้ผลิตตามกฎหมาย ว่าด้วยกักพืช พันธุ์พืช ปุ๋ย และวัตถุอันตราย ที่ กรมวิชาการเกษตรรับผิดชอบ รวมไปถึงระบบของ สารวัตรเกษตร จึงทำให้เป็นระบบที่มีความสลับซับซ้อน ในการพัฒนา เริ่มดำเนินการในปี พ.ศ. 2562 โดย พัฒนาระบบในลักษณะของการลงทะเบียน ณ จุดเดียว หรือ single sign on (SSO) ทั้งพนักงานเจ้าหน้าที่ ผู้ประกอบการ และผู้เกี่ยวข้อง เป็นการอำนวยความสะดวก ในการเข้าใช้งานระบบ ทำการเชื่อมโยง ฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกใน การเข้าใช้งานและข้อมูลมีความปลอดภัย

การเชื่อมโยงฐานข้อมูลดังกล่าว ทำให้ ผู้ใช้บริการที่เป็นผู้ประกอบการไม่ต้องยื่นข้อมูลเป็น เอกสาร แต่เป็นการเชื่อมโยงและตรวจสอบข้อมูล ผ่านระบบที่เกี่ยวข้อง โดยสอดคล้องกับนโยบาย รัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์และเป็นไปตามมาตรการ

ควบคุมการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ซึ่งเปิดใช้ระบบเมื่อวันที่ 1 ก.พ. 2564 ผู้ประกอบการสามารถเข้าใช้บริการระบบดังกล่าวได้ทาง <https://nsw.doa.go.th/nsw> หรือเข้าผ่านเว็บไซต์ของกรมวิชาการเกษตร ในขั้นตอนแรกผู้ประกอบการต้องลงทะเบียนเข้าใช้งาน เพื่อให้ได้บัญชีผู้ใช้งาน (username) และรหัสผ่าน (password) และสื่อสารระหว่างกันผ่านทางอีเมลที่แจ้งไว้กับระบบ จากนั้นจึงเลือกเข้าใช้บริการระบบใบอนุญาต และระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งยังสามารถมอบอำนาจ กำหนดสิทธิให้ผู้เกี่ยวข้องดำเนินการแทนได้ด้วยตนเอง เมื่อเลือกใช้งานระบบใบอนุญาตตามกฎหมายกักพืชแล้ว ผู้ประกอบการสามารถยื่นคำขอแบบอิเล็กทรอนิกส์เต็มรูปแบบ โดยไม่ต้องยื่นเป็นเอกสาร มีระบบการโต้-ตอบระหว่างพนักงานเจ้าหน้าที่กับผู้ประกอบการ และสามารถตรวจสอบสถานะของการดำเนินการได้ตลอด 24 ชั่วโมง ในขณะที่การปฏิบัติงานของพนักงานเจ้าหน้าที่จะดำเนินการภายในวันและเวลาราชการตามที่กฎหมายกำหนดเป้าหมายของการพัฒนาระบบออกใบอนุญาตนำเข้า/นำผ่าน ให้สามารถให้บริการผู้ประกอบการได้ภายใน 1 วันทำการ จากเดิม 4-5 วันทำการ โดยใบอนุญาตนำเข้า/นำผ่านดังกล่าวเชื่อมโยงกับระบบการแจ้งนำเข้าของด่านตรวจพืชและระบบการใบขนของกรมศุลกากร ซึ่งสามารถทำการตรวจสอบความถูกต้องของใบอนุญาตนำเข้า/นำผ่าน ผ่านระบบ NSW โดยตรง ทำให้เกิดความแม่นยำสูง ลดระยะเวลาในการตรวจสอบระหว่างกัน

## 2. การวิเคราะห์โครงสร้างองค์กรเพื่อกำหนดหน่วยต้นทุน

หน่วยต้นทุนของสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร ประกอบด้วย 9 หน่วยต้นทุน แบ่งตามผลผลิตหลัก จำนวน 7 หน่วยต้นทุนงานหลัก ได้แก่ กลุ่มควบคุมปุ๋ย (F1) กลุ่มควบคุมวัตถุอันตราย (F2)

กลุ่มควบคุมพันธุ์พืช (F3) กลุ่มสารวัตรเกษตร (F4) กลุ่มบริการส่งออกสินค้าเกษตร (F5) กลุ่มวิชาการ (F6) และด่านตรวจพืช (F7) และหน่วยต้นทุนสนับสนุนจำนวน 2 หน่วยต้นทุนสนับสนุน ได้แก่ ฝ่ายบริหารทั่วไป (S1) และกลุ่มบริหารโครงการวิจัย (S2)

## 3. การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยการให้บริการ

ต้นทุนต่อหน่วยการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน ภายใต้พระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

### 3.1 ต้นทุนทางตรงทั้งหมด

หน่วยต้นทุนหลักที่มีต้นทุนทางตรงมากที่สุดคือ ด่านตรวจพืช 40,556,173 บาท รองลงมาคือกลุ่มบริการส่งออกสินค้าเกษตร 13,574,828 บาท กลุ่มควบคุมวัตถุอันตราย 12,433,830 บาท กลุ่มควบคุมปุ๋ย 5,271,115 บาท กลุ่มสารวัตรเกษตร 3,894,833 บาท กลุ่มวิชาการ 3,615,937 บาท และกลุ่มควบคุมพันธุ์พืช 2,739,502 บาท ส่วนหน่วยต้นทุนสนับสนุนที่มีต้นทุนทางตรงมากที่สุดคือ ฝ่ายบริหารทั่วไป 13,710,432 บาท รองลงมาคือ กลุ่มบริหารโครงการวิจัย 727,932 บาท (Table 1)

เมื่อพิจารณาเฉพาะหน่วยต้นทุนหลักในส่วนที่เกี่ยวข้องกับใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน คือ กลุ่มวิชาการ มีต้นทุนทางตรงรวมทั้งหมด 3,615,937 บาท โดยจำแนกเป็นต้นทุนค่าแรงของบุคลากร 10 คน รวม 3,422,627 บาท และต้นทุนค่าวัสดุรวม 193,310 บาท โดยไม่มีต้นทุนค่าลงทุนรวม เนื่องจากค่าครุภัณฑ์คอมพิวเตอร์ที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี เช่นเดียวกับโต๊ะ/เก้าอี้/ตู้เอกสาร ที่มีอายุใช้งานมากกว่า 10 ปี เมื่อคำนวณค่าเสื่อมราคา จึงมีค่า 0 บาท และค่าที่ดินและสิ่งปลูกสร้างในส่วนของอาคารสำนักงานที่มีอายุมากกว่า 40 ปี เมื่อคำนวณค่าเสื่อมราคา จึงมีค่า 0 บาท สำหรับต้นทุนค่าแรงดังกล่าว ประกอบด้วย ข้าราชการระดับชำนาญการ

พิเศษ 1 คน ระดับปฏิบัติการ 2 คน พนักงานราชการ  
ประเภทวิชาการ 6 คน และ ประเภททั่วไป 1 คน จึง  
ส่งผลให้ต้นทุนค่าแรงสูงตามอัตราเงินเดือน โดยใน

กระบวนการออกใบอนุญาตในปัจจุบัน ยังมีความ  
จำเป็นที่จะต้องใช้พนักงานเจ้าหน้าที่ทำการตรวจสอบ  
เอกสารประกอบการยื่นคำขอผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์

**Table 1** Total direct cost (TDC) of the Office of Agricultural Regulation

Cost unit	LC (Baht/year)	MC (Baht/year)	CC (Baht/year)	TDC (Baht/year)
Functional cost centers				
F1 Fertilizer Control Group	4,610,206	660,909		5,271,115
F2 Hazard Substance Control Group	11,894,380	539,450		12,433,830
F3 Plant Variety Control Group	2,047,222	692,280		2,739,502
F4 Agricultural Inspection Group	3,210,793	684,040		3,894,833
F5 Agricultural Export Service Group	12,599,494	975,334		13,574,828
F6 Technical Group	3,422,627	193,310		3,615,937
F7 Plant Quarantine Station	21,762,655	2,810,218	15,983,300	40,556,173
Support cost centers				
S1 General Administration Division	9,735,702	3,974,730		13,710,432
S2 Research Project Administration	695,010	32,922		727,932
Group				

Note: LC = labor cost, MC = material cost, CC = capital cost, TDC = total direct cost

### 3.2 ต้นทุนทางอ้อมโดยรวม (Total indirect cost: TIDC)

เป็นผลจากการย้ายต้นทุนทางตรงทั้งหมด  
ของหน่วยต้นทุนงานสนับสนุนไปยังแต่ละหน่วยงาน  
หลักตามเกณฑ์และอัตราปันส่วนต้นทุน เพื่อให้ได้  
ต้นทุนทางอ้อมโดยรวม ประกอบด้วย ต้นทุนค่าแรง  
ทางอ้อม (labor indirect cost: LIC) ต้นทุนค่าวัสดุ  
ทางอ้อม (material indirect cost: MIC) และต้นทุน  
ค่าลงทุนทางอ้อม (capital indirect cost: CIC) พบว่า  
หน่วยต้นทุนงานหลักที่มีต้นทุนทางอ้อมสูงสุด คือ  
ด่านตรวจพืช 10,398,515 บาท รองลงมา คือ กลุ่ม  
บริการส่งออกสินค้าเกษตร 1,314,699 บาท กลุ่ม  
ควบคุมวัตถุอันตราย 626,047 บาท กลุ่มสารวัตร

เกษตร 532,140 บาท และกลุ่มควบคุมพันธุ์พืช  
กับกลุ่มวิชาการ กลุ่มละ 313,024 บาท (Table 2)  
ผลการศึกษาดังกล่าว สอดคล้องกับจำนวนข้าราชการ  
และพนักงานราชการที่ปฏิบัติงานในแต่ละหน่วย  
ต้นทุน โดยด่านตรวจพืชมีจำนวนมากที่สุด จึงมีการ  
ปันส่วนต้นทุนสูงสุด

### 3.3 ต้นทุนรวมทั้งหมด

เป็นต้นทุนรวมทั้งหมดของหน่วยต้นทุนงาน  
หลัก เป็นผลจากการรวมต้นทุนทางตรงทั้งหมด กับ  
ต้นทุนทางอ้อมโดยรวม ที่ได้จากการปันส่วนอัตรา  
ต้นทุนทางตรงของหน่วยต้นทุนงานสนับสนุน พบว่า  
ต้นทุนรวมทั้งหมดของหน่วยต้นทุนหลัก เรียงลำดับ  
จากมากไปน้อย ดังนี้ ด่านตรวจพืช 50,954,688 บาท

กลุ่มบริการส่งออกสินค้าเกษตร 14,889,527 บาท กลุ่มควบคุมวัตถุอันตราย 13,059,877 บาท กลุ่มควบคุมปุ๋ย 5,740,651 บาท กลุ่มสารวัตรเกษตร 4,426,973 บาท กลุ่มวิชาการ 3,928,960 บาท และกลุ่มควบคุมพันธุ์พืช 3,021,223 บาท (Table 3) จากต้นทุนรวมทั้งหมดของกลุ่มวิชาการ คือ 3,928,960 บาท และการปันส่วนต้นทุนโดยพิจารณาจากสัดส่วนการให้บริการที่เกี่ยวข้องกับการออกใบอนุญาต

หน่วยต้นทุนที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย 2 หน่วย คือ (1) งานบริการใบอนุญาต (F6.1.1) จำนวน 311,885 บาท และ (2) งานใบอนุญาต (F6.5) จำนวน 980,496 บาท รวมเป็นต้นทุนรวมทั้งหมด 1,292,381 บาท ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์การให้บริการออกใบอนุญาตและการวิเคราะห์หน่วยต้นทุน

**Table 2** Total indirect cost (TIDC) of the Office of Agricultural Regulation

Cost unit	LIC (Baht/year)	MIC (Baht/year)	CIC (Baht/year)	TIDC (Baht/year)
Functional cost centers				
F1 Fertilizer Control Group	333,414	136,121		469,535
F2 Hazard Substance Control Group	444,553	181,495		626,047
F3 Plant Variety Control Group	222,276	90,747		313,024
F4 Agricultural Inspection Group	377,870	154,270		532,140
F5 Agricultural Export Service Group	933,560	381,138		1,314,699
F6 Technical Group	222,276	90,747		313,024
F7 Plant Quarantine Station	6,423,785	3,974,730		10,398,515

Note: LIC = labor indirect cost, MIC = material indirect cost, CIC = capital indirect cost, TIDC = total indirect cost

### 3.4 ต้นทุนการให้บริการ

เป็นการคิดต้นทุนต่อหน่วยของการให้บริการสำหรับหน่วยงานต้นทุนหลักที่เกี่ยวข้องกับการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน คือ กลุ่มวิชาการเฉพาะส่วนงานบริการใบอนุญาต (F6.1.1) ของผู้อำนวยการกลุ่ม จำนวน 311,885 บาท (ต้นทุนค่าแรงทางตรง 297,025 บาท ต้นทุนค่าวัสดุทางตรง 5,049 บาท ต้นทุนค่าแรงทางอ้อม 6,966 บาท และต้นทุนค่าวัสดุทางอ้อม 2,844 บาท) และงานใบอนุญาต (F6.5) จำนวน 980,496 บาท (ต้นทุนค่าแรงทางตรง 839,589 บาท ต้นทุนค่าวัสดุทางตรง 47,000 บาท ต้นทุนค่าแรงทางอ้อม 66,683 บาท

และต้นทุนค่าวัสดุทางอ้อม 27,224 บาท) รวมเป็นต้นทุนรวมทั้งหมด 1,292,381 บาท ในช่วงเวลาที่ศึกษา มีการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่านรวม 5,202 ฉบับ ค่าธรรมเนียมฉบับละ 100 บาท คิดเป็น 520,200 บาท ดังนั้น เมื่อนำต้นทุนรวมทั้งหมดคิดเป็นต้นทุนการให้บริการจึงเป็น 248.43 บาท/ฉบับ โดยจำแนกเป็นต้นทุนค่าแรงทั้งหมด 232.65 บาท คิดเป็น 93.65% และต้นทุนค่าวัสดุทั้งหมด 15.78 บาท คิดเป็น 6.35% (Table 4) ซึ่งต้นทุนการให้บริการดังกล่าวสูงกว่าค่าธรรมเนียมที่จัดเก็บฉบับละ 148.43 บาท ผลการศึกษาดังกล่าว จึงเป็นการคำนวณต้นทุนฐานกิจกรรม (activity-based costing system)

ตามแนวทางของ สำนักมาตรฐานบัญชีของภาครัฐ (2557) โดยการปันส่วนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเข้าสู่กิจกรรมที่เกี่ยวข้อง อาศัยตัวผลักดันต้นทุน (cost driver) ที่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมที่เกิดขึ้น แล้วจึงคำนวณต้นทุนเข้าสู่ตัวผลิตภัณฑ์หรือบริการ หรือสิ่งที่

ต้องการคิดต้นทุน (cost object) โดยใช้การปันส่วนแบบตรง (direct allocation method) ซึ่งเป็นการปันส่วนให้แก่หน่วยงานหลักโดยตรง ตามสัดส่วนที่ให้บริการแก่หน่วยงานหลัก

**Table 3** Total full cost (TFC) of the Office of Agricultural Regulation

Cost unit	TDC (Baht/year)	TIDC (Baht/year)	TFC (Baht/year)
Functional cost centers			
F1 Fertilizer Control Group	5,271,115	469,535	5,740,651
F2 Hazard Substance Control Group	12,433,830	626,047	13,059,877
F3 Plant Variety Control Group	2,739,502	313,024	3,021,223
F4 Agricultural Inspection Group	3,894,833	532,140	4,426,973
F5 Agricultural Export Service Group	13,574,828	1,314,699	14,889,527
F6 Technical Group	3,615,937	313,024	3,928,960
F6.1 Head of Technical Group	963,830	31,302	995,132
<b>F6.1.1 Permit Service</b>	<b>302,074</b>	<b>9,810</b>	<b>311,885</b>
F6.1.2 Others Service	661,756	21,492	683,248
F6.2 Administration Section	460,078	62,605	522,683
F6.3 Secretary Section	647,620	62,605	710,225
F6.4 Technical Section	657,820	62,605	720,425
<b>F6.5 Permit Section</b>	<b>886,589</b>	<b>93,907</b>	<b>980,496</b>
F7 Plant Quarantine Station	40,556,173	10,398,515	50,954,688

Note: TDC = total direct cost, TIDC = total indirect cost, TFC = total full cost

**Table 4** Unit cost of permit service cost

Cost type	TFC (Baht/year)	No. of permit per year	Service cost (Baht/issue)	Percentage (%)
Import/Bring in transit permit		5,202		
1. Labor cost	1,210,263		232.65	93.65
2. Material cost	82,117		15.78	6.35
3. Capital cost				
Total	1,292,381		248.43	100

Note: TFC = total full cost

#### 4. การวิเคราะห์แนวทางในการควบคุมต้นทุนของหน่วยให้บริการ

จากสัดส่วนของต้นทุนการให้บริการของกลุ่มวิชาการต่อการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน มีสัดส่วนของต้นทุนค่าแรงทั้งหมดสูงสุด 93.65% ในขณะที่ต้นทุนค่าวัสดุรวมทั้งหมด 6.35% โดยไม่มีสัดส่วนของต้นทุนค่าลงทุนรวมทั้งหมด เนื่องจากอายุการใช้งานมากกว่าจนมีมูลค่าเป็น 0 บาท และเป็นไปในทำนองเดียวกันกับผลการศึกษาดำเนินงานของระบบ NSW ของไทยของ สกุนนิษฐ์และมนตรี (2567) ที่พบว่า มีการใช้งานระบบ NSW และการดำเนินการตามกระบวนการนำเข้าและการส่งออกสินค้าส่วนใหญ่ใกล้เสร็จสมบูรณ์ ส่งผลดีต่อผู้ใช้งานและหน่วยงานผู้ให้บริการ ช่วยลดต้นทุนและเวลา รวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพ แต่ยังมีบางจุดที่ต้องปรับปรุง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประสานงานระหว่างหน่วยงานที่ต้องมีการแบ่งปันกระบวนการและข้อมูล การปรับปรุงความเสถียรของระบบสอดคล้องกับระบบการให้บริการออกใบอนุญาตที่ได้รับการพัฒนาเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ทั้งระบบ จึงส่งผลให้ต้นทุนรวมค่าวัสดุ มีสัดส่วนเพียง 6.35% สอดคล้องกับ สำนักงบประมาณของรัฐบาล (2565) ที่พบว่า งบประมาณรายจ่ายประจำปีส่วนใหญ่เป็นสัดส่วนงบประมาณที่ใช้สำหรับด้านบุคลากร คิดเป็น 40.30% ของงบประมาณทั้งหมดหรือในทำนองเดียวกันกับการศึกษาของ ศุภมาสและคณะ (2564) ที่รายงานว่า ต้นทุนรวมกิจกรรมบริการการตรวจวินิจฉัยภาวะสมองเสื่อมต่อราย มีค่า 4,646.68 บาท มีสัดส่วนต้นทุน ค่าแรง: ค่าวัสดุ: ค่าลงทุน คิดเป็น 95.41 : 4.23 : 0.36 จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่า งานบริการของภาครัฐมีสัดส่วนต้นทุนค่าแรงสูงสุด ดังนั้น แนวทางในการควบคุมต้นทุน จึงควรควบคุมต้นทุนค่าแรงซึ่งมีสัดส่วนสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับต้นทุนการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน

ของกลุ่มวิชาการ ที่มีสัดส่วนของค่าแรงมากที่สุด รองลงมาคือค่าวัสดุ แสดงให้เห็นว่า งานบริการของภาครัฐมีสัดส่วนต้นทุนค่าแรงสูงสุด

#### 5. ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

อัตราค่าธรรมเนียมแนบท้ายพระราชบัญญัติ กักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม กำหนดอัตราค่าธรรมเนียมสูงสุด ฉบับละ 200 บาท ดังนั้น จึงควรปรับปรุงอัตราค่าธรรมเนียมให้มีความเหมาะสม สอดคล้องกับต้นทุนการให้บริการ และควรพิจารณาปรับปรุงอัตราค่าธรรมเนียมแนบท้ายฯ ให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบัน รวมถึงการพัฒนาระบบใบอนุญาตอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความสามารถในการตรวจสอบความถูกต้องของเอกสารแบบอัตโนมัติ เพื่อลดค่าแรงในการดำเนินการ และสามารถนำต้นทุนการให้บริการดังกล่าวเป็นฐานในการคำนวณค่าบริการกรณีภาครัฐมีนโยบายถ่ายโอนภารกิจดังกล่าวในอนาคต

#### สรุปผลการทดลอง

การศึกษาต้นทุนต่อหน่วยการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน สิ่งต้องห้ามเพื่อการค้า ภายใต้พระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม พบว่า หน่วยต้นทุนหลักในการให้บริการ คือ กลุ่มวิชาการ สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร ในปีงบประมาณ 2565 มีการให้บริการออกใบอนุญาตนำเข้า-นำผ่าน รวม 5,202 ฉบับ ต้นทุนต่อหน่วยของการให้บริการ 248.44 บาท/ฉบับ แบ่งเป็นต้นทุนทางตรง 228.50 บาท (ต้นทุนค่าแรง 218.50 บาท และต้นทุนค่าวัสดุ 10.01 บาท) และต้นทุนทางอ้อม 19.94 บาท (ต้นทุนค่าแรงทางอ้อม 14.16 บาท และต้นทุนค่าวัสดุทางอ้อม 5.48 บาท) โดยไม่มีต้นทุนค่าลงทุน เนื่องจากคำนวณค่าเสื่อมราคาแล้วมีค่า 0 บาท ซึ่งจากสัดส่วนของต้นทุนค่าแรงทั้งหมดมีสัดส่วน

สูงสุด คือ 93.65% ในขณะที่ต้นทุนค่าวัสดุทั้งหมด มีเพียง 6.35% ดังนั้น แนวทางในการควบคุมต้นทุน จึงควรควบคุมต้นทุนค่าแรงซึ่งมีสัดส่วนสูงที่สุด และ ควรปรับปรุงอัตราค่าธรรมเนียมให้มีความเหมาะสม

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณนายภัสชญภณ หมื่นแจ้ง นาง วลัยกร รัตนเดชากุล ผศ.ดร. ศักดิ์ศรี รักษาไทย ตลอดจน เจ้าหน้าที่กลุ่มระบบวิจัย กลุ่มติดตามและประเมินผล กองแผนงานและวิชาการ กองคลัง กรมวิชาการเกษตร ฝ่ายบริหารทั่วไป สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการ ดำเนินการ และสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำหรับทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (fundamental fund) ปีงบประมาณ 2565-2566 ที่ สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการ

### เอกสารอ้างอิง

พระราชบัญญัติการอำนวยความสะดวกฯ. 2558. พระราชบัญญัติ การอำนวยความสะดวกในการพิจารณาอนุญาตของทาง ราชการ พ.ศ. 2558. ใน: ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 132 ตอนที่ 4 ก ลงวันที่ 22 มกราคม 2558.

ศุภมาส อ่ำพล นิตยา เพ็ญศิริินภา และพรทิพย์ กิระพงษ์. 2564. การวิเคราะห์ต้นทุนกิจกรรมการบริการตรวจ วินิจฉัยภาวะสมองเสื่อมในงานผู้ป่วยนอก. โรงพยาบาล ประสาทเชียงใหม่. วารสารวิชาการสาธารณสุขชุมชน. 7(2): 62-71.

สฤณีชัย โพธิพันธ์ และมนตรี โสคติยานุรักษ์ . 2567. ความ ก้าวหน้าในการพัฒนาระบบหน้าต่างเดียวของประเทศ ไทย สถานะปัจจุบันและการพัฒนา. RMUTT Global Business and Economics Review. 19 (1): 111-133.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. ม.ป.ป. พระราชบัญญัติ กักพืช พ.ศ. 2507 แก้ไขเพิ่มเติมโดย พระราชบัญญัติ กักพืช (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2542 และพระราชบัญญัติ กักพืช (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2551. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์ การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ. 73 หน้า.

สำนักงบประมาณของรัฐสภา. 2565. วิเคราะห์ร่าง พระราชบัญญัติงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566. แหล่งข้อมูล: [https://www.parliament.go.th/ewtadmin/ewt/parbudget/ewt\\_dl\\_link.php?nid=1136](https://www.parliament.go.th/ewtadmin/ewt/parbudget/ewt_dl_link.php?nid=1136). สืบค้น: 20 กรกฎาคม 2566.

สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา. 2562. ประกาศ เรื่อง ยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ.2561-2580). แหล่งข้อมูล: [http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2561/A/082/T\\_0001.PDF](http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2561/A/082/T_0001.PDF). สืบค้น: 11 มิถุนายน 2562.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2562. เครือข่ายข้อมูลด้านสุขอนามัยพืชของประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: [http://61.19.221.24/ippc\\_objectives.php](http://61.19.221.24/ippc_objectives.php). สืบค้น: 12 มิถุนายน 2562.

สำนักมาตรฐานบัญชีของภาครัฐ. 2557. แนวทางการคำนวณ ต้นทุนผลผลิตของงานบริการสาธารณะประจำปี งบประมาณ พ.ศ. 2557. กรมบัญชีกลาง. 102 หน้า.

ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อผลผลิตและคุณภาพถั่วเหลืองฝักสด

พันธุ์ กว.เชียงใหม่84-2

Effects of Growth Regulators on Yield and Quality of Vegetable Soybean

cv. DOA Chiang Mai84-2

จรงค์ษ์ พันธุ์ไชยศรี<sup>1/\*</sup> โสพิศ ใจपालะ<sup>1/</sup> เกียรติรวี พันธุ์ไชยศรี<sup>2/</sup> วงศกร ศรีชัยวงศ์<sup>1/</sup> สราวุธ ดุเมฆ<sup>1/</sup>

Jongrak Phunchaisri<sup>1/\*</sup> Sopit Jaipala<sup>1/</sup> Kiatrawee Phunchaisri<sup>2/</sup>

Wongsakorn Sreechaiwong<sup>1/</sup> Sarawut Domake<sup>1/</sup>

Received 26 Aug. 2024/Revised 15 Mar. 2025/Accepted 15 Mar. 2025

## ABSTRACT

The demand for vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai84-2 has been increasing in the market. Increasing the yield of this soybean by extending the planting area was not practical due to the limitation of appropriate planting areas. To increase yield, the effects of spraying growth regulators at the flowering stage on the yield and quality of vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai84-2 were investigated. The experiment was conducted at the Chiang Mai Field Crops Research Center in two dry seasons during the years 2022-2023. A randomized complete block design of six treatments with 4 replications was applied. The treatments were comprised of spraying soybean at the flowering stage (R1) with different growth regulators: 1) brassinolide 0.01 ppm, 2) gibberellic acids (GA<sub>3</sub>) 1 ppm, 3) abscisic acid (ABA) 1 ppm, 4) kinetin 5 ppm, 5) naphthalene acetic acid 10 ppm and 6) spraying water (control). The results showed that spraying all growth regulators gave a total yield of 1,397-1,511 kg/rai, a marketable yield of 1,335-1,464 kg/rai, and a standard pod yield (grade A) of 530-623 kg/rai, which were slightly different. The ABA spraying gave the highest grade A pod yield of 623 kg/rai, which was not different from other growth regulators but significantly higher than that of GA<sub>3</sub> spraying. All growth regulator spraying treatments gave higher yields than that of water spraying, causing marketable yield increases of 19.5-31.1%. Nevertheless, all growth regulator treatments did not affect other yield components. The benefit-cost ratio of all spraying treatments was greater than 1, indicating that the investment was worthwhile.

---

<sup>1/</sup> ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ 80 หมู่ 12 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

<sup>1/</sup> Chiang Mai Field Crops Research Center, 80 Moo 12, Nong Han, San Sai, Chiang Mai 50290, Thailand

<sup>2/</sup> สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100

<sup>2/</sup> Office of Agricultural Research and Development Region 1, Mae Hia, Mueang, Chiang Mai 50100, Thailand

\* Corresponding author: m\_jongrak@hotmail.com

Therefore, spraying these growth regulators was recommended as an alternative method to increase the yield of vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai84-2.

**Keywords:** growth regulator; yield variance; vegetable soybean; BCR

### บทคัดย่อ

ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่84-2 เป็นที่ต้องการของตลาดสูง การเพิ่มผลผลิตโดยเพิ่มพื้นที่ปลูกทำได้ยากเนื่องจากพื้นที่เหมาะสมในการปลูกมีจำกัด จึงทำการศึกษาผลการพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตในระยะออกดอกต่อผลผลิตและคุณภาพในถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่84-2 ดำเนินการในฤดูแล้ง ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2565-2566 วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ได้แก่ 1) พ่นบราสซิโนไลด์ 0.01 ppm 2) พ่นกรดจิบเบอเรลลิก 1 ppm 3) พ่นกรดแอบไซซิก 1 ppm 4) พ่นไคเนติน 5 ppm 5) พ่นกรดแนฟทาซีนอะซีติก 10 ppm และ 6) พ่นน้ำเปล่า (ควบคุม) ผลการทดลอง พบว่า การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตให้ผลผลิตรวม 1,397-1,511 กก./ไร่ ผลผลิตที่จำหน่ายได้ 1,335-1,464 กก./ไร่ และผลผลิตฝักที่มีคุณภาพได้มาตรฐานเกรด A 530-623 กก./ไร่ ซึ่งมีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยการพ่นกรดแอบไซซิก ให้ผลผลิตฝักมาตรฐานเกรด A 623 กก./ไร่ สูงที่สุดไม่แตกต่างจากการพ่นสารชนิดอื่น แต่มากกว่าการพ่นกรดจิบเบอเรลลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตทุกกรรมวิธีให้ผลผลิตมากกว่าการพ่นน้ำเปล่า โดยผลผลิตที่จำหน่ายได้เพิ่มขึ้น 19.5-31.1% แต่การพ่นสารทุกชนิดไม่ทำให้อंकประกอบผลผลิตด้านอื่น ๆ แตกต่างกัน อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนในทุก

กรรมวิธีการพ่นสารมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน ดังนั้น การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่84-2 ได้อย่างดี

**คำสำคัญ:** สารควบคุมการเจริญเติบโต; ผลผลิต; ถั่วเหลืองฝักสด; อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน

### บทนำ

ถั่วเหลืองฝักสดเป็นที่นิยมในบริโภคเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีนสูง มีไขมันต่ำ และมีวิตามินแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด สถานการณ์ด้านการตลาดพบว่า ปริมาณการผลิตถั่วเหลืองฝักสดภายในประเทศยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยในปีเพาะปลูก 2566/2567 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองฝักสดเพียง 12,693 ไร่ ผลผลิตรวม 13.9 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 1,097 กก./ไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2567) ได้มีความพยายามหาพันธุ์ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูง ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศ ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ได้ทำการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองฝักสดจนได้พันธุ์ กวก.เชียงใหม่ 84-2 และได้รับการรับรองพันธุ์เมื่อวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2564 โดยมีลักษณะเด่น คือ ให้ผลผลิตฝักสดได้มาตรฐานการส่งออกพันธุ์แรกของประเทศไทย (ฝักยาว 4.5 ซม. กว้าง 1.5 ซม. และหนา 0.8 ซม.) ให้ผลผลิตในฤดูแล้ง 757 กก./ไร่ และในฤดูฝน 963 กก./ไร่ มีความสามารถในการปรับตัวได้กว้าง และฝักสดต้มสุกให้เมล็ดมีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย (กรมวิชาการเกษตร, 2568) ทำให้ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์นี้เป็นที่ต้องการของตลาดภายในประเทศ แต่ผลผลิตยังไม่เพียงพอเนื่องจากพื้นที่เหมาะสมในการปลูกมีค่อนข้างจำกัด การนำสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ช่วยให้พืชเพิ่มผลผลิตได้ เช่น กรดจิบเบอเรลลิก (gibberellic

acids, GA<sub>3</sub>) บราสสิโนไลด์ (brassinolide, BL) ไคเนติน (kinetin, Kn) กรดแนฟทาลิน อะซีติก (naphthalene acetic acid, NAA) และกรดแอบไซซิก (abscisic acid, ABA) มาพ่นเพื่อช่วยให้พืชเพิ่มผลผลิตภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจึงเป็นทางเลือกหนึ่ง (Davies, 1995) ซึ่งสารควบคุมการเจริญเติบโตแต่ละชนิดช่วยให้พืชเพิ่มผลผลิตได้แตกต่างกัน

สาร GA<sub>3</sub> มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง โดยควบคุมปริมาณและกิจกรรม ribulose-1,5-biphosphate carboxylase oxygenase และควบคุมกิจกรรมของ sucrose phosphate synthase ในการสังเคราะห์แป้งและน้ำตาล (Yuan and Xu, 2001) การพ่นสาร GA<sub>3</sub> 100 ppm กับถั่วเหลืองที่อายุ 42 วัน หลังปลูก หรือที่ระยะเริ่มออกดอก (R1) ช่วยส่งเสริมความสูงของต้น ผลผลิตเมล็ดต่อต้น และน้ำหนัก 100 เมล็ด (Sarkar et al., 2002)

สาร BL ช่วยเพิ่มการดูดซึม CO<sub>2</sub> มากขึ้น มีผลต่อจำนวนฝักและเมล็ด Robson et al. (2024) พบว่า การใช้ BL 0.075 mg/L พ่นถั่วเหลืองที่ระยะ R3 และ R6 สามารถเพิ่มผลผลิตได้ 25.1% โดย BL ช่วยเพิ่มความสัมพันธ์ระหว่าง source-sink และพัฒนาระบบการดูดซึมในการเจริญเพื่อแพร่พันธุ์ (จำนวนฝัก เมล็ด น้ำหนักเมล็ดต่อต้น และผลผลิต) โดยไม่มีผลต่อการดูดซับสารละลายทางดิน กัณฐิมา และคณะ (2564) ศึกษาในถั่วเหลืองสายพันธุ์ CM 0701-24 ที่ระยะออกดอกพบว่า การพ่น GA<sub>3</sub> 100 ppm ทำให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสูงสุด 361.7 กก./ไร่ รองลงมา คือ การพ่น EBL (epibrassinolide) 0.50 ppm และ GA<sub>3</sub> 50 ppm ให้ผลผลิตเฉลี่ย 324 และ 320.9 กก./ไร่ ตามลำดับ Takematsu and Takeuchi (1989) ทำการทดลองพ่นสาร EBL 0.001 0.010 และ 0.100 ppm ในระยะออกดอกของถั่วเหลือง ฝักสดพันธุ์ Wase-shiratori-edamame พบว่า การพ่น

EBL ทุกความเข้มข้นทำให้จำนวนเมล็ด/ต้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ด/ต้นเพิ่มขึ้น 10-20%

สาร Kn มีบทบาทสำคัญในการลดปริมาณดอกที่ผสมไม่ติด เพิ่มการติดฝัก น้ำหนักเมล็ด ส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น (Yashima et al., 2005; Nonokawa et al., 2007) โดย Passos et al. (2011) พบว่า Kn 160 มก./ไร่ ช่วยเพิ่มการติดฝัก 27.1% บริเวณทรงพุ่มส่วนกลางและล่าง เนื่องจากระดับไซโตไคนินเพิ่มขึ้นจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบบการดูดซึมสารอาหารไปยังฝักและเมล็ดได้ดีขึ้น

สาร NAA เป็นสารสังเคราะห์ในกลุ่มออกซิน ช่วยเพิ่มผลผลิตโดยการกระตุ้นให้ระบบรากเจริญดี Patil et al. (2023) พบว่า การพ่น NAA 90 ppm ทางใบกับถั่วเหลืองอายุ 35 วันหลังปลูกทำให้องค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ผลผลิตต่อแปลง ผลผลิตต่อเฮกแตร์ จำนวนฝัก และความยาวฝักสูงขึ้น

สาร ABA เป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโต แต่ Reinoso et al. (2011) รายงานว่าการใช้ ABA 300 mg/l กับถั่วเหลืองที่ระยะ V7 และ R2 สามารถเพิ่มผลผลิตถั่วเหลืองได้ และยังมีผลทางอ้อมในการกระตุ้นการเกิดราก ทำให้พืชสามารถเพิ่มการดูดซับน้ำได้ดีขึ้น นอกจากนี้ Kamal et al. (1995) ยังพบว่า การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโต ABA 1 ppm GA<sub>3</sub> 1 ppm BL 0.01 ppm และ Kn 5 ppm ในถั่วเหลืองที่ระยะ R1 ทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 12.1 5.8 5.9 และ 9.3% ตามลำดับ และผลผลิตถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นนั้นขึ้นกับความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโต และพันธุ์ถั่วเหลืองอีกด้วย

ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่84-2 ยังไม่มีข้อมูลการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตในการเพิ่มผลผลิต ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต BL GA<sub>3</sub> ABA Kn และ NAA ในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพ

เพื่อเป็นแนวทางในการแนะนำการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตให้แก่เกษตรกรต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การเตรียมแปลงทดลอง

ดำเนินการทดลองในฤดูแล้ง 2 ปีการผลิต (พ.ย. 2564-เม.ย. 2566) ที่แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่ เชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ เตรียมแปลงทดลองใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตัน/ไร่ และปุ๋ยเคมีรองพื้น เกรด 8-24-24 อัตรา 30 กก./ไร่ โดยหว่านบนหน้าแปลงพร้อมสับกลบและเกลี่ยหน้าดิน ก่อนปลูกคลุกเมล็ดพันธุ์ ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กว.เชียงใหม่84-2 ด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมอัตรา 200 ก./เมล็ดพันธุ์ 15 กก. ใช้ระยะปลูก 50x20 ซม. หยอดเมล็ด 3-4 เมล็ด/หลุม ให้น้ำตามร่อง 7-10 วัน/ครั้ง หลังปลูกพ่นสารป้องกันกำจัดวัชพืชร่องอกด้วยสารอะลาคลอร์ (alachlor 48% EC) 150 มล./น้ำ 20 ล. และพ่นสารไตรอะโซฟอส (triazophos 40% EC) 50 มล./น้ำ 20 ล. เพื่อป้องกันการทำลายจากหนอนแมลงวันเจาะต้นถั่ว 2 ครั้ง ที่อายุ 7 และ 14 วันหลังปลูก เมื่อถั่วเหลืองอายุ 15-20 วันหลังงอกทำการถอนแยกต้นถั่วให้เหลือ 2 ตัน/หลุม พร้อมใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 13-13-21 อัตรา 30 กก./ไร่ โดยโรยข้างแถวแล้วพรวนดินกลบโคนต้น และใส่ปุ๋ยยูเรีย 25 กก./ไร่ เมื่อถั่วเหลืองอายุ 45-50 วันหลังงอก โดยโรยข้างแถวปลูก ทำการปฏิบัติดูแลรักษาแปลงทดลองตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (2545)

### 2. การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโต

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCB) 6 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ขนาดแปลงย่อย 3x5 ตร.ม. พ่นสารควบคุมการเจริญเติบโต 6 กรรมวิธี ได้แก่ 1) BL 0.01 ppm 2) GA<sub>3</sub> 1 ppm 3) ABA 1 ppm 4) Kn 5 ppm 5) NAA 10 ppm และ 6) น้ำเปล่า (ควบคุม) ด้วยอัตราการใช้น้ำ 10 ลิตร/ไร่ 1 ครั้ง ใช้ถัง

พ่นสารเคมีแบบสเปรย์หลัง พ่นทางใบให้ทั่วทั้งต้น เมื่อถั่วเหลืองเข้าสู่ระยะออกดอก (R1) เนื่องจากเป็นระยะที่ถั่วเหลืองได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จากสารควบคุมการเจริญเติบโตในการให้ผลผลิต และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในระบบสืบพันธุ์ให้เป็นฝักที่มีเมล็ดพืช (Pires et al., 2000)

การเตรียมสารควบคุมการเจริญเติบโตทำ โดยนำสารแต่ละชนิดเกรดห้องปฏิบัติการมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้สารละลายความเข้มข้นตามต้องการ ดังนี้ 1) BL 0.01 ppm จากผลิตภัณฑ์ brassinolide 0.1% 2) GA<sub>3</sub> 1 ppm จากผลิตภัณฑ์ gibberellic acid 90% 3) ABA 1 ppm จากผลิตภัณฑ์ abscisic acid 10% 4) Kn 5 ppm จากผลิตภัณฑ์ kinetin 99% 5) NAA 10 ppm จากผลิตภัณฑ์ naphthalene-1-acetic acid 99%

### 3. การเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเหลือง

ก่อนเก็บเกี่ยว 2 สัปดาห์หยุดพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชทุกชนิด ทำการเก็บเกี่ยวเมื่อถั่วเหลืองฝักสดมีฝักโต เต่ง เต็มฝัก และมีสีเขียวสด (ระยะ R6) พื้นที่เก็บเกี่ยว 2x4 ตร.ม. นับจำนวนต้นในพื้นที่เก็บเกี่ยว แล้วนำไปคำนวณหาจำนวนต้น/ไร่ ปลิดฝักถั่วเหลืองในพื้นที่เก็บเกี่ยวเพื่อชั่งน้ำหนักผลผลิตรวม และสุ่มตัวอย่างต้นในพื้นที่เก็บเกี่ยว 10 ต้น เพื่อบันทึกข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนฝัก/ต้น จำนวนเมล็ด/ฝัก และน้ำหนัก 100 เมล็ดสด บันทึกข้อมูลคุณภาพของถั่วเหลืองฝักสด ได้แก่ จำนวนฝักมาตรฐาน/กก. (เกรด A) โดยที่ฝักมาตรฐานเกรด A มีความกว้างฝักไม่น้อยกว่า 1.4 ซม. ความยาวฝักตั้งแต่ 4.5 ซม. ความหนาฝักไม่น้อยกว่า 0.8 ซม. และมีจำนวนฝักไม่เกิน 350 ฝัก/กก. ส่วนฝักเกรด B คือ ฝักที่มีความสมบูรณ์เช่นเดียวกับเกรด A แต่ขนาดฝักเล็กกว่า มีเมล็ดลีบในฝัก แต่ยังสามารถนำไปบริโภคได้ ซึ่งรวมทั้งฝักที่มี 1 เมล็ด (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2543) บันทึกผลผลิตฝักที่จำหน่ายได้ (marketable yield)

คือ ผักเกรด A รวมกับผักเกรด B และบันทึกลักษณะทางการเกษตรอื่น ได้แก่ ความสูง จำนวนกิ่ง/ต้น จำนวนข้อ/ต้น

#### 4. การวิเคราะห์ข้อมูลและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

นำข้อมูลที่ได้ทั้งสองแปลงทดลองที่ทำในฤดูแล้งปี พ.ศ. 2564/65 และปี พ.ศ. 2565/66 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis of variance) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

คำนวณต้นทุนการผลิต และผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดยคิดจากอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (benefit cost ratio, BCR) (ชูชีพ, 2540) เปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนกับการลงทุนปัจจุบันของต้นทุนทั้งหมดรวมค่าแรง เกณฑ์ในการตัดสินใจคือ ค่า BCR มากกว่า 1 หรือผลตอบแทนที่ได้มีมากกว่าต้นทุน

#### ผลการทดลองและวิจารณ์

##### ผลผลิต

การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโต BL 0.01 ppm GA<sub>3</sub> 1 ppm ABA 1 ppm Kn 5 ppm และ NAA 10 ppm. ที่ระยะออกดอก 1 ครั้ง ในถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์กว.เชียงใหม่84-2 มีผลทำให้ผลผลิตรวม ผลผลิตฝักมาตรฐาน และผลผลิตที่จำหน่ายได้สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยสารควบคุมการเจริญเติบโตทุกกรรมวิธีให้ผลผลิตรวมไม่แตกต่างกันเฉลี่ยระหว่าง 1,397-1,511 กก./ไร่ ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมให้ผลผลิตรวมน้อยที่สุดเฉลี่ย 1,149 กก./ไร่ (Table 1) เมื่อนำข้อมูลทั้งสองปีมาวิเคราะห์รวม พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ส่วนผลผลิตที่จำหน่ายได้ (marketable yield) การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตทุกกรรมวิธีให้

ผลผลิตระหว่าง 1,335-1,464 กก./ไร่ สูงกว่ากรรมวิธีควบคุมที่ให้ผลผลิต 1,117 กก./ไร่ คิดเป็นผลผลิตที่จำหน่ายได้เพิ่มขึ้นเมื่อพ่น ABA Kn GA<sub>3</sub> BL และ NAA 31.1 28.6 24.6 22.5 และ 19.5% ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Kamal et al. (1995) ที่รายงานว่า การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตในถั่วเหลืองพันธุ์ Tachimakaha และ Tidar ที่ระยะ R1 พบว่า ABA 1 ppm GA<sub>3</sub> 1 ppm BL 0.01 ppm และ Kn 5 ppm ทำให้ถั่วเหลืองมีผลผลิตเพิ่มขึ้น 12.1 5.8 5.9 และ 9.3% ตามลำดับ

##### คุณภาพผลผลิต

เมื่อนำผลผลิตรวมมาคัดคุณภาพ พบว่า การพ่น ABA ทำให้ผลผลิตฝักมาตรฐานเกรด A สูงที่สุด 623 กก./ไร่ แต่ไม่แตกต่างจากการพ่น Kn BL และ NAA ที่ให้ผลผลิต 595 553 และ 553 กก./ไร่ ตามลำดับ ส่วนการพ่น GA<sub>3</sub> ให้ผลผลิต 530 กก./ไร่ ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมให้ผลผลิตเกรด A น้อยที่สุด 425 กก./ไร่ (Table 2) ทั้งนี้การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตแต่ละกรรมวิธีที่ระยะออกดอกส่งเสริมการติดฝักทำให้มีฝักมาตรฐานเกรด A สูงกว่าการพ่นน้ำเปล่า สอดคล้องกับ Pires et al. (2000) ซึ่งพบว่าผลผลิตถั่วเหลืองได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จากสารควบคุมการเจริญเติบโตในระยะออกดอกโดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในระบบสืบพันธุ์ทำให้เป็นฝักที่มีเมล็ด แต่อย่างไรก็ตาม หลังคัดเกรดพบว่าทุกกรรมวิธีมีขนาดฝักมาตรฐานไม่แตกต่างกัน โดยมีความกว้างฝักระหว่าง 1.46-1.47 ซม. ความยาวฝัก 6.82-6.96 ซม. และความหนาฝัก 0.98-1.01 ซม. (Table 2) ซึ่งตรงตามมาตรฐานการส่งออกที่กำหนดให้มีความกว้างฝักไม่น้อยกว่า 1.4 ซม. ความยาวฝักตั้งแต่ 4.5 ซม. ความหนาฝักไม่น้อยกว่า 0.8 ซม. (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2543)

**Table 1** Total yield, marketable yield and increased marketable yield of vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai84-2 sprayed with different growth regulators at Chiang Mai Field Crops Research Center in two dry seasons 2021-2023

Treatment	Total yield (kg/rai)	Marketable yield (kg/rai)	Increased marketable yield (%)
BL 0.01 ppm	1,438 a	1,368 a	22.5
GA <sub>3</sub> 1 ppm	1,449 a	1,392 a	24.6
ABA 1 ppm	1,511 a	1,464 a	31.1
Kn 5 ppm	1,478 a	1,436 a	28.6
NAA 10 ppm	1,397 a	1,335 a	19.5
Water (control)	1,149 b	1,117 b	-
Mean	1,403	1,352	
CV (%)	9.1	9.4	

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at P<0.05 by DMRT

**Table 2** Standard yield, pod width, pod length and pod thickness of vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai84-2 sprayed with different growth regulators at Chiang Mai Field Crops Research Center in two dry seasons 2021-2023

Treatment	Standard yield (grade A) (kg/rai)	Pod width (cm)	Pod length (cm)	Pod thickness (cm)
BL 0.01 ppm	553 ab	1.47	6.94	0.99
GA <sub>3</sub> 1 ppm	530 b	1.46	6.86	0.99
ABA 1 ppm	623 a	1.46	6.85	0.99
Kn 5 ppm	595 ab	1.47	6.82	0.99
NAA 10 ppm	553 ab	1.46	6.96	1.01
Water (control)	425 c	1.47	6.86	0.98
Mean	546	1.47	6.88	0.99
CV (%)	14.0	2.5	2.8	3.7

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at P<0.05 by DMRT

องค์ประกอบผลผลิต พบว่า การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตทำให้จำนวน ฝัก/ต้น มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยการพ่น Kn มีจำนวนฝัก/ต้น สูงที่สุด 25.9 ฝัก/ต้น ใกล้เคียงกับการพ่น

ABA ที่มีจำนวน 24.8 ฝัก/ต้น รองลงมา ได้แก่ การพ่น BL GA<sub>3</sub> และ NAA มีจำนวนฝักต่อต้น 22.8 22.7 และ 22.7 ฝัก ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีควบคุมมีจำนวนฝักต่อต้นน้อยที่สุด 21.9 ฝัก (Table 3) ทั้งนี้

การพ่น Kn ทำให้จำนวนฝักเพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการลดปริมาณดอกที่ผสมไม่ติด เพิ่มการติดฝัก (Yashima et al., 2005; Nonokawa et al., 2007) และสอดคล้องกับ Passos et al. (2011) ที่พบว่า Kn 160 มก./ไร่ ช่วยเพิ่มจำนวนการติดฝัก 27.1% เนื่องจากเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหารไปยังฝักและเมล็ดได้ดีขึ้น และยังสอดคล้องกับ Reinoso et al. (2011) ที่ใช้ ABA อัตรา 300 mg/l กับถั่วเหลืองที่ระยะ V7 และระยะ R2 ทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตถั่วเหลืองได้ ส่วนองค์ประกอบผลผลิตอื่น เช่น จำนวนเมล็ดต่อฝัก และน้ำหนัก 100

เมล็ดสด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี ลักษณะทางการเกษตรอื่น ได้แก่ ความสูง จำนวนข้อต่อต้น จำนวนกิ่งต่อต้น ไม่ได้รับผลกระทบจากการพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตในทุกกรรมวิธี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระยะเวลาการพ่นสารเป็นระยะออกดอกจึงไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ โดยมีความสูงต้นระหว่าง 29.0-31.7 ซม. จำนวนข้อ/ต้นระหว่าง 7.78-7.98 ข้อ จำนวนกิ่ง/ต้น 2.78-2.86 กิ่ง นอกจากนี้คุณภาพของถั่วเหลืองฝักสดด้านความหวาน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธีเช่นกัน โดยมีความหวานระหว่าง 11.9-12.8% บริกซ์ (Table 3)

**Table 3** Yield components of vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai84-2 sprayed with different growth regulators at Chiang Mai Field Crops Research Center in two dry seasons 2021-2023

Treatment	No. of pod /plant	No. of seed /pod	100 Fresh seed wt. (g)	Plant height (cm)	No. of node /plant	No. of branch /plant	Sweetness (% Brix)
BL 0.01 ppm	22.8 bc	2.47	76.2	29.0	7.78	2.78	11.9
GA <sub>3</sub> 1 ppm	22.7 bc	2.49	75.5	30.8	7.98	2.81	12.1
ABA 1 ppm	24.8 ab	2.41	75.5	31.7	7.96	2.86	11.9
Kn 5 ppm	25.9 a	2.28	75.9	30.6	7.98	2.83	12.1
NAA 10 ppm	22.7 bc	2.53	76.8	30.3	7.85	2.80	12.6
Water (control)	21.9 c	2.56	72.7	29.5	7.91	2.81	12.8
Mean	23.5	2.46	75.4	30.3	7.91	2.82	12.2
CV (%)	11.8	10.7	3.8	8.2	4.9	14.2	16.2

The means in the same column followed by a common letter are not significantly different at P<0.05 by DMRT

การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตในทุกกรรมวิธีให้ผลผลิตรวม ผลผลิตฝักมาตรฐานเกรด A และผลผลิตที่จำหน่ายได้ใกล้เคียงกัน สามารถเพิ่มผลผลิตได้มากกว่าการพ่นน้ำ แม้องค์ประกอบผลผลิตยกเว้นจำนวนฝัก/ต้น ไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องจากองค์ประกอบผลผลิตนั้นมีลักษณะที่ยืดหยุ่นทดแทนและชดเชยซึ่งกันและกันได้ (เฉลิมพล, 2542) แสดง

ให้เห็นว่า สารควบคุมการเจริญเติบโตที่ทดลองสามารถเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กว.เชียงใหม่ 84-2 ได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Sarkar et al. (2002) ที่พบว่า การพ่น GA<sub>3</sub> 100 ppm ในถั่วเหลืองพันธุ์ BS-3 2 ครั้ง เมื่อถั่วเหลืองอายุ 20 และ 42 วันหลังปลูก ทำให้ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตมากที่สุด จำนวนฝัก/ต้น จำนวนเมล็ด/ฝัก และผลผลิตสูงสุด ทำนองเดียวกับ

Takahashi et al. (1996) รายงานว่าการใช้ ABA 1 และ 10 ppm พบทางใบก่อนระยะ V7 และระยะออกดอก ช่วยส่งเสริมการติดฝัก จำนวนฝักเต็ม และเพิ่มผลผลิตถั่วเหลือง รวมทั้ง Soares et al. (2017) รายงานการใช้ Kn ที่ระยะ V6 ในถั่วเหลืองพันธุ์ NS7114RR

ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 20% นอกจากนี้ ธงชัยและนางลักษณ์ (มมป.) ได้รายงานว่า การพ่นสาร NAA 10 ppm ในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.2 ทุกสัปดาห์ ช่วยส่งเสริมการติดฝักและการเพิ่มผลผลิตของเมล็ด

**Table 4** Marketable yield, total cost, income, increased income and benefit cost ratio (BCR) of vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai84-2 sprayed with different growth regulators at Chiang Mai Field Crops Research Center in two dry seasons, 2021–2023

Treatment	Marketable yield (kg/rai)	Total cost <sup>1/</sup> (Baht/rai)	Income <sup>2/</sup> (Baht/rai)	Increased income (%)	BCR
BL 0.01 ppm	1,368	19,606	27,360	22.5	1.40
GA <sub>3</sub> 1 ppm	1,392	21,608	27,840	15.7	1.29
ABA 1 ppm	1,464	19,611	29,280	31.0	1.49
Kn 5 ppm	1,436	22,539	28,720	15.4	1.27
NAA 10 ppm	1,335	19,737	26,700	18.9	1.35
Water (control)	1,117	19,605	22,340	-	1.14
Mean	1,352	20,451	27,040		1.32

<sup>1/</sup>Total costs: plowing and raising furrows=800 Baht/rai, seeds=1,200 Baht/rai, watering=500 Baht/rai, planting=900 Baht/rai, herbicides application+labor cost=525 Baht/rai (alachlor=125 Baht/rai, fluazifop-P-butyl=122 Baht/rai, fomesafen=128 Baht/rai+labor cost=150 Baht/rai), growth hormones+labor cost=76-3,009 Baht/rai (BL=1 Baht/rai, GA<sub>3</sub>=2,003 Baht/rai, ABA=6 Baht/rai, Kinetin=2,934 Baht/rai, NAA=132 Baht/rai), insecticide application+labor cost=650 Baht/rai, fertilizer application+labor cost=11,355 Baht/rai (composed fertilizer=9,000 Baht/rai, 8-24-24=930 Baht/rai, 13-13-21=660 Baht/rai, 46-0-0=690 Baht/rai and labor cost=75 Baht/rai) and harvesting=3,600 Baht/rai

<sup>2/</sup>Yield price=20 Baht/kg

สารควบคุมการเจริญเติบโตมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาที่ค่อนข้างเฉพาะเจาะจงภายในพืช ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาอัตราและระยะเวลาการใช้ที่เหมาะสมของสารควบคุมการเจริญเติบโตแต่ละชนิดเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถแสดงบทบาทหน้าที่ต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ตรงตามวัตถุประสงค์

#### ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

การใช้สารทุกกรรมวิธีให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาต้นทุน พบว่า กรรมวิธีการพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโต BL มีต้นทุนต่ำที่สุด 19,606 บาท รองลงมา ได้แก่ การพ่น ABA NAA GA<sub>3</sub> และ Kn มีต้นทุน 19,611 19,737 21,608

และ 22,539 บาท ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีควบคุมมี ต้นทุน 19,605 บาท/ไร่ เมื่อคำนวณรายได้จากราคา จำหน่าย 20 บาท/กก. และผลผลิตที่จำหน่ายได้ พบว่าการพ่น ABA มีรายได้มากที่สุด 29,280 บาท/ไร่ รองลงมาได้แก่ การพ่น Kn GA<sub>3</sub> BL NAA และการไม่พ่นสาร มีรายได้ 28,720 27,840 27,360 26,700 และ 22,340 บาท/ไร่ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ การไม่พ่นสาร คิดเป็นรายได้ที่เพิ่มขึ้น 31.0 22.5 18.9 15.7 และ 15.4% เมื่อพ่น ABA BL NAA GA<sub>3</sub> และ Kn ตามลำดับ เช่นเดียวกันเมื่อคำนวณ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (benefit cost ratio, BCR) การพ่น ABA มีค่า BCR มากที่สุด 1.49 รองลงมาได้แก่ การพ่น BL NAA GA<sub>3</sub> Kn และการ ไม่พ่นสาร มีค่า BCR 1.40 1.35 1.29 1.27 และ 1.14 ตามลำดับ (Table 4) ทั้งนี้ทุกกรรมวิธี BCR มี ค่ามากกว่า 1 ซึ่งถือว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน ถึงแม้การ พ่นน้ำเปล่าถือว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน แต่เมื่อพ่นสาร ควบคุมการเจริญเติบโตสามารถเพิ่มความคุ้มค่าและ รายได้มากขึ้น

### สรุปผลการทดลอง

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต ได้แก่ BL 0.01 ppm GA<sub>3</sub> 1 ppm ABA 1 ppm Kn 5 ppm และ NAA 10 ppm พ่นทางใบถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่84-2 ในระยะออกดอก ให้ผลผลิตรวม 1,397-1,511 กก./ไร่ ผลผลิตฝักมาตรฐานเกรด A 530-623 กก./ไร่ และผลผลิตที่จำหน่ายได้ 1,335- 1,464 กก./ไร่ ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นผลผลิตฝัก มาตรฐานเกรด A จากการพ่นสาร ABA (623 กก./ไร่) มากกว่าการพ่นสาร GA<sub>3</sub> (530 กก./ไร่) อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโต ให้ผลผลิตสูงกว่าการพ่นน้ำเปล่าในทุกกรรมวิธี ให้ ผลผลิตที่จำหน่ายได้เพิ่มขึ้น 19.5-31.1% การพ่นสาร

ABA และ Kn สามารถเพิ่มจำนวนฝัก/ต้น ได้เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม การพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตทุก ชนิดที่ทดลองไม่ทำให้องค์ประกอบผลผลิตอื่น ๆ แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาการลงทุน พบว่า ค่า BCR ทุกกรรมวิธีมีค่ามากกว่า 1 จึงสามารถแนะนำการใช้ สารควบคุมการเจริญเติบโตแต่ละชนิดดังกล่าว เพื่อ เป็นทางเลือกในการเพิ่มผลผลิตถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่ 84-2 ได้

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริม วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ที่สนับสนุนทุน สำหรับการวิจัย ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ที่สนับสนุน วัสดุอุปกรณ์การเกษตร สถานที่ดำเนินการ ตลอดจน บุคลากร และผู้เกี่ยวข้องที่ช่วยดำเนินการวิจัยจน สำเร็จลุล่วง

### เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2545. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับถั่วเหลือง ฝักสด. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. 26 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2568. ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่ 84-2. แหล่งข้อมูล: <http://doaplant.doa.go.th>. สืบค้น: 3 กุมภาพันธ์ 2568.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2567. ข้อมูลสถิติทางการเกษตร. ระบบ สารสนเทศการผลิตทางการเกษตร. แหล่งข้อมูล: <https://production.doae.go.th/site>. สืบค้น: 3 กุมภาพันธ์ 2568.
- กัณทิมา ทองศรี จวงจันทร์ ดวงพัตรา กนกวรรณ เทียงธรรม และจุฑามาศ ร่มแก้ว. 2564. ผลของสารจิบเบอเรลลินและบราสซิโนสเตรอยด์ต่อการสร้างปมไรโซเปียม การเจริญเติบโต และผลผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสายพันธุ์ ก้าวหน้าที่ปลูกในฤดูแล้งหลังนา. วารสารแก่นเกษตร. 49(6): 1424-1435.
- เฉลิมพล แซมเพชร. 2542. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต. น. 162-187. ใน: ศรีวิทย์พืชไร่. นพบุรีการพิมพ์, เชียงใหม่.

- ชูชีพ พิพัฒน์ศิริ. 2540. เศรษฐศาสตร์การวิเคราะห์โครงการ. ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 230 หน้า.
- ธงชัย กังวาลพงษ์ และนางลักษณ์ พันธุ์โอภาส. มมป. ผลผลิต และคุณภาพของถั่วเหลืองอันเนื่องมาจากการใช้ แอลฟา-แนฟธิลอะซีตออีน. กองเกษตรกรรม กรมวิชาการเกษตร.
- สถาบันวิจัยพืชไร่. 2543. การผลิตถั่วเหลืองฝักสดอย่างถูกต้อง และเหมาะสม. โขตนาพรินท์, เชียงใหม่. 16 หน้า.
- Davies, P.J. 1995. The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. pp. 1-12. In: Davies, P.J. (Ed.), Plant Hormones: Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology, Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Kamal, M., H. Takahashi, H. Mikoshiba and Y. Ota. 1995. Analysis of soybean yield components as affected by plant growth regulators applied at flowering stages. Japanese Journal of Tropical Agriculture. 39(3): 184-189.
- Nonokawa, K., M. Kokubun, T. Nakajima, T. Nakamura and R. Yoshida, 2007. Roles of auxin and cytokinin in soybean pod setting. Plant Production Science. 10(2): 199-206.
- Passos, A.M.A.D., P.M.D. Rezende, A.A.D. Alvarenga, D.P. Baliza, E.R. Carvalho and H.P.D. Alcântara. 2011. Yield per plant and other characteristics of soybean plants treated with kinetin and potassium nitrate. Ciência e Agrotecnologia. 35: 965-972.
- Patil, P.M., P.R. Thombre, A.B. Thombre, D.B. Deosarkar and V.B. Gore. 2023. Effect of spraying NAA on soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.) var. MAUS 71 growth, yield, and seed quality. The Pharma Innovation Journal. 12(12): 1037-1045.
- Pires, J.L.F., J.A. Costa, A.L. Thomas and A.R. Maehler. 2000. Effect of population and spacing on soybean potential yield during ontogeny. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 35(8): 1541-1547.
- Reinoso, H.E., C.N. Travaglia and A.R. Bottini. 2011. ABA Increased Soybean Yield by Enhancing Production of Carbohydrates and Their Allocation in Seed. Intech Open Access Publisher.
- Sarkar, P.K., M.S. Haque and M.A. Karim. 2002. Effects of GA3 and IAA and their frequency of application on morphology, yield contributing characters and yield of soybean. Pakistan Journal of Agronomy. 1(4): 119-122.
- Soares, L.H., D. Dourado, E.B. Fagan, W.F. Teixeira and I.S. Pereira. 2017. Physiological, phenometric and productive changes in soybean crop due to the use of kinetin. Pesquisa Agropecuária Tropical. 47: 80-86.
- Takahashi, H., M. Kamal, H. Mikoshiba and Y. OTA. 1996. Effect of abscisic acid application on pod formation and yield of soybean plants. Japanese Journal of Tropical Agriculture. 40(1): 1-6.
- Takematsu, T. and Y. Tkeuchi. 1989. Effects of brassinosteroids on growth and yields of crops. Proceedings of the Japan Academy, Series B. 65(6): 149-152.
- Yashima, Y., A. Kaihatsu, T. Nakajima and M. Kokubun. 2005. Effects of source/sink ratio and cytokinin application on pod set in soybean. Plant Production Science. 8(2): 139-144.
- Yuan, L. and D.Q. Xu. 2001. Stimulation effect of gibberellic acid short-term treatment on the photosynthesis related to the increase in rubisco content in broad bean and soybean. Photosynthesis Research. 68: 39-47.

มอร์โฟเมตริกส์ปีกเพื่อการวินิจฉัยชนิดแมลงวันหนอนซอนใบสกุล *Liriomyza* ในประเทศไทย

## Wing Morphometrics for Species Diagnosis of Leafminer Flies (Genus *Liriomyza*) in Thailand

ยุวรินทร์ บุญทบ<sup>1/\*</sup> สุนัดดา เชาวลิต<sup>1/</sup> ชมัยพร บัวมาศ<sup>1/</sup> อาทิตย์ รักกลิกร<sup>1/</sup> สิริชัย สาธุวิจารณ์<sup>1/</sup>  
Yuvarin Boontop<sup>1/\*</sup> Sunadda Chaovalit<sup>1/</sup> Chamaiporn Buamas<sup>1/</sup> Artit Rukkasikorn<sup>1/</sup> Sirichai Sathuwijarn<sup>1/</sup>

Received 24 Sep. 2024/Revised 8 Nov. 2024/Accepted 9 Nov. 2024

### ABSTRACT

Leafminer flies of the genus *Liriomyza* are serious pests that damage a wide range of vegetable crops. These flies are also significant quarantine pests that exported vegetables must be inspected to prevent the infestation of these pests in plant materials. Accurate species identification of the genus *Liriomyza* using conventional external characters is difficult due to morphological similarities among *Liriomyza* species. This study aimed to evaluate the wing morphometrics in distinguishing among five *Liriomyza* species: *L. brassicae*, *L. chinensis*, *L. huidobrensis*, *L. sativae* and *L. trifolii*. Sixteen homologous landmarks were digitized on the wings for geometric morphometric analysis. The results revealed significant differences in centroid size among species ( $P < 0.05$ ) with *L. brassicae* exhibiting the smallest wing size ( $1.58 \pm 0.03$  mm) and *L. huidobrensis* the largest ( $2.34 \pm 0.05$  mm). Canonical variate analysis demonstrated that *L. chinensis* and *L. huidobrensis* could be clearly separated from the remaining three species based on wing shape, while *L. brassicae*, *L. sativae* and *L. trifolii* exhibited highly similar wing morphologies, making them more difficult to distinguish. In conclusion, wing morphometrics is an effective tool for identifying *L. chinensis* and *L. huidobrensis* from the remaining three species and can be applied for plant quarantine inspection for vegetable exports in Thailand. However, due to overlapping wing shapes among *L. brassicae*, *L. sativae* and *L. trifolii*, further identification using male genitalia or nucleotides is recommended to improve the accuracy of species discrimination.

**Keywords:** species diagnosis; wing morphometrics; leafminer; quarantine pest

---

<sup>1/</sup> สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช ถ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>1/</sup> Plant Protection Research and Development Office, Phahonyothin Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 19000. Thailand

\* Corresponding author: yuvarin9320@gmail.com

## บทคัดย่อ

แมลงวันหนอนชอนใบสกุล *Liriomyza* เป็นศัตรูพืชผักหลายชนิด และเป็นศัตรูพืชกักกันที่สำคัญ การส่งออกพืชผักของประเทศไทยจำเป็นต้องตรวจสอบให้ปราศจากแมลงศัตรูกลุ่มนี้ แต่การจำแนกชนิดแมลงวันหนอนชอนใบสกุล *Liriomyza* ทำได้ยากเนื่องจากแมลงสกุลนี้มีลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอกคล้ายคลึงกันสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการใช้เทคนิคมอร์โฟเมตริกส์ของปีกในการจำแนกชนิดของแมลงวันหนอนชอนใบใน 5 ชนิด ได้แก่ *L. brassicae*, *L. chinensis*, *L. huidobrensis*, *L. sativae* และ *L. trifolii* ทำการศึกษาโดยใช้จุดสังเกต (landmarks) บนปีกจำนวน 16 จุด พบว่า ขนาดเซนทรอยด์ของปีกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดย *L. brassicae* มีขนาดเล็กที่สุด ( $1.58 \pm 0.03$  มม.) และ *L. huidobrensis* มีขนาดใหญ่ที่สุด ( $2.34 \pm 0.05$  มม.) การวิเคราะห์เชิงพหุ (CVA) แสดงให้เห็นว่า *L. huidobrensis* และ *L. chinensis* มีรูปร่างปีกแตกต่างจากชนิดอื่นอย่างชัดเจน ขณะที่ *L. brassicae*, *L. sativae* และ *L. trifolii* มีรูปร่างปีกคล้ายคลึงกันมาก และแยกจากกันได้ง่าย ดังนั้น เทคนิคมอร์โฟเมตริกส์ของปีกสามารถใช้แยกชนิดแมลงวันหนอนชอนใบ *L. huidobrensis* และ *L. chinensis* ออกจากชนิดอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบแมลงศัตรูพืชกักกันในพืชผักส่งออกของประเทศไทยได้อย่างไรก็ตาม สำหรับแมลงวันหนอนชอนใบชนิดที่มีรูปร่างปีกใกล้เคียงกัน ได้แก่ *L. brassicae*, *L. sativae* และ *L. trifolii* จำเป็นต้องใช้ข้อมูลประกอบเพิ่มเติม เช่น ลักษณะอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้หรือข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกชนิดอย่างสมบูรณ์

**คำสำคัญ:** วินิจฉัยชนิด; มอร์โฟเมตริกส์ปีก; แมลงวันหนอนชอนใบ; แมลงศัตรูกักกัน

## บทนำ

แมลงวันหนอนชอนใบ (leafminer) ในสกุล *Liriomyza* จัดอยู่ในอันดับ Diptera วงศ์ Agromyzidae เป็นแมลงศัตรูพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจ โดยทุกชนิดในสกุลนี้สามารถเข้าทำลายพืชผักได้หลากหลายชนิด ซึ่งหากปะปนไปกับผลผลิตที่ส่งออก จะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง เนื่องจาก *Liriomyza* เป็นแมลงศัตรูกักกัน (quarantine pest) ที่หลายประเทศประกาศห้ามนำเข้าพืชผักที่ตรวจพบการปะปนของแมลงกลุ่มนี้ หากมีการตรวจพบในประเทศปลายทาง มักจะมีมาตรการกีดกันทางการค้าตามมา (International Plant Protection Convention, 2016) เนื่องจากแมลงกลุ่มนี้มีขนาดเล็กตัวเล็กและมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาคล้ายคลึงกัน การจำแนกโดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายนอกเพียงอย่างเดียวจึงมีข้อจำกัด ด้วยเหตุนี้แนวคิดเรื่อง "อนุกรมวิธานแบบผสมผสาน" (integrative taxonomy) จึงถูกนำมาใช้ในการจำแนกชนิดแมลงกลุ่มนี้ โดยเป็นแนวทางที่ผสมผสานเทคนิคหลากหลายที่มีความน่าเชื่อถือเข้าด้วยกันอย่างน้อย 2–3 วิธี (Clarke and Schutze, 2014)

ในประเทศไทย ยุวรินทร์และคณะ (2565) ได้ใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายนอกและอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ (male genitalia) เพื่อจำแนกแมลงวันหนอนชอนใบที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ พบว่ามีอยู่ 5 ชนิด ได้แก่ *L. brassicae*, *L. chinensis*, *L. huidobrensis*, *L. sativae* และ *L. trifolii* แต่วิธีดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยความชำนาญสูงและต้องใช้ทักษะเฉพาะในการเตรียมสไลด์อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้เพื่อให้สามารถสังเกตลักษณะที่ใช้ในการจำแนกได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ ยังมีการนำเทคนิคด้านโมเลกุล เช่น การศึกษาดีเอ็นเอบาร์โค้ด (DNA barcoding) และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ (phylogenetic analysis) มาประยุกต์ใช้ร่วมกันในการจำแนกชนิด

แมลงวันหนอนชอนใบ (ยิวรินทร์และคณะ, 2566) ซึ่งเทคนิคเหล่านี้มีต้นทุนสูง เนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่มีราคาสูงและมีข้อจำกัดด้านการปฏิบัติในห้องปฏิบัติการทั่วไป ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาเทคนิคอื่นที่มีประสิทธิภาพ สะดวก ประหยัด และสามารถใช้งานร่วมกับวิธีการอื่น ๆ เพื่อแยกชนิดแมลงสกุล *Liriomyza* ในแนวทางอนุกรมวิธานแบบผสมผสานได้

เทคนิคการวิเคราะห์เชิงมอร์โฟเมตริกส์ของปีก (wing morphometrics) เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติ (Sauer et al., 2020) เทคนิคนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการจำแนกชนิดของสิ่งมีชีวิตและศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ (Rohlf, 2002) โดยอาศัยหลักการทางเรขาคณิตผนวกกับการวิเคราะห์สถิติหลายตัวแปร เพื่อวิเคราะห์รูปร่างของสิ่งมีชีวิตอย่างมีระบบ เทคนิคนี้มีจุดเด่นคือ สะดวก มีความแม่นยำสูง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแมลงหลากหลายกลุ่ม เช่น แมลงวันหัวเขียว และยุงในทางการแพทย์ (Sontigun et al., 2017; Sauer et al., 2020) ผึ้ง และชันโรงในกลุ่มแมลงผสมเกสร (กิตติยาภรณ์และคณะ, 2565; Rattanawanee et al., 2020; Ndungu et al., 2023) แมลงปอ (Tarris-Sammaniego et al., 2023) สำหรับแมลงศัตรูทางการเกษตร Schutze et al. (2015) ได้นำมอร์โฟเมตริกส์มาใช้จำแนกแมลงวันผลไม้ในกลุ่ม *Bactrocera dorsalis* complex ซึ่งมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แปรผันสูง ทำให้สามารถยืนยันได้ว่า *B. invadens* และ *B. dorsalis* เป็นแมลงชนิดเดียวกัน จากข้อดีดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการใช้เทคนิคมอร์โฟเมตริกส์ของปีกในการจำแนก และแยกความแตกต่างของชนิดแมลงวันหนอนชอนใบในสกุล *Liriomyza* ได้แก่ *L. brassicae* *L. chinensis* *L. huidobrensis* *L. sativae*

และ *L. trifolii* เพื่อนำไปใช้ในการตรวจวินิจฉัยชนิดแมลงวันหนอนชอนใบที่พบในพืชส่งออกอย่างมีประสิทธิภาพ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การเตรียมตัวอย่างปีกแมลงวันหนอนชอนใบ

นำตัวอย่างแมลงวันหนอนชอนใบจากพืชที่มีการจำแนกชนิดจากสัณฐานวิทยา และวิเคราะห์ยืนยันชนิดโดยใช้เทคนิคทางดีเอ็นเอของยิวรินทร์และคณะ (2565; 2566) มาทำสไลด์ถาวรของปีก โดยการตัดปีกด้านขวาของบนสไลด์ที่หยดน้ำยา canada balsam แล้วปิดทับด้วยกระจกปิดสไลด์ โดยใช้ปีกแมลงวันหนอนชอนใบจำนวน 20 ตัวอย่าง/ชนิด (Table 1) นำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 40-45°C เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อให้ให้น้ำยา canada balsam แห้ง และปีกคงรูปในสภาพสมบูรณ์ จากนั้นถ่ายภาพปีกแมลงวันหนอนชอนใบด้วยกล้องจุลทรรศน์เชิงซ้อน (compound light microscope) Olympus รุ่น CX41RF (Olympus Co., Tokyo, Japan) บันทึกภาพถ่ายปีกแมลงวันหนอนชอนใบในรูปแบบของ JPEG ไฟล์ จากนั้นกำหนดจุดสังเกต (landmark based data) บนปีกแมลงวันหนอนชอนใบซึ่งประยุกต์จาก Shiao (2004) ด้วยโปรแกรม TPSDIG2 Version 2.17 (Rohlf, 2013) บันทึกไฟล์ในรูปแบบของ TPS ไฟล์ เพื่อนำไปศึกษาข้อมูลมอร์โฟเมตริกส์

### 2. การศึกษารูปร่างปีกแมลงวันหนอนชอนใบด้วยเทคนิคมอร์โฟเมตริกส์

2.1 ศึกษาขนาดเซนทรอยด์ (centroid sizes) ของแมลงวันหนอนชอนใบตามวิธีการของ Schutze et al. (2012) โดยวิเคราะห์ขนาดเซนทรอยด์ด้วยโปรแกรม MorphoJ 1.06 (Klingenberg, 2011) ซึ่งเป็นการคำนวณจากการรวมระยะทางระหว่างจุดสังเกตแต่ละจุด กับจุดกึ่งกลางของจุดสังเกต (ตำแหน่งเฉลี่ย

ในพื้นที่สองมิติของพิกัดทั้งหมด) และนำผลรวมที่ได้มาถอดรากที่สอง (Boontop, 2016) ทำการเปรียบเทียบขนาดเซนทรอยด์ของปีกแมลงวันหนอน

ซ้อนใบแต่ละชนิดโดยหาค่าเฉลี่ย และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's post hoc test

**Table 1** Leafminer flies, their host plants and collection locations for this study

Leafminer species	Host plant species	Collection location (subdistrict, district, province)	Number of collected samples
<i>L. brassicae</i>	<i>Brassica chinensis</i> L.	Nong Prue, Bang Lamung, Chonburi	5
	<i>B. juncea</i> (L.)	Lat Yao, Chatuchak, Bangkok	2
	<i>B. oleracea</i> L.	Yang Chum Noi, Yang Chum Noi, Si Sa Ket	5
	<i>B. rapa</i> L.	Mae Win, Mae Wang, Chiang Mai	5
	<i>B. oleracea</i> L.	Tha Yang, Tha Yang, Phetchaburi	3
<i>L. chinensis</i>	<i>Allium ascalonicum</i> L.	Tha Muang, Tha Muang, Kanchanaburi	5
	<i>A. sativum</i> L.	Ta Ket, Uthumphon Phisai, Si Sa Ket	5
	<i>A. cepa</i> L.	Long Khot, Phrao, Chiang Mai	5
	<i>A. tuberosum</i> Rottl.	Nong Ngu Lueam, Mueang, Nakhon Pathom	5
<i>L. huidobrensis</i>	<i>Solanum tuberosum</i> L.	Kong Khaek, Mae Chaem, Chiang Mai	5
	<i>S. tuberosum</i> L.	Mae Faek Mai, San Sai, Chiang Mai	2
	<i>S. tuberosum</i> L.	Long Khot, Phrao, Chiang Mai	8
	<i>S. tuberosum</i> L.	Kong Khaek, Mae Chaem, Chiang Mai	5
<i>L. sativae</i>	<i>Vigna unguiculata</i>	Don Cha-em, Tha Maka, Kanchanaburi	5
	<i>Sucumis sativus</i> L.	Thung Thong, Tha Muang, Kanchanaburi	5
	<i>Cucurbita moschata</i> Decne.	Chorakhe Sam Phan, U Thong, Suphan Buri	5
	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	Bo Luang, Hot, Chiang Mai	5
<i>L. trifolii</i>	<i>Ocimum basilicum</i> L.	Si Maha Pho, Nakhon Chai Si, Nakhon Pathom	10
	<i>Aqium graveolens</i> L.	Sam Khwai Phueak, Mueang, Nakhon Pathom	3
	<i>L. esculentum</i> Mill.	Pang Hin Fon, Mae Chaem, Chiang Mai	7

2.2 ศึกษา Procrustes superimposition เพื่อเปรียบเทียบรูปร่างของปีกแมลงวันหนอนซ้อนใบโดยการปรับตำแหน่ง การหมุน และการปรับขนาดให้สอดคล้องกัน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์รูปร่างของปีกแมลงวันหนอนซ้อนใบได้อย่างแม่นยำ โดยลดอิทธิพลของความแตกต่างด้านขนาดและทิศทางของแต่ละตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์การกระจายของชุดข้อมูลทางรูปร่างทางสถิติ เพื่อตรวจหาค่าผิดปกติ (outliers) โดยใช้พิกัดร่วม (co-ordinate system) ที่ปรับใหม่จากการกำหนดจุดสังเกต 16 จุด บนปีกของแมลงวันหนอนซ้อนใบแต่ละตัวในระบบสองมิติ (2D

landmark-based analysis) ข้อมูลที่ได้นำไปศึกษาความแปรผันของรูปร่างปีกโดยใช้โปรแกรม MorphoJ

2.3 วิเคราะห์ผลของขนาดลำตัวที่มีต่อรูปร่างปีก (allometric effect) เพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตำแหน่งการวัด หรือการกำหนดทิศทางเมื่อมีการเลื่อน การปรับขนาด หรือการหมุนภาพออก ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องและไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง (Zelditch et al., 2012) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมการถดถอย (regression analysis) ในโปรแกรม MorphoJ โดยกำหนด centroid size (CS) เป็นตัวแปรอิสระและ

procrustes coordinates เป็นตัวแปรตาม เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและรูปร่างปีก และทำการวิเคราะห์ถดถอยเพื่อประเมินความแปรปรวนของรูปร่างพร้อมตรวจสอบค่าสหสัมพันธ์ และระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p-value) รวมทั้งแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างปีกผ่าน deformation grids เพื่อแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างปีกที่สัมพันธ์กับขนาดลำตัว

2.4 วิเคราะห์ความแตกต่างของรูปร่างปีกโดยใช้ canonical variate analysis (CVA) (Zelditch et al., 2012) ในโปรแกรม MorphoJ เพื่อจำแนกกลุ่มตัวอย่างตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยใช้ procrustes coordinates เป็นตัวแปรตามและกำหนดกลุ่มตัวอย่างเป็นตัวแปรอิสระ ได้แก่ ชนิดแมลงวันหนอนชอนใบ แล้วทำการวิเคราะห์ CVA คำนวณ canonical variates (CVs) แสดงผลผ่านแผนภาพการกระจาย เพื่อประเมินการแยกกลุ่มจากการใช้ค่า eigenvalues ร่วมกับ variance (%) และ cumulative percentage ในการเลือก CVs ที่สำคัญที่สุดสำหรับการอธิบายลักษณะหรือความแตกต่างระหว่างกลุ่มประชากร

2.5 วิเคราะห์ค่า Mahalanobis distance และ Procrustes distance พร้อมการทดสอบค่าความแตกต่างเชิงสถิติด้วย permutation test ( $n = 10,000$ ) เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของรูปร่างปีกระหว่างกลุ่มพร้อมแสดง deformation grids เพื่อแปลผลการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างปีกที่สัมพันธ์กับแต่ละ CV

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. จุดสังเกตบนปีกแมลงวันหนอนชอนใบ

การใช้จุดสังเกตทั้ง 16 จุดบนปีกแมลงวันหนอนชอนใบนี้เพื่อแสดงตำแหน่งที่มีความสอดคล้องกันทางโครงสร้าง (homologous landmarks) ในแมลงวันหนอนชอนใบทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ *Liriomyza*

*brassicae* L. *chinensis* L. *huidobrensis* L. *sativae* และ *L. trifolii* จุดดังกล่าวเป็นจุดที่มีความคงที่และสามารถเทียบเคียงตำแหน่งได้ทั้งในระดับประชากรภายในชนิดเดียวกัน (intraspecific) และระหว่างชนิดต่าง ๆ (interspecific) ซึ่งการวิเคราะห์รูปร่าง (shape analysis) บนพื้นฐานของจุดสังเกตที่มีความสอดคล้องกันทางโครงสร้างมีความแม่นยำสูงในการตรวจจับความแปรผันทางรูปร่างที่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า โดยเฉพาะในกลุ่มแมลงที่มีลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอกคล้ายคลึงกัน เช่น แมลงวันหนอนชอนใบ *Liriomyza* spp. และการศึกษานี้ทำในปีกของแมลงวันหนอนชอนใบ ซึ่งปีกเป็นโครงสร้างที่มีความเสถียร ไม่แปรผันตามสภาพแวดล้อมมากนัก เมื่อเทียบกับโครงสร้างภายนอกอื่น ๆ เช่น สีหรือลวดลาย อีกทั้งยังประกอบด้วยเส้นปีกและจุดเชื่อมต่อที่สามารถกำหนดตำแหน่งได้อย่างแน่นอนและสม่ำเสมอ จุดสังเกตทั้ง 16 จุดที่กำหนดขึ้นจึงมีบทบาทสำคัญในการอธิบายความแตกต่างของรูปร่างปีกระหว่างชนิดแมลง (Figure 1A-E) โดยสามารถสะท้อนความหลากหลายทางสัณฐานวิทยาที่สอดคล้องกับระดับความแตกต่างทางอนุกรมวิธาน

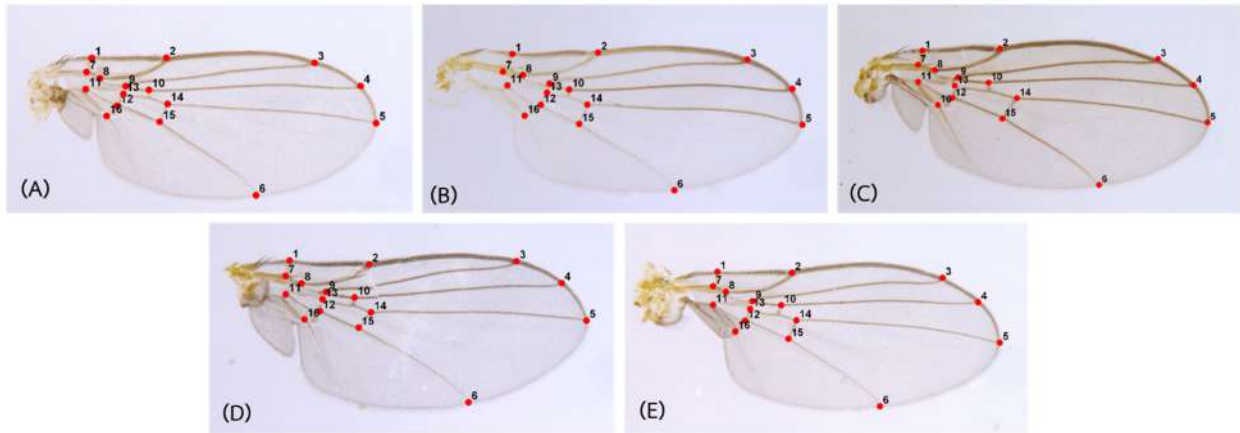
### 2. รูปร่างปีกแมลงวันหนอนชอนใบ

#### 2.1 ขนาดเซนทรอยด์ของปีก

จากข้อมูลขนาดเซนทรอยด์ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $F=1.678$ ;  $df=4, 95$ ;  $P<0.05$ ) โดยพบว่า แมลงวันหนอนชอนใบ *L. brassicae* มีขนาดเซนทรอยด์เล็กที่สุด ( $1.58\pm 0.03$ ) และ *L. huidobrensis* มีขนาดเซนทรอยด์ใหญ่ที่สุด ( $2.34\pm 0.05$ ) (Table 2) ส่วนแมลงวันหนอนชอนใบ *L. chinensis* และ *L. huidobrensis* นั้นมีขนาดเซนทรอยด์แตกต่างจากแมลงวันหนอนชอนใบอีก 3 ชนิด คือ *L. brassicae* *L. sativae* และ *L. trifolii* ซึ่งทั้งสามชนิดนั้นไม่มีความแตกต่างของขนาดเซนทรอยด์

(Table 2) ผลการศึกษาที่สอดคล้องกับ Tantowijoyo and Hoffmann (2011) ที่ใช้ขนาดเซนทรอยด์ของปีกในการศึกษาความแตกต่างของ *L. huidobrensis* และ *L. sativae* ตามระดับความสูง พบความแปรปรวนที่มีนัยสำคัญทางสถิติในลักษณะเดียวกับผลการศึกษาของ Schutze et al. (2012) ที่ใช้ขนาดเซนทรอยด์

ในการเปรียบเทียบรูปร่างของปีกแมลงวันผลไม้ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลขนาดเซนทรอยด์เป็นตัวชี้วัดที่เหมาะสมต่อความแตกต่างทางลักษณะทางสัณฐานวิทยาในชนิด สามารถนำมาศึกษาความสัมพันธ์กับรูปร่างปีกได้



**Figure 1** Right-hand wing of leafminers showing each of the 16 landmarks used in the morphometric analysis using TPSDIG2 program (A) *L. brassicae* (B) *L. chinensis* (C) *L. huidobrensis* (D) *L. sativae* (E) *L. trifolii*

**Table 2** Mean of wing centroid size and standard error (mean±SE) of five *Liriomyza* species examined in this study

Leafminer species	Wing centroid size (mean±SE) <sup>1/</sup>	Significance <sup>2/</sup>
<i>L. brassicae</i>	1.575±0.032	A
<i>L. chinensis</i>	2.070±0.032	B
<i>L. huidobrensis</i>	2.341±0.047	C
<i>L. sativae</i>	1.618±0.012	A
<i>L. trifolii</i>	1.624±0.015	A

<sup>1/</sup> n=20

<sup>2/</sup> Different capital letters indicate significant differences (P<0.05; determined by Tukey's post hoc test after one way ANOVA) between leafminer species

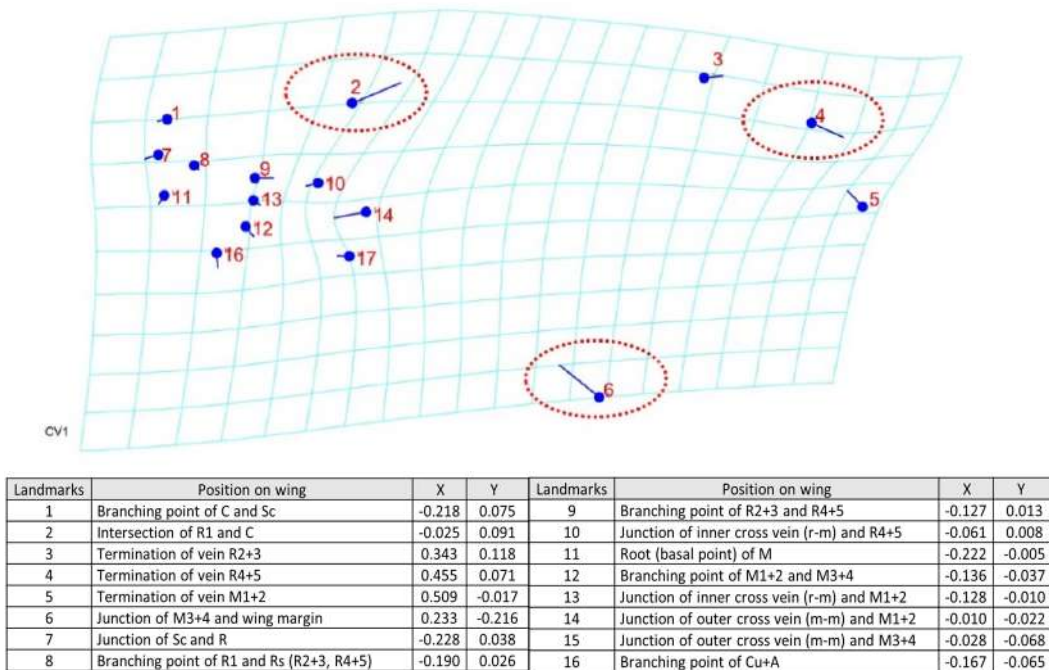
## 2.2 Procrustes superimposition ของปีก

การศึกษารูปร่างปีกต้องอาศัยการวิเคราะห์ Procrustes superimposition ซึ่งให้ข้อมูลในรูปของพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates) โดยเป็น

พิกัดของจุดสังเกตบนปีกใน ระบบสองมิติ (แกน X และ Y) พบว่าค่าเฉลี่ยของพิกัดในแนวนอนและแนวตั้งมีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถใช้ในการระบุความแตกต่างของรูปร่างปีกในกลุ่มตัวอย่างแมลงวัน

หนอนซอนใบได้อย่างชัดเจน ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบรูปร่างปีกได้โดยปราศจากอิทธิพลของขนาดหรือการหมุนที่แตกต่างกันระหว่างตัวอย่าง กระบวนการนี้ถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการศึกษา

มอร์โฟเมตริกส์ เนื่องจากช่วยให้สามารถวิเคราะห์ความแปรผันของรูปร่างได้อย่างแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือ



**Figure 2** The Procrustes superposition illustrates the variation in sixteen landmarks on leafminer wings across five species. The figure presents the configurations of landmarks after removing differences in position, scale and orientation

จากการวิเคราะห์จุดสังเกตทั้ง 16 จุด พบว่าจุดสังเกตที่ตำแหน่ง 2 4 และ 6 ซึ่งอยู่บริเวณขอบปีกมีความแปรผันสูงที่สุด จากการมีก้านลอลลิพอป (lollipop) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ระดับความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในจุดสังเกต โดยค่าความแปรผันของจุดเหล่านี้มีค่ามากกว่าจุดสังเกตในตำแหน่งอื่น (Figure 2) สอดคล้องกับงานของ Shiao (2004) ที่รายงานว่าจุดสังเกตในตำแหน่งดังกล่าวมีความแปรผันสูงที่สุด นอกจากนี้ ค่า Procrustes superimposition ที่วิเคราะห์ได้ของจุดสังเกตทั้ง 16 จุด ไม่มีค่าผิดปกติ (outliers) ข้อมูลที่ได้จึงสามารถนำไปใช้ศึกษาความแปรผันของรูปร่างปีกแมลงวันหนอนซอนใบต่อไปได้อย่างน่าเชื่อถือ

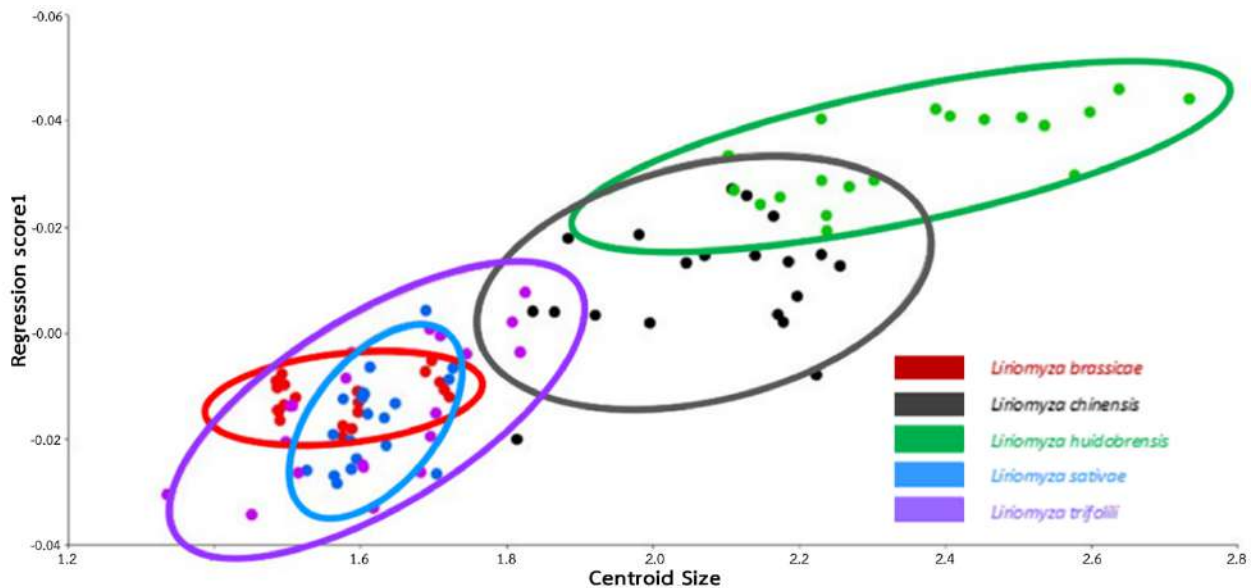
### 2.3 การเปลี่ยนแปลงขนาดของลำตัวที่มีผลต่อรูปร่างของปีก (allometric effect)

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่างขนาด centroid size และ Procrustes distance ของปีกแมลงวันหนอนซอนใบ โดยแต่ละจุดสี่แทนตัวอย่างปีกของแมลงวันหนอนซอนใบในแต่ละชนิด และจุดเหล่านี้แสดงการกระจายและแนวโน้มความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างรูปร่างและขนาดอย่างชัดเจน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างรูปร่างและขนาดปีก โดยขนาดปีกสามารถอธิบายความแปรปรวนของรูปร่างปีกได้ 22.18% ( $P < 0.0001$ ) (Figure 3) และค่าความแปรผันของรูปร่าง

ปีกที่เกิดจากผลกระทบของขนาด (allometric shape variation) มีสัดส่วนเพียง 1.51% เท่านั้น

ผลการศึกษานี้ยืนยันว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดของลำตัวหรือขนาดปีกไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อรูปร่างของปีกแมลงวันหนอนซอนไบ ซึ่งทำให้สามารถใช้ข้อมูลรูปร่างของปีกเป็นตัวแปรอิสระสำคัญในการวิเคราะห์เพื่อแยกความแตกต่างระหว่าง

ชนิดของแมลงได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้ ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Krosch et al. (2013) รวมทั้งยูวรินทร์และคณะ (2564) ที่ได้รายงานผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อประเมิน allometric effect ในแมลงวันผลไม้ และพบว่ารูปร่างของปีกไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดลำตัวอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน



**Figure 3** Regression of wing shape (represented by regression score one) on centroid size (a measure of wing size) in leafminers. Each colored dot represents the wing of a leafminer from one of the listed species

#### 2.4 รูปร่างของปีกแมลงวันหนอนซอนไบ

การวิเคราะห์การจัดกลุ่มความสัมพันธ์ตามองค์ประกอบ CVA หลังจากกำจัดปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนด้วย allometric effect แล้วพบว่า ข้อมูลเป็นแบบพหุมิติ (multidimensional shape data) ซึ่งอาจมีหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งมิติ โดยพบความแตกต่างระหว่างกลุ่มประชากร ซึ่งจัดกลุ่มแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ตามผลของ CV และพบว่า CV1 (eigenvalue=13.40) มีความสำคัญสูงสุดสามารถอธิบายได้ถึง 46.05% ของความแปรผันทั้งหมด CV2 (eigenvalue=10.13) อธิบายความแปรผันได้ 34.82% CV3 (eigenvalue=2.96) อธิบาย 10.17% และ CV4

(eigenvalue=2.61) อธิบาย 8.95% (Table 3) CV1 และ CV2 แสดงสามารถแยก *L. chinensis* และ *L. huidobrensis* ออกจาก *L. brassicae* *L. sativae* และ *L. trifolii* ที่เกาะกลุ่มกันตามแนวแกน CVA ได้อย่างชัดเจน (Figure 4A) มีรูปร่างของปีกที่แตกต่างจากชนิดอื่น ๆ และเมื่อวิเคราะห์ถึง CV3 สามารถช่วยแยกแยะข้อมูลในมิติที่ต่างออกไป (Figure 4B) *L. huidobrensis* ไปรวมกลุ่มกับ *L. brassicae* *L. sativae* และ *L. trifolii* แต่ *L. chinensis* ยังคงแยกออกจากแมลงวันหนอนซอนไบทั้ง 4 ชนิดอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่า *L. chinensis* มีรูปร่างปีกที่แตกต่างจากชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน

**Table 3** Summary statistics for the canonical variate analysis (CVA) of *Liriomyza* spp. populations in this study, including eigenvalues, percentage of variance, and cumulative percentage explained by each canonical variate (CV)

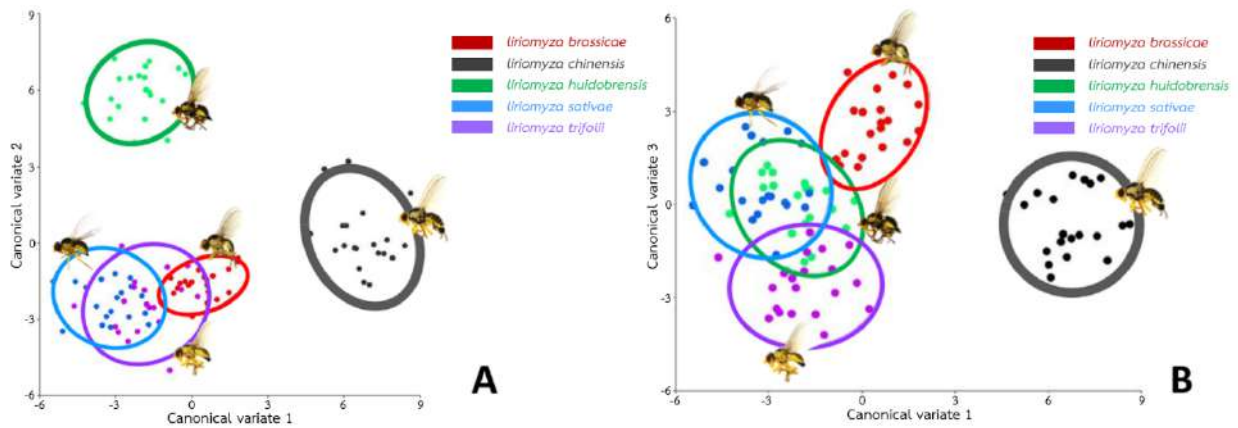
Canonical variate (CV)	Eigenvalues	Variance (%)	Cumulative (%)
CV1	13.40	46.05	46.05
CV2	10.13	34.82	80.88
CV3	2.96	10.17	91.05
CV4	2.61	8.95	100.00

## 2.5 ค่า Mahalanobis distance และ Procrustes distance

ค่า Mahalanobis distance ของรูปร่างปีกแมลงวันหนอนชอนใบทั้ง 5 ชนิด พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.0001$ ) ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดความแตกต่างระหว่างกลุ่มชนิดในเชิงหลายมิติ (multivariate distance) โดย *L. chinensis* มีความแตกต่างจากชนิดอื่น ๆ มากที่สุด มีค่าสูงถึง 10.5446 เมื่อเทียบกับชนิดอื่น ขณะที่กลุ่มของ *L. brassicae* *L. sativae* และ *L. trifolii* มีค่าระยะห่างต่ำ แสดงถึงความใกล้เคียงกันของรูปร่างปีกในระดับที่อาจทำให้เกิดความสับสนในการจำแนกชนิดได้ (Table 4) สอดคล้องกับ Shiao (2004) ซึ่งได้ใช้วิธี minimum spanning tree เพื่อจัดกลุ่มรูปร่างของปีกแมลงวันหนอนชอนใบ และพบว่า *L. chinensis* มีรูปร่างปีกแตกต่างอย่างชัดเจนจากชนิดอื่น ได้แก่ *L. trifolii* *L. brassicae* *L. sativae* *L. huidobrensis* และ *L. bryoniae* ขณะเดียวกัน กลุ่มของ *L. trifolii* *L. brassicae* และ *L. sativae* ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยมีความคล้ายคลึงกันทั้งในเชิงรูปร่างปีกและลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายนอก ลักษณะดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดของการใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายนอกในการจำแนกชนิดในกลุ่มที่มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก ซึ่งอาจนำไปสู่ความผิดพลาดในการวินิจฉัยชนิด ดังที่ ยูวรินทร์และคณะ (2565)

ชี้ให้เห็นว่า *L. brassicae* *L. sativae* และ *L. trifolii* มีลักษณะภายนอกคล้ายคลึงกันอย่างมาก การวิเคราะห์รูปร่างปีกโดยใช้วิธีมอร์โฟเมตริกส์ร่วมกับ Mahalanobis distance จึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำของการจำแนกชนิดแมลงวันหนอนชอนใบที่มีความคล้ายคลึงกันสูงในเชิงสัณฐานวิทยา

ผลการศึกษายังพบว่า แมลงวันหนอนชอนใบ *L. chinensis* มีรูปร่างปีกแตกต่างจากแมลงวันหนอนชอนใบชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Supartha and Susila (2018) ที่ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและโมเลกุลของ *Liriomyza* ในต้นหอมในประเทศอินโดนีเซีย พบว่า *L. chinensis* มีความแตกต่างของรูปร่างปีกและแยกออกอย่างชัดเจนจากแมลงวันหนอนชอนใบชนิดอื่น ๆ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับลำดับนิวคลีโอไทด์และความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ โดยพบว่า *L. chinensis* มีลำดับนิวคลีโอไทด์และความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการที่แยกออกอย่างชัดเจนจากแมลงวันหนอนชอนใบอีก 4 ชนิด ได้แก่ *L. brassicae* *L. huidobrensis* *L. sativae* และ *L. trifolii* ขณะที่แมลงวันหนอนชอนใบทั้ง 4 ชนิดนี้มีลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ใกล้เคียงกัน สะท้อนถึงความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการที่ใกล้ชิดกัน (Chen et al., 2018; Liang et al., 2023) ดังนั้น ขนาดเซนทรอยด์ ความแตกต่างของรูปร่างปีก และค่า Mahalanobis



**Figure 4** The first three variates from the canonical variate analysis of geometric morphometric wing shape data for leafminers. Twenty wings were analyzed per species, with 95% group confidence ellipses represented. Each colored dot indicates a wing from one of the listed species

**Table 4** Pairwise Mahalanobis distances based on leafminer wing-shape analysis

Leafminer species	<i>L. brassicae</i>	<i>L. chinensis</i>	<i>L. huidobrensis</i>	<i>L. sativae</i>	<i>L. trifolii</i>
<i>L. brassicae</i>	-	-	-	-	-
<i>L. chinensis</i>	7.7638	-	-	-	-
<i>L. huidobrensis</i>	8.5248	<b>10.5446</b>	-	-	-
<i>L. sativae</i>	6.0366	10.4632	8.6375	-	-
<i>L. trifolii</i>	5.7039	9.4460	8.7715	5.2605	-

The diagonal shows Mahalanobis distances calculated from canonical variate analysis across all five species. Values in bold are significant after Bonferroni correction for multiple tests, with an initial  $P=0.05$  and a corrected  $P<0.0001$

distance สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการจำแนกชนิดของแมลงวันหนอนซอนไบได้ เนื่องจากลักษณะทางสัณฐานที่ปรากฏ (phenotype) ของสิ่งมีชีวิต เช่น รูปร่างของปีก เป็นลักษณะที่สามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมไปยังรุ่นลูกหลานได้ และมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างรุ่นน้อยมาก ซึ่งแตกต่างจากลักษณะอื่น ๆ เช่น ขนาดปีก ขนาดลำตัวหรือสีสัน ที่มักมีความแปรผันสูงระหว่างรุ่นอันเนื่องมาจากปัจจัยภายนอก เช่น สภาพแวดล้อมและอาหารที่แมลงกินเข้าไป (Dujardin, 2008) ในทางกลับกัน รูปร่างของปีกไม่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยแวดล้อม ความแตกต่างของรูปร่างปีกมีเพียงเล็กน้อย สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ที่

แม่นยำในการจำแนกชนิดของแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Schutze et al., 2012) ทั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาทางอนุกรมวิธาน การตรวจสอบแมลงศัตรูพืชในกระบวนการกักกันพืช อันจะนำไปสู่การวินิจฉัยและจัดการแมลงศัตรูพืชอย่างเป็นระบบและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

### สรุปผลการทดลอง

เทคนิคมอร์โฟเมตริกส์ของปีกสามารถใช้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกชนิดของแมลงวันหนอนซอนไบในสกุล *Liriomyza* ได้ โดยอาศัยข้อมูลเชิงปริมาณของขนาดเซนทรอยด์และ

รูปร่างปีก ซึ่งสามารถใช้แยกความแตกต่างระหว่างชนิดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย *L. brassicae* มีขนาดเซนทรอยด์เล็กที่สุดในขณะที่ *L. huidobrensis* มีขนาดใหญ่ที่สุด และชนิด *L. chinensis* และ *L. huidobrensis* มีรูปร่างปีกที่แตกต่างอย่างชัดเจนจาก *L. brassicae*, *L. sativae* และ *L. trifolii* ที่มีลักษณะปีกคล้ายคลึงกัน ดังนั้น เทคนิคมอร์โฟเมทริกส์ของปีกจึงสามารถใช้แยกชนิดแมลงวันหนอนซอนไบ *L. huidobrensis* และ *L. chinensis* ออกจากชนิดอื่นอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการใช้เทคนิคนี้มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความคล้ายคลึงกันของรูปร่างปีกในบางชนิดที่อาจทำให้การจำแนกด้วยลักษณะภายนอกเกิดความคลาดเคลื่อนได้ รวมถึงการกำหนดจุดสังเกตที่ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญและความแม่นยำสูง

### เอกสารอ้างอิง

กิตติยาภรณ์ นิ่มพร้อม ศิรประภา จันทร์สมศรี และทิพย์วรรณ สรรพสัจย์. 2565. การวัดสัณฐานแบบเรขาคณิตบนปีกหน้าของประชากรผึ้งพันธุ์ (*Apis mellifera*) และผึ้งพันธุ์บักฟาสต์ทางการค้าในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 27(2): 734-752.

ยุวรินทร์ บุญทาบ ชมัยพร บัวมาศ เกศสุตา สนศิริ จอมสุรางค์ ดวงธิสาร และสิทธิสิโรตม แก้วสวัสดิ์. 2564. การศึกษาความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการ และข้อมูลมอร์โฟเมทริกส์ของปีกแมลงวันผลไม้เผ่า Dacini (Diptera: Tephritidae) ในประเทศไทย. วารสารวิชาการเกษตร. 39(2): 118-130.

ยุวรินทร์ บุญทาบ สุนัดดา เขาวลิต ชมัยพร บัวมาศ และสิทธิสิโรตม แก้วสวัสดิ์. 2565. อนุกรมวิธานแมลงวันหนอนซอนไบในวงศ์ Agromyzidae (Order: Diptera) ในพืชผัก. วารสารวิชาการเกษตร. 40(2): 126-139.

ยุวรินทร์ บุญทาบ สุนัดดา เขาวลิต ชมัยพร บัวมาศ เกศสุตา สนศิริ และเฉลิมรุจ สมปาก. 2566. การศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคดและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการเพื่อการจำแนกชนิดที่เชื่อถือได้ของแมลงวันหนอนซอนไบ

(Diptera: Agromyzidae) ในประเทศไทย. วารสารเกษตร. 39(3): 365-376.

- Boontop, Y. 2016. Natural Variation and Biogeography of the Melon Fruit Fly, *Zeugodacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) in Southeast-Asia and the West-Pacific. Ph.D. Thesis. Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.
- Chen, J.Y., Y.W. Chang, S.Z. Zheng, M.X. Lu and Y.Z. Du. 2018. Comparative analysis of the *Liriomyza chinensis* mitochondrial genome with other Agromyzids reveals conserved genome features. Scientific Reports. 8(1): 8850.
- Clarke, A. R. and M. K. Schutze, 2014. The complexities of knowing what it is you are trapping. pp. 611-632. In: Trapping and the Detection, Control, and Regulation of Tephritid Fruit Flies. T. Shelly, N. Epsky, E. B. Jang, J. Reyes-Flores & R. Vargas (Eds.). Springer Netherlands.
- Dujardin, J.P. 2008. Morphometrics applied to medical entomology. Infection, Genetics and Evolution. 8(6): 875-890.
- International Plant Protection Convention. 2016. Diagnostic protocols for regulated pests: DP 16: Genus *Liriomyza*. In: ISPM 27. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Klingenberg, C.P. 2011. MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. Molecular Ecology Resources. 11(2): 353-357.
- Krosch, M.N., M.K. Schutze, K.F. Armstrong, Y. Boontop, L.M. Boykin, T.A. Chapman, A. Englezou, S.L. Cameron and A.R. Clarke. 2013. Piecing together an integrative taxonomic puzzle: Microsatellite, wing shape and aedeagus length analyses of *Bactrocera dorsalis* s.l. (Diptera: Tephritidae) find no evidence of multiple lineages in a proposed contact zone along the Thai/Malay Peninsula. Systematic Entomology. 38(1): 2-13.

- Liang, Y.X., S.J. Du, Y.J. Zhong, Q.J. Wang, Q. Zhou, F.H. Wan, J.Y. Guo and W.X. Liu. 2023. Molecular phylogeny and identification of agromyzid leafminers in China, with a focus on the world wide genus *Liriomyza* (Diptera: Agromyzidae). *Journal of Integrative Agriculture*. 22(10): 3115-3134.
- Ndungu, N., N.J. Vereecken, M. Gerard, S. Kariuki, L.K. Kati, A. Youbissi, S. Nassong, B. Hundt, J. Jaramillo and K. Nkoba. 2023. Can the shape of the wing help in the identification of African stingless bee species? (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Wing geometric morphometrics: A tool for African stingless bee taxonomy*. *International Journal of Tropical Insect Science*. 43(2): 749-759.
- Rattanawanee, A., O. Duangphakdee, C. Chanchao, C. Teerapakpinyo, N. Warrit, S. Wongsiri and B.P. Oldroyd. 2020. Genetic characterization of exotic commercial honey bee (Hymenoptera: Apidae) populations in Thailand reveals high genetic diversity and low population substructure. *Journal of Economic Entomology*. 133(1): 34-42.
- Rohlf, F.J. 2002. Geometric morphometrics and phylogeny. *Systematics Association Special Volume*. 64: 175-193.
- Rohlf, F.J. 2013. *tpsDig, Digitize Landmarks and Outlines*. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, NY, USA.
- Sauer, F.G., L. Jaworski L. Erdbeer, A. Heitmann, J. Schmidt-Chanasit, E. Kiel and R. Lühken. 2020. Geometric morphometric wing analysis represents a robust tool to identify female mosquitoes (Diptera: Culicidae) in Germany. *Scientific Reports*. 10(1): 17613.
- Schutze, M.K., A. Jessup and A.R. Clarke. 2012. Wing shape as potential discriminator of morphologically similar pest taxa within the *Bactrocera dorsalis* species complex (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological Research*. 102(1): 103-111.
- Schutze, M.K., K. Mahmood, A. Pavasovic, W. Bo, J. Newman, A.R. Clarke, M.N. Krosch and S.L. Cameron. 2015. One and the same: Integrative taxonomic evidence that *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae) is the same species as the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis*. *Systematic Entomology*. 40(2): 472-486.
- Shiao, S.F. 2004. Morphological diagnosis of six *Liriomyza* species (Diptera: Agromyzidae) of quarantine importance in Taiwan. *Applied Entomology and Zoology*. 39(1): 27-39.
- Sontigun, N., K.L. Sukontason and B.K. Zajac, R. Zehner, K. Sukontason, A. Wannasan and J. Amendt. 2017. Wing morphometrics as a tool in species identification of forensically important blow flies of Thailand. *Parasites & Vectors*. 10(1): 229.
- Supartha, I. W., and I. W. Susila. 2018. Morphological and molecular characteristics of *Liriomyza* sp. (Diptera: Agromyzidae) on onion plants (*Allium cepa* L.) in Bali. *Asian Journal of Agriculture and Biology*. 6(4): 524-529.
- Tantowijoyo, W. and A. Hoffmann. 2011. Variation in morphological characters of two invasive leafminers, *Liriomyza huidobrensis* and *L. sativae*, across a tropical elevation gradient. *Journal of Insect Science*. 11: 69.
- Tarris-sammaniego, S., J. Muzón and M. S. Iglesias. 2023. When size and shape matter: Morphometric characterization of two sympatric dragonflies of the genus *Perithemis* (Odonata: Libellulidae). *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*. 95(Suppl 1): e20220583.
- Zelditch, M.L., D.L. Swiderski and H.D. Sheets. 2012. *Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer*. Academic Press. N.Y. 78 p

การพัฒนาเครื่องหมายสปีส์ของยีน Lycopene Beta-Cyclase (*lcyB*)  
ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารเบต้าแคโรทีนในมันสำปะหลัง  
SNPs Marker Development for Lycopene Beta-Cyclase (*lcyB*) Gene  
Related to Beta-Carotene Biosynthesis in Cassava

ธนาวดี คำชู<sup>1/\*</sup> อัจฉราพรรณ ใจเจริญ<sup>2/</sup> สุวลักษณ์ คັນสนีย์<sup>1/</sup> กฤตยา เพชรผึ้ง<sup>3/</sup>  
Tanavadee Kumchoo<sup>1/\*</sup> Adcharapun Chaicharoen<sup>2/</sup> Suwaluk Sansanee<sup>1/</sup>  
Krittaya Petchpoung<sup>3/</sup>

Received 22 Apr. 2024/Revised 15 Mar. 2025/Accepted 15 Mar. 2025

### ABSTRACT

Single nucleotide polymorphisms (SNPs) molecular markers can be effectively applied to select various traits in plant breeding. The objectives of this study were to develop SNPs markers for the lycopene beta-cyclase (*lcyB*) gene, which is related to beta-carotene biosynthesis in cassava, to examine the genetic variation of SNPs by using the polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism technique, and to analyze beta-carotene content in the fresh root. Twenty cassava cultivars/lines (10 cultivars/lines of yellow fresh root and 10 cultivars/lines of white fresh root) were used in the experiments. The results showed that the yellow fresh root group had beta-carotene content ranging from <40.00-172.93 µg/100g, with the MPER297 variety exhibiting the highest beta-carotene content. In contrast, the white fresh root group contained beta-carotene levels below 40.00 µg/100g. A total of 44 SNPs in the *lcyB* gene were identified, along with 12 restriction enzymes capable of cutting nucleotides at the SNPs positions. Among these 12 SNPs markers of *lcyB*, 8 SNPs showed polymorphism while 4 SNPs were monomorphism. The polymorphic information contents for these SNPs ranged from 0-0.50, with SNP *lcyB* g.1673969 having the highest. The accuracy of these markers varied from 0-75%, with SNP *lcyB* g.1674619 demonstrating an accuracy of 75%. This marker can be used for selecting cassava varieties with high beta-carotene content.

**Keywords:** SNPs markers; lycopene beta-cyclase gene; beta-carotene biosynthesis; cassava

<sup>1/</sup> ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ต.ห้วยโป่ง อ.เมือง จ.ระยอง 21150

<sup>1/</sup> Rayong Field Crops Research Center, Mueang, Rayong 21150, Thailand

<sup>2/</sup> สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

<sup>2/</sup> Biotechnology Research and Development Office, Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

<sup>3/</sup> ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>3/</sup> Scientific Equipment and Research Division, Kasetsart University Research and Development Institute, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

\* Corresponding author: tanavadeekumchoo@gmail.com

## บทคัดย่อ

เครื่องหมายโมเลกุล single nucleotide polymorphisms (SNPs) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกลักษณะต่าง ๆ ในงานปรับปรุงพันธุ์พืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงพัฒนาเครื่องหมาย SNPs ของยีน lycopene beta-cyclase (*lcyB*) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารเบต้าแคโรทีนในมันสำปะหลัง ศึกษาความผันแปรทางพันธุกรรมของตำแหน่ง SNPs โดยใช้เทคนิค polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism และวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในหัวสดมันสำปะหลัง 20 พันธุ์/สายพันธุ์ (กลุ่มสีเนื้อหัวสดสีเหลือง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ และกลุ่มสีเนื้อหัวสดสีขาว 10 พันธุ์/สายพันธุ์) พบว่า กลุ่มสีเนื้อหัวสดสีเหลืองมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในหัวสด <40.00-172.93 ไมโครกรัม/100 ก. ซึ่งพันธุ์ MPER297 มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงสุด และกลุ่มสีเนื้อหัวสดสีขาวปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในหัวสด <40.00 ไมโครกรัม/100 ก. สำหรับความผันแปรทางพันธุกรรมของตำแหน่ง SNPs ของยีน *lcyB* พบทั้งหมด 44 ตำแหน่ง และค้นหาเอ็นไซม์ตัดจำเพาะเพื่อใช้ตัดนิวคลีโอไทด์ที่ตำแหน่ง SNPs ได้ทั้งหมด 12 SNPs เมื่อตรวจสอบความผันแปรทางพันธุกรรมตำแหน่ง SNPs พบว่า มี 8 ตำแหน่ง แสดงลักษณะ polymorphism และมี 4 ตำแหน่ง แสดงลักษณะ monomorphism ซึ่งมีค่า polymorphic information contents 0-0.5 โดย SNP *lcyB* g.1673969 มีค่าสูงสุด ส่วนความแม่นยำมีค่า 0-75% ซึ่ง SNP *lcyB* g.1674619 มีค่าสูงสุด 75% เครื่องหมายนี้สามารถนำมาใช้ตรวจคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังที่มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในหัวสดได้

**คำสำคัญ:** เครื่องหมายสไนป์ส; ยีน lycopene beta-cyclase; การสังเคราะห์สารเบต้าแคโรทีน; มันสำปะหลัง

## บทนำ

พันธุ์มันสำปะหลังในประเทศไทยเป็นพันธุ์ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์อย่างต่อเนื่องให้มีผลผลิตสูง เเปอร์เซ็นต์แป้งสูง และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่ละพันธุ์/สายพันธุ์มักมีลักษณะที่หลากหลายแตกต่างกัน เช่น ลักษณะลำต้น ใบ ดอก และหัวสะสมอาหาร มันสำปะหลังมีลักษณะสีของเนื้อและองค์ประกอบแตกต่างกัน จินณจารและคณะ (2559) ได้จำแนกและประเมินลักษณะทางคุณภาพของหัวและคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลัง 252 พันธุ์ พบว่า พันธุ์ที่มีลักษณะสีของเนื้อหัวทั้งสีขาว สีครีม สีเหลืองอ่อน และสีเหลือง และมีปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญในหัวสดปริมาณสูง เช่น ธาตุเหล็ก สังกะสี แมงกานีส และมีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคและการแปรรูป เช่น ปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันสดต่ำ เนื้อสุก่วนซุยหรือเหนียว แป้งสูง ปริมาณกากใยสูง 70 พันธุ์ และพันธุ์ที่มีเนื้อสีเหลือง 22 พันธุ์

ในหัวมันสำปะหลังมีองค์ประกอบที่สำคัญชนิดหนึ่งคือ สารเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Munzuroglu et al., 2003) มีหลายงานวิจัยศึกษาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน และสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ในหัวสดมันสำปะหลังที่มีลักษณะสีเนื้อหัวสดต่างกัน เช่น สีขาว สีครีม สีเหลือง และสีส้ม (Maziya-Dixon and Dixon, 2015; Belalcazar et al., 2016; Carvalho et al., 2016) พบว่ามันสำปะหลังหัวสดสีส้มมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและแคโรทีนอยด์สูงกว่าหัวสดสีเหลือง สีครีม และสีขาว ตามลำดับ

การศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ และสะสมแคโรทีนอยด์ในหัวมันสำปะหลัง 23 พันธุ์ โดยแบ่งตามสีเนื้อหัวสดเป็น 5 กลุ่ม โดยใช้เทคนิค microarray และ qRT-PCR พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ในกลุ่มสีเนื้อหัวสดกลุ่มต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตขั้นที่ 2 (secondary growth) สีเนื้อหัวสด และขั้นตอนการแบ่งเซลล์ (Carvalho et al., 2016) นอกจากนี้ Udoh et al. (2017) ได้ศึกษายีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ในมันสำปะหลัง 4 ยีน (*crtRB* *PSY2* *lcyE* และ *lcyB*) ในมันสำปะหลัง 167 accessions จาก IITA (International Institute of Tropical Agriculture) โดยวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์และลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน พบว่า มี 37 SNPs (single nucleotide polymorphisms) ที่สามารถนำมาพัฒนาเป็นเครื่องหมายโมเลกุลในการคัดเลือกตัวอย่างมันสำปะหลังได้ ซึ่งยีน *lcyB* จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนจากสารไลโคปีน (lycopene) ไปเป็นสารเบต้าแคโรทีนในกระบวนการสังเคราะห์สารแคโรทีนอยด์ในมันสำปะหลัง (Carvalho et al., 2016)

De Albuquerque et al. (2018) ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของมันสำปะหลัง 1,580 accessions สำหรับเป็นฐานข้อมูลทางพันธุกรรมในมันสำปะหลัง และเปรียบเทียบความผันแปรทางพันธุกรรมของ SNPs แต่ละตำแหน่งในจีโนม ซึ่งสามารถนำข้อมูลความหลากหลายทางพันธุกรรมของ SNPs มาพัฒนาเป็นเครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก เพื่อนำมาใช้ตรวจสอบและจัดจำแนกกลุ่มมันสำปะหลังที่มีสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่แตกต่างกันสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ (Esuma et al., 2016; Luo et al., 2018) การปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังในประเทศไทยให้มีสารเบต้าแคโรทีนสูงยังไม่มีการใช้

เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือก เนื่องจากข้อมูลเครื่องหมายโมเลกุลที่สามารถใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ที่มีสารเบต้าแคโรทีนสูงมีค่อนข้างจำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุล SNPs ของยีน *lycopene beta-cyclase* (*lcyB*) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารเบต้าแคโรทีนในมันสำปะหลัง ศึกษาความผันแปรทางพันธุกรรมบริเวณตำแหน่ง SNPs และวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในหัวสดมันสำปะหลัง 20 พันธุ์/สายพันธุ์ โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้เครื่องหมายโมเลกุล SNPs ในการคัดเลือกพ่อ-แม่พันธุ์สำหรับสร้างลูกผสมมันสำปะหลังที่มีสารเบต้าแคโรทีนสูง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. พันธุ์มันสำปะหลัง

ใช้พันธุ์มันสำปะหลังจากแปลงรวบรวมเชื้อพันธุกรรมมันสำปะหลังของศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง 20 พันธุ์ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีสีเนื้อหัวสดสีเหลือง 10 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ระยอง 2, Yolk Yellow, root Mentega, MPER297, MKU2-151, 01-77-1, MBRA311, Golden yellow และ MMAL66 และกลุ่มที่มีสีเนื้อหัวสดสีขาว 10 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ห่านาที่, พิรุณ 2, พิรุณ 4, ปุยฝ้าย, Nep, Batang, MPER179, MPER283, CM3306-4 และ MCOL1468

### 2. การวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

เก็บตัวอย่างหัวสดมันสำปะหลังที่อายุ 8 เดือน นำมาปอกเปลือกและหั่นเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋า บดตัวอย่างให้ละเอียดด้วยเครื่องบด และบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ทึบทั้ง 2 ด้าน และส่งตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในหัวสด โดยใช้วิธี In-house method WI-TMC-11 (Munzuroglu et al., 2003) ที่ห้องปฏิบัติการ ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทาง

วิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัย  
เกษตรศาสตร์

### 3. การสกัดดีเอ็นเอ

นำใบอ่อนมันสำปะหลังมาสกัดดีเอ็นเอโดยใช้  
ชุดสกัดดีเอ็นเอสำเร็จรูป (Tiangen, China) และ  
นำสารละลายดีเอ็นเอที่สกัดได้มาตรวจสอบปริมาณ  
และคุณภาพของดีเอ็นเอ ด้วยเครื่อง UV-Vis  
spectrophotometer เพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสง  
(optical density : OD) ที่ความยาวคลื่นแสง 260  
และ 280 นาโนเมตร (nm)

### 4. การค้นหาข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทป์

ค้นหาข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทป์ และความผัน  
แปรทางพันธุกรรมบริเวณตำแหน่งสนิปส์ของยีน *lycB*  
ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารเบต้าแคโรทีนใน  
มันสำปะหลัง จากเว็บไซต์ <https://phytozome.jgi.doe.gov/pz/portal.html> (Manes.09G008200)  
(Phytozome, 2019) ซึ่ง Manes.09G008200 คือ  
accession number ของยีน lycopene beta-cyclase  
(*lycB*) มีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซมที่ 9 ของมันสำปะหลัง  
และจากรายงานของ Carvalho et al. (2016) และ  
Udoh et al. (2017) จากนั้นออกแบบไพรเมอร์ให้  
ครอบคลุมบริเวณลำดับนิวคลีโอไทด์ของตำแหน่ง  
SNPs ที่แตกต่างกัน ทั้งเส้น forward primer และ  
reverse primer โดยออกแบบลำดับนิวคลีโอไทด์  
จากปลาย 5' ไปยัง 3' โดยใช้โปรแกรม Primer3  
(Primer3, 2019) และนำลำดับนิวคลีโอไทด์ของแต่ละคู่  
ไพรเมอร์ มาค้นหาเอนไซม์ตัดจำเพาะ (restriction  
enzymes) ที่มีลำดับเบสจำเพาะ เพื่อใช้ตัดนิวคลีโอ  
ไทด์ที่ตำแหน่ง SNP แต่ละตำแหน่ง โดยใช้โปรแกรม  
NEBcutter 2.0 (NEBcutter, 2019) จากนั้นสังเคราะห์  
ไพรเมอร์ โดยกรรมวิธี high affinity purification (HAP)  
(Bio Basic Inc., 2019)

### 5. การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของคู่ไพรเมอร์ และ ตรวจสอบความผันแปรทางพันธุกรรม

ทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณ  
ดีเอ็นเอของคู่ไพรเมอร์ของยีน *lycB* โดยใช้เทคนิค  
พีซีอาร์ (PCR: polymerase chain reaction) ใน  
ปฏิกิริยา 20 ไมโครลิตร ประกอบด้วย green PCR  
master mix (2x) 10 ไมโครลิตร UltraPure distilled  
water 5 ไมโครลิตร forward primer (10 pmol/μL)  
1 ไมโครลิตร reverse primer (10 pmol/μL) 1 ไมโครลิตร  
และดีเอ็นเอต้นแบบ (50-100 ng/μL) 3 ไมโครลิตร  
ทำปฏิกิริยาพีซีอาร์ โดยเริ่มที่อุณหภูมิ 94°C. เป็นเวลา  
3 นาที (denaturation) ทำซ้ำขั้นตอน denaturation  
94°C. เป็นเวลา 30 วินาที annealing 52-54 และ  
58°C. เป็นเวลา 30 วินาที และ extension 72°C.  
เป็นเวลา 30 วินาที 40 รอบ และ final extension 72°C.  
เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นคัดเลือกคู่ไพรเมอร์ที่สามารถ  
เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอได้ โดยคัดเลือกจากอุณหภูมิของ  
annealing ที่เหมาะสม ซึ่งให้ปริมาณดีเอ็นเอดีที่สุด  
และเฉพาะเจาะจงกับแต่ละคู่ไพรเมอร์ มาทำการเพิ่ม  
ปริมาณชิ้นส่วนดีเอ็นเอกับตัวอย่างมันสำปะหลัง  
พันธุ์ต่าง ๆ โดยใช้ปฏิกิริยาพีซีอาร์ จากนั้นตรวจสอบ  
ผลผลิตพีซีอาร์ บน 6% polyacrylamide gel  
electrophoresis ด้วยกระแสไฟฟ้า 120 V เป็น  
เวลานาน 30 นาที และย้อมแถบดีเอ็นเอด้วยวิธี RedSafe  
nucleic acid staining และนำผลผลิตพีซีอาร์ที่ได้มา  
ตัดด้วย 2.5 U ของเอนไซม์ตัดจำเพาะตำแหน่ง SNP  
บ่มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบความผันแปรทาง  
พันธุกรรม โดยใช้เทคนิคพีซีอาร์-อาร์แอฟแอลพี  
(polymerase chain reaction-restriction fragment  
length polymorphism: PCR-RFLP) ตรวจสอบ  
ผลผลิตพีซีอาร์ที่ตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะบน 8%  
polyacrylamide gel electrophoresis ใน 1X TBE  
buffer จากนั้นตรวจสอบแถบลายพิมพ์ดีเอ็นเอที่ได้

โดยการส่องภายใต้แสงรังสีอัลตราไวโอเล็ต ด้วยเครื่องวิเคราะห์เจล (UPV PhotoDoc-It™ Imaging System, Analytik Jena)

## 6. การวิเคราะห์ความผันแปรทางพันธุกรรม

นำข้อมูลความผันแปรทางพันธุกรรมของตำแหน่ง SNPs และขนาดของชิ้นดีเอ็นเอที่ได้ในแต่ละพันธุของคูไพรเมอร์ มาวิเคราะห์แถบลายพิมพ์ดีเอ็นเอของมันสำปะหลัง ประสิทธิภาพของเครื่องหมายโมเลกุล SNPs จากค่า polymorphic information contents (PIC) (Anderson et al., 1993) ซึ่งใช้บอกความสามารถในการจำแนกความแตกต่างของ SNP แต่ละตำแหน่ง และความแม่นยำของแต่ละตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบกับลักษณะทางฟีโนไทป์ของสีเนื้อหัวสดมันสำปะหลัง

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 1. ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในหัวสดมันสำปะหลัง การวิเคราะห์ในหัวสดมันสำปะหลัง 2 กลุ่ม

พบว่า กลุ่มเนื้อหัวสดสีเหลือง มีสารเบต้าแคโรทีนระหว่าง <math><40-172.93</math> ไมโครกรัม/100 ก. โดยพันธุ์ MPER297 มีสารเบต้าแคโรทีนสูงสุด 172.93 ไมโครกรัม/100 ก. รองลงมา คือ Mentega และ 01-77-1 ในขณะที่พันธุ์ MMAL66 และ Golden yellow มีสารเบต้าแคโรทีนต่ำสุด สำหรับกลุ่มที่มีสีเนื้อหัวสดสีขาว พบว่า มีสารเบต้าแคโรทีนในหัวสดน้อยกว่า 40 ไมโครกรัม/100 ก. ทั้งหมด (Table 1) สอดคล้องกับรายงานของ Welsch et al. (2010) ที่พบว่าปริมาณสารแคโรทีนอยด์ในมันสำปะหลังกลุ่มหัวสดสีเหลืองมีสารแคโรทีนอยด์สูง 6.0-11.5 ไมโครกรัม/ก. ของน้ำหนักสด ส่วนกลุ่มหัวสดสีขาวมีสารแคโรทีนอยด์ต่ำ 0.5-1.5 ไมโครกรัม/ก. นอกจากนี้ Codjia et al. (2023) ยังพบว่าปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (total carotenoid content: TCC) มีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับสีเนื้อหัวสดในมันสำปะหลัง ( $r=0.88; p<0.0001$ )

**Table 1** Beta-carotene content in twenty cassava cultivars/lines

No.	Cassava cultivars/lines (yellow storage root)	Beta-carotene content <sup>1/</sup> (µg/100g)	No.	Cassava cultivars/lines (white storage root)	Beta-carotene content <sup>1/</sup> (µg/100g)
1	Rayong2	68.44	11	Hanatee	<40
2	MPER297	172.93	12	Pirun2	<40
3	Yolk	91.55	13	Pirun4	<40
4	MMAL66	<40	14	Puifai	<40
5	Yellow root	113.55	15	Nep	<40
6	Mentega	162.93	16	Batang	<40
7	Golden yellow	<40	17	MPER179	<40
8	MKU2-151	71.21	18	MPER283	<40
9	01-77-1	118.50	19	CM3306-4	<40
10	MBRA311	104.52	20	MCOL1468	<40

<sup>1/</sup> LOQ = 40.00 µg/100g; LOQ = limit of quantitation, which means the analyzed sample has a minimum measurable laboratory test value of less than 40.00 µg/100g according to the analytical method with high accuracy and precision of the test method

## 2. ความผันแปรทางพันธุกรรมตำแหน่ง SNPs ของยีน *lcyB*

ผลการค้นหาข้อมูลของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารเบต้าแคโรทีนในมันสำปะหลัง และจากรายงานของ Carvalho et al. (2016) และ Udoh et al.

(2017) พบความผันแปรทางพันธุกรรมของ SNPs ทั้งหมด 44 SNPs (ตำแหน่ง) คัดเลือกและนำมาค้นหาเอนไซม์ตัดจำเพาะได้ทั้งหมด 12 SNPs จากนั้นออกแบบไพรเมอร์ให้ครอบคลุมบริเวณตำแหน่ง SNPs ได้ทั้งหมด 4 คู่ไพรเมอร์ (Table 2)

**Table 2** Primer, sequence, position, PCR product size and restriction enzyme of SNPs *lcyB* gene in cassava

Primer	Sequence (5' → 3')	Position	PCR product size (bp)	Restriction enzyme
lcyBexon2-1up/dw	F: AACACATAATAAGCTTGAGTTC	g.1674884	247	<i>MspI</i>
	R: AACCAACAAGGCCTTTTGATG	g.1674907		<i>BtsI/MutI</i>
		g.1675021		<i>Hpy188I</i>
lcyBexon2-2up/dw	F: ACCTGGTCTGGTGCTGTTG	g.1674340	325	<i>BfaI</i>
	R: GGTGCTCTTCTACCTCTGC	g.1674449		<i>Hpy99I</i>
		g.1674542		<i>HpyCH4V</i>
		g.1674619		<i>HpyCH4IV</i>
lcyBexon2-3up/dw	F: TTCAGATAGAATATTTCTTGAAG	g.1673969	281	<i>NlaIII</i>
	R: CTATGGAATTGGCAACTATTG	g.1673999		<i>AccI</i>
		g.1674161		<i>HhaI</i>
lcyBexon2-4up/dw	F: TATACAGAGAAGGAGACAAAG	g.1673757	241	<i>Fnu4HI</i>
	R: CAAAGGAAGAGTACCCTTTG	g.1673758		<i>MseI</i>

Note: F = forward primer, R = reverse primer

## 3. สภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมคู่ไพรเมอร์ของยีน *lcyB*

ผลการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมคู่ไพรเมอร์ของยีน *lcyB* ที่ได้จาก การออกแบบไพรเมอร์บริเวณที่มีความผันแปรทางพันธุกรรม 4 คู่ไพรเมอร์ โดยใช้ปฏิกิริยาพีซีอาร์ ที่อุณหภูมิในขั้นตอน annealing ที่ 52 54 และ 58°C. พบว่า ที่อุณหภูมิ 52°C. ไพรเมอร์ lcyBexon2-1up/dw สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอที่ให้แถบลายพิมพ์ดีเอ็นเอที่เฉพาะเจาะจง และที่อุณหภูมิ 54°C. ไพรเมอร์

lcyBexon2-3up/dw และ lcyBexon2-4up/dw สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอที่ให้แถบลายพิมพ์ดีเอ็นเอที่เฉพาะเจาะจง ในขณะที่อุณหภูมิ 58°C. ไพรเมอร์ lcyBexon2-2up/dw สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอที่ให้แถบลายพิมพ์ดีเอ็นเอที่เฉพาะเจาะจง จากนั้นนำมาเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมกับตัวอย่างมันสำปะหลัง 20 พันธุ์/สายพันธุ์ ทั้ง 4 คู่ไพรเมอร์

## 4. ความผันแปรทางพันธุกรรมของ SNPs

SNPs ของยีน *lcyB* ทั้งหมด 12 ตำแหน่ง พบว่า มี 8 ตำแหน่ง แสดงลักษณะ polymorphism

**Table 3** Genetic variation of twelve SNPs *lcyB* markers in twenty cassava cultivars/lines by using PCR-RFLP technique

SNP marker	Variation	PCR product size (bp)	Restriction enzyme	Genotype	PCR fragment size (bp)
<i>lcyB</i> g.1674884	A/G	247	<i>MspI</i>	AA	247
				AG	247, 179, 68
				GG	179, 68
<i>lcyB</i> g.1674907	A/G	247	<i>BtsI/MutI</i>	AA	247
				AG	247, 160, 87
				GG	160, 87
<i>lcyB</i> g.1675021	C/T	247	<i>Hpy188I</i>	CC	142, 105
				CT	142, 105, 59, 46
				TT	142, 59, 46
<i>lcyB</i> g.1674340	T/C	325	<i>BfaI</i>	TT	223
				TC	223, 62, 21, 19
				CC	62, 21, 19
<i>lcyB</i> g.1674449	T/G	325	<i>Hpy99I</i>	TT	325
				TG	325, 196, 129
				GG	196, 129
<i>lcyB</i> g.1674542	A/G	325	<i>HpyCH4V</i>	AA	110, 96, 78, 41
				AG	110, 102, 96, 78, 41, 8
				GG	102, 96, 78, 41, 8
<i>lcyB</i> g.1674619	A/G	325	<i>HpyCH4V</i>	AA	325
				AG	325, 302, 23
				GG	302, 23
<i>lcyB</i> g.1673969	T/C	281	<i>NlaIII</i>	TT	153, 74, 54
				TC	153, 74, 54, 50, 24
				CC	153, 54, 50, 24
<i>lcyB</i> g.1673999	A/C	281	<i>AccI</i>	AA	281
				AC	281, 201, 80
				CC	201, 80
<i>lcyB</i> g.1674161	T/G	281	<i>HhaI</i>	TT	281
				TG	281, 241, 40
				GG	241, 40
<i>lcyB</i> g.1673757	A/C	241	<i>Fnu4HI</i>	AA	241
				AC	241, 151, 90
				CC	151, 90
<i>lcyB</i> g.1673758	G/A	241	<i>MseI</i>	GG	241
				GA	241, 154, 87
				AA	154, 87

คือ พบความผันแปรของลำดับนิวคลีโอไทด์ ได้แก่ SNPs g.1674884 g.1675021 g.1674340 g.1674449 g.1674619 g.1673969 g.1673999 และ g.1674161 ในขณะที่มี 4 ตำแหน่ง แสดงลักษณะ monomorphism คือ ไม่พบความผันแปรของลำดับนิวคลีโอไทด์ ได้แก่ SNPs g.1674907 g.1674542 g.1673757 และ g.1673758 และแถบปลายพิมพ์ดีเอ็นเอ โดยใช้เอนไซม์ตัดจำเพาะ พบว่า เครื่องหมายโมเลกุล SNPs แต่ละตำแหน่ง ให้แถบปลายพิมพ์ดีเอ็นเอที่มีขนาดแตกต่างกัน (Table 3) ซึ่งตำแหน่ง SNPs ที่เกิดความผันแปรของลำดับนิวคลีโอไทด์สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มสีเนื้อหัวสดที่แตกต่างกันได้ โดยกลุ่มที่มีสีเนื้อหัวสดสีเดียวกันควรจะมีลำดับนิวคลีโอไทด์เหมือนกัน

ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพ พบว่า เครื่องหมายโมเลกุล SNPs มีค่า PIC 0-0.50 โดย SNP *lcyB* g.1673969 มีค่าสูงสุด 0.50 รองลงมา คือ ตำแหน่ง SNP g.1674340 และ g.1675021 (Table 4) ซึ่งเครื่องหมาย SNP เป็นเครื่องหมายแบบข่มร่วมมี 2 อัลลีล โดยแสดงลักษณะโฮโมไซกัสและเฮเทอโรไซกัส ทำให้มีค่า PIC สูงสุดไม่เกิน 0.50 (Kawuki et al., 2009) ซึ่งค่า PIC เครื่องหมายโมเลกุล SNPs ของยีน *lcyB* ที่ศึกษาครั้งนี้ สอดคล้องกับเครื่องหมาย SNPs ของยีนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ในมันสำปะหลัง คือ ยีน phytoene synthase (*PSY2*) 2 ตำแหน่ง และยีน lycopene epsilon cyclase (*lcyE*) 4 ตำแหน่ง โดยพบว่า ยีน *PSY2* มีค่า PIC 0.26 และ 0.30 สำหรับยีน *lcyE* มีค่า PIC 0.04-0.32 (Udoh et al., 2017) และ สอดคล้องกับเครื่องหมาย SNPs ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรวิตามินเอ 4 เครื่องหมาย โดยพบว่า

มีค่า PIC 0.22-0.49 (Codjia et al., 2023) ซึ่งเครื่องหมายที่ค่า PIC สูง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการบอกความแตกต่างระหว่างพันธุ์มันสำปะหลังได้

สำหรับการวิเคราะห์ความแม่นยำ พบว่า การจำแนกลักษณะสีเนื้อหัวสดสีขาวออกจากสีเหลืองครีม มีความแม่นยำ 0-75% โดย SNPs *lcyB* g.1674619 มีความแม่นยำสูงสุด 75% รองลงมา คือ ตำแหน่ง SNP g.1674340 และ g.1673969 (Table 4) ดังนั้น เครื่องหมาย SNPs *lcyB* g.1674619 จึงสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องหมายในการจัดกลุ่มมันสำปะหลังที่มีสีเนื้อหัวสดสีขาวและสีเหลืองออกจากกันได้ แม่นยำรวดเร็ว และสะดวกกว่าวิธีแบบมาตรฐานซึ่งการจำแนกสีจากหัวสดมันสำปะหลังต้องมีอายุมากกว่า 6 เดือนขึ้นไป อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีเพียง SNP g.1674619 ตำแหน่งเดียวที่มีค่าความแม่นยำมากกว่า 75% แต่ไม่มีเครื่องหมาย SNP ที่มีความแม่นยำ 100% จึงควรมีการส่งวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *lcyB* ของพันธุ์/สายพันธุ์มันสำปะหลังที่มีสีเนื้อหัวสดสีขาวกับสีเหลืองที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบความผันแปรทางพันธุกรรมของ SNPs และออกแบบไพรเมอร์เพื่อพัฒนาเป็นเครื่องหมาย SNPs และนำมาทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของเครื่องหมาย SNPs สำหรับใช้ในการจัดจำแนกกลุ่มมันสำปะหลังที่มีลักษณะปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูง สำหรับใช้ในการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังในอนาคตเพิ่มเติมทั้งจำนวนตำแหน่ง SNPs และจำนวนตัวอย่างมันสำปะหลังที่ทำการทดสอบ เพื่อเพิ่มความแม่นยำของเครื่องหมาย SNPs ในการคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังที่มีหัวสดสีเหลืองเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ที่มีสารเบต้าแคโรทีนสูงในอนาคต

**Table 4** SNP marker, polymorphic information content (PIC) and percent accuracy of twelve SNPs *lcyB* markers in twenty cassava cultivars/lines

SNP marker	PIC	Percent accuracy
<i>lcyB</i> g.1674884	0.07	62.00
<i>lcyB</i> g.1674907	0.00	0.00
<i>lcyB</i> g.1675021	0.43	62.00
<i>lcyB</i> g.1674340	0.47	69.00
<i>lcyB</i> g.1674449	0.12	56.00
<i>lcyB</i> g.1674542	0.00	0.00
<i>lcyB</i> g.1674619	0.34	75.00
<i>lcyB</i> g.1673969	0.50	63.00
<i>lcyB</i> g.1673999	0.12	53.00
<i>lcyB</i> g.1674161	0.12	53.00
<i>lcyB</i> g.1673757	0.00	0.00
<i>lcyB</i> g.1673758	0.10	55.00

### สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษานี้สามารถพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุล SNPs ของยีน *lcyB* ได้ 4 คู่ไพรเมอร์ซึ่งครอบคลุม SNPs 12 ตำแหน่ง เมื่อนำมาทดสอบความผันแปรทางพันธุกรรมของนิวคลีโอไทด์โดยใช้เทคนิค PCR-RFLP พบว่า มี 8 SNPs ที่เกิดความผันแปรของนิวคลีโอไทด์ ซึ่ง SNP *lcyB* g.1673969 มีค่า PIC ซึ่งใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการจำแนกความแตกต่างของตัวอย่างในกลุ่มประชากรที่มีหัวสดมันสำปะหลังสีขาวกับสีเหลืองทั้ง 20 พันธุ์/สายพันธุ์ สูงสุด 0.50 และ SNPs *lcyB* g.1674619 มีค่าความแม่นยำสูงสุด 75% ในการแบ่งกลุ่มตัวอย่างหัวสดสีขาวกับสีเหลืองออกจากกัน จึงสามารถใช้เป็นเครื่องหมายโมเลกุลในการคัดเลือกตัวอย่างมันสำปะหลังที่มีสารเบต้าแคโรทีนสูงได้โดยไม่ต้องรอเก็บผลผลิตหัวสดมันสำปะหลัง กลุ่มมันสำปะหลังที่มีหัวสดสีขาวมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในหัวสดน้อยกว่า 40.00 ไมโครกรัม/100 ก. ทุกสายพันธุ์/พันธุ์ ในขณะที่กลุ่มที่มีหัวสดสีเหลือง 8 พันธุ์/สายพันธุ์ มีปริมาณสาร

เบต้าแคโรทีน ระหว่าง 68.44-172.93 ไมโครกรัม/100 ก. พันธุ์ MPER297 มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนสูงสุด

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้ทุนวิจัยในปีงบประมาณ 2565-2566 และขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร ที่ให้การอนุเคราะห์ด้านสถานที่และวัสดุอุปกรณ์ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์

### เอกสารอ้างอิง

จิณฉกร์ หาญเศรษฐสุข ประพิศ วงเทียม อุมภาพร รักษาพรหมณ์ จิตติลักษณ์ พลพวก จารุวรรณ บางแว และจินดา จิตจักร. 2559. การจำแนกและประเมินลักษณะทางคุณภาพของหัวคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งและคุณภาพของท่อนพันธุ์ในเชื้อพันธุ์มันสำปะหลัง. ใน: รายงานผลงานเรื่องเติมการทดลองที่สิ้นสุดโครงการวิจัยและพัฒนาพันธุ์มันสำปะหลัง. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร. 163 หน้า.

Anderson, J.A., G.A. Churchill, J.E. Autrique, S.D. Tanksley and M.E. Sorrells. 1993. Optimizing parental selection for genetic linkage maps. *Genome*. 36(1): 181-186.

Belalcazar, J., D. Dufour, M.S. Andersson, M. Pizarro, J. Luna, L. Londoño, N. Morante, A.M. Jaramillo, L. Pino, L.A.B. López-Lavalle, F. Davrieux, E.F. Talsma and H. Ceballos. 2016. High-throughput phenotyping and improvements in breeding cassava for increased carotenoids in the roots. *Crop Science*. 56(6): 2916-2925.

Bio Basic Inc. 2019. What is "HAP?". Available at: <https://biobasic-asia.com/sevices/oligo-synthesis2/oligo-synthesis-overview/>. Accessed: January 18, 2019.

- Carvalho, L.J., M.A. Agustini, J.V. Anderson, E.A. Vieira, C.R. de Souza, S. Chen, B.A. Schaal and J.P. Silva. 2016. Natural variation in expression of genes associated with carotenoid biosynthesis and accumulation in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) storage root. *BMC Plant Biology*. 16: 133.
- Codjia, E.D., B. Olasanmi, C.E. Ugoji and I.Y. Rabbi. 2023. SNP-based marker-assisted selection for high provitamin A content in African cassava genetic background. *South African Journal of Science*. 119: 11-12.
- de Albuquerque, H.Y.G, C.D. Carmo, A.C. Brito and E.J. Oliveira. 2018. Genetic diversity of *Manihot esculenta* Crantz. germplasm based on single-nucleotide polymorphism markers. *Annals of Applied Biology*. 173(3): 271-284.
- Esuma, W., L. Herselman, M.T. Labuschagne, P. Ramu, F. Lun, Y. Baguma, E.S. Buckler and R.S. Kawuki. 2016. Genome-wide association mapping of provitamin A carotenoid content in cassava. *Euphytica*. 212(1): 97-110.
- Kawuki, R.S., M. Ferguson, M. Labuschagne, L. Herselman and D.J. Kim. 2009. Identification, characterisation and application of single nucleotide polymorphisms for diversity assessment in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Molecular Breeding*. 23(4): 669-684.
- Luo, X., K.I. Tomlins, L.J.C.B. Carvalho, K. Li and S. Chen. 2018. The analysis of candidate genes and loci involved with carotenoid metabolism in cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) using SLAF-seq. *Acta Physiologiae Plantarum*. 40(4): 66.
- Maziya-Dixon, B.B. and A.G.O. Dixon. 2015. Carotenoids content of yellow-fleshed cassava genotypes grown in four agroecological zones in Nigeria and their retinol activity equivalents (RAE). *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 13(2): 63-69.
- Munzuroglu, O., F. Karatas and H. Geckil, 2003. The vitamin and selenium contents of apricot fruit of different varieties cultivated in different geographical regions. *Food Chemistry*. 83(2): 205-212.
- NEBcutter. 2019. NEBcutter V2.0. Available at: <https://nc2.neb.com/NEBcutter2/>. Accessed: January 18, 2019.
- Phytozome. 2019. Gene Manes.09G008200. Available at: <https://phytozome.jgi.doe.gov/pz/portal.html>. Accessed: January 18, 2019.
- Primer3. 2019. Primer3. Available at: <https://primer3.org>. Accessed: January 18, 2019.
- Udoh, L., M. Gedil, E.Y. Parkes, P. Kulakow, A. Adesoye, C. Nwuba and I.Y. Rabbi. 2017. Candidate gene sequencing and validation of SNP markers linked to carotenoid content in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Molecular Breeding*. 37(10): 123.
- Welsch, R., J. Arango, C. Bär, B. Salazar, S. Al-Babili, J. Beltrán, P. Chavarriaga, H. Ceballos, J. Tohme and P. Beyer. 2010. Provitamin A accumulation in cassava (*Manihot esculenta*) roots driven by a single nucleotide polymorphism in a phytoene synthase gene. *The Plant Cell*. 22(10): 3348-3356.

การสำรวจการแพร่กระจาย การเจริญเติบโต และการงอกจากเมล็ดของจ้อย  
(*Conyza sumatrensis* (Retz.) E. Walker)

Distribution Survey, Plant Growth and Seed Germination of Sumatran Fleabane  
(*Conyza sumatrensis* (Retz.) E. Walker)

จรรย์ญา ปิ่นสุภา<sup>1/\*</sup> มัลลิกา ศรีจันกลัด<sup>2/</sup> ชูศักดิ์ คุณุไทย<sup>2/</sup> ไพเราะ ขวัญงาม<sup>3/</sup>  
Jarunya Pinsupa<sup>1/\*</sup> Mallika Srichanklad<sup>2/</sup> Choosak Kunuthai<sup>2/</sup> Pairoh Khwanngam<sup>3/</sup>

Received 11 Nov. 2024/Revised 16 May 2025/Accepted 16 May 2025

### ABSTRACT

*Conyza sumatrensis* is an invasive weed species found in Thailand and has been increasing in agricultural areas. Effective Integrated weed management requires an understanding of weed biology. Therefore, this study aimed to investigate the distribution of *C. sumatrensis* in agricultural areas across the country. Surveys were conducted in field crops, vegetable crops, industrial crops, and fruit orchards in all regions of Thailand during 2022–2023. Plant growth and seed germination were studied during 2023–2024. The result showed that the spread of *C. sumatrensis* was found in all agricultural areas, both open spaces and shaded areas. Approximately two weeks after germination (WAG), the seedlings developed true leaves, which were simple. Vegetative growth rate was low from 3–8 WAG, followed by rapid growth during 9–10 WAG. Flowering and seed maturation began at 13 and 15 WAG, respectively. Maximum seed production was observed around 18 WAG. By 29 WAG, plant growth had declined, and no additional flowering or seed set occurred. The seed germination study showed that mature seeds sown on the soil surface had an average germination rate of 44%, whereas seeds sown at depths of 5, 10, 15, 20 and 25 cm did not emerge above the soil surface. Therefore, to prevent the spread of *C. sumatrensis*, deep soil tillage to a depth of more than 5 cm to completely cover the seeds on the soil surface and

---

<sup>1/</sup> สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช อ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>1/</sup> Plant Protection Research and Development Office, Phahonyothin Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

<sup>2/</sup> สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน อ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>2/</sup> Field and Renewable Energy Crops Research Institute, Phahonyothin Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

<sup>3/</sup> ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาญจนบุรี ต.หนองหญ้า อ.เมือง จ.กาญจนบุรี 71000

<sup>3/</sup> Kanchanaburi Agricultural Research and Development Center, Nong Ya Subdistrict, Mueang District, Kanchanaburi 71000, Thailand

\* Corresponding author: pinsupa.j@gmail.com

removal of *C. sumatrensis* before flowering are recommended, as a single *C. sumatrensis* can produce more than 20,000 seeds.

**Keywords:** alien plant; weed; vegetative growth; seed production; biology

### บทคัดย่อ

จ้อล่อเป็นวัชพืชต่างถิ่นที่ระบาดในประเทศไทย พบการระบาดเพิ่มขึ้นในพื้นที่การเกษตร การป้องกันกำจัดโดยวิธีผสมผสานจำเป็นต้องทราบข้อมูลชีววิทยา จึงศึกษาการแพร่กระจายของจ้อล่อในพื้นที่การเกษตรของประเทศ โดยสำรวจในพื้นที่ปลูกพืชไร่ พืชผัก พืชอุตสาหกรรม และไม้ผล ทุกภาคของประเทศในปี พ.ศ. 2565-2566 และศึกษาการเจริญเติบโตและการงอกของเมล็ด ในปี พ.ศ. 2566-2567 พบว่า จ้อล่อระบาดในพื้นที่การเกษตรทุกภูมิภาคทั้งพื้นที่โล่งแจ้งและมีร่มเงา ด้านการเจริญเติบโต พบว่า หลังจากเมล็ดงอกประมาณ 2 สัปดาห์ มีใบจริงซึ่งเป็นใบเดี่ยว มีอัตราการเจริญเติบโตของลำต้นและใบต่ำในช่วง 3-8 สัปดาห์ หลังงอก แต่ที่ระยะ 9-10 สัปดาห์หลังงอก มีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นที่รวดเร็ว ดอกบานที่ระยะ 13 สัปดาห์หลังงอก และเมล็ดเริ่มสุกแก่ที่ระยะ 15 สัปดาห์หลังงอก สร้างเมล็ดได้มากที่สุดในช่วง 18 สัปดาห์หลังงอก จนถึงระยะ 29 สัปดาห์หลังงอก มีการเจริญเติบโตของลำต้นลดลง ไม่มีการออกดอก และติดเมล็ด ด้านการงอกของเมล็ด พบว่า เมล็ดสุกแก่ที่หว่านที่ระดับผิวดินมีความงอกเฉลี่ย 44% ส่วนเมล็ดที่หว่านในระดับความลึกดิน 5 10 15 20 และ 25 ซม. ไม่พบว่าเมล็ดงอกโผล่พ้นผิวดิน ดังนั้น การป้องกันการแพร่ระบาดจ้อล่อควรทำการไถพรวน ผลิกหน้าดินให้ลึกลงไปมากกว่า 5 ซม. เพื่อกลบเมล็ด

บนผิวดิน และกำจัดต้นก่อนออกดอก เนื่องจากจ้อล่อสามารถผลิตเมล็ดมากกว่า 20,000 เมล็ดต่อต้น

**คำสำคัญ:** พืชต่างถิ่น; วัชพืช; การเจริญเติบโต; การผลิตเมล็ด; ชีววิทยา

### บทนำ

จ้อล่อ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Conyza sumatrensis* (Retz.) E. Walker ปัจจุบันเปลี่ยนเป็น *Erigeron sumatrensis* Retz. แต่อย่างไรก็ตามชื่อ *Conyza sumatrensis* ยังเป็นที่รู้จักกันกว้างขวาง จ้อล่อเป็นพืชล้มลุก (อายุฤดูเดียวหรือข้ามปี) วงศ์ทานตะวัน Asteraceae มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ กระจายทั่วไปทั้งทวีปอเมริกาเหนือ ยุโรป แอฟริกา เอเชีย และออสเตรเลีย ปัจจุบันพบรายงานการแพร่กระจายใน 86 ประเทศ (Thebaud and Abbott, 1995; CABI, 2023) ในประเทศไทยมีรายงานว่าพบจ้อล่อแพร่กระจายทุกภาค ส่วนใหญ่พบในพื้นที่ไม่ได้ทำการเกษตร เช่น ตามไหล่ทาง และบริเวณรอบนอกของป่า ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับความสูงมากกว่า 1,000 ม. (จันทร์เพ็ญและคณะ, 2552; คมสันและคณะ, 2553) จ้อล่อเจริญเติบโตเต็มที่มีลำต้นตรงสูง 1-2 ม. ตามลำต้นมีใบมาก และปกคลุมด้วยขนอ่อน ๆ ใบสีเขียวเรียวยาว ขอบใบหยัก เวียนขึ้นด้านบน มีขนสีขาวปกคลุมทั้งใบ เมล็ดขนาดเล็กรูปขอบขนานแคบ (narrowly oblong) และปลายด้านหนึ่งมีขนยาวนูนออกมาเป็นกระจุกซึ่งเปลี่ยนรูปมาจากกลีบเลี้ยง ทำหน้าที่ช่วยในการกระจายพันธุ์ (IEWF, 2005; CABI, 2023; Plantnet, 2023) เมล็ดจ้อล่อสามารถงอกได้ในช่วงอุณหภูมิ 5–30 °ซ. และหากได้รับอุณหภูมิ 20 °ซ. และได้รับแสงและความมืดสลับกัน 12 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดมีอัตราการงอกสูง (Xu et al., 2021)

ในต่างประเทศมีรายงานว่า จ้อล่อ เป็นวัชพืชสำคัญในพื้นที่เพาะปลูกแบบไม่ไถพรวนหรือไถพรวนน้อย (Marambe et al., 2002; Ngow et al., 2020) แต่ในเขตที่มีการไถพรวนดินบ่อยจ้อล่อก็สามารถระบาดได้ และระบาดได้มากกว่าวัชพืชชนิดที่ใกล้เคียงกันคือ *C. canadensis* และ *C. bonariensis* ในประเทศฝรั่งเศสมีการพบว่า จ้อล่อเจริญเติบโตได้ดีกว่าวัชพืชชนิดที่ใกล้เคียงกัน คือ *C. canadensis* โดยสามารถแย่งน้ำและธาตุอาหารในสภาพแปลงได้ดีกว่า (Thebaud et al., 1996) และสร้างความเสียหายได้เช่นเดียวกับกับ *C. canadensis* และ *C. Bonariensis* (Albrecht et al., 2018; Florentine et al., 2021) ยังมีรายงานที่ จ้อล่อเป็นวัชพืชที่มีปัญหาเพิ่มขึ้นในหลายประเทศ เช่น จีน ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา และปากีสถาน (Xu et al., 2021; Hao et al., 2009) จึงจำเป็นต้องป้องกันกำจัด

การป้องกันกำจัดจ้อล่อมีหลายวิธีทั้งวิธีใช้และไม่ใช้สารเคมี รวมทั้งการจัดการวัชพืชโดยวิธีแบบผสมผสาน (integrated weed management) หรือใช้หลายวิธีร่วมกัน ซึ่งวิธีการนี้จำเป็นต้องทราบข้อมูลทางชีววิทยา เพื่อเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการกำจัดและควบคุม ข้อมูลทางชีววิทยาของวัชพืชแต่ละชนิดมีความสำคัญในการกำหนดวิธีการป้องกันกำจัด เช่น การศึกษาชีววิทยาบาหยา (*Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson) ซึ่งเป็นวัชพืชต่างถิ่น เกษตรกรมักกำจัดโดยการตัดและทิ้งไว้ในแปลง จากผลการศึกษการขยายพันธุ์และผลิตเมล็ดของ จรรย์ญา (2562) พบว่า บาหยาสามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งเมล็ดและลำต้น ผลิตเมล็ดจำนวนมากและมีการงอกสูงถึง 92.8% ที่ระดับผิวดิน และสามารถงอกได้ที่ระดับความลึกในดิน 5 ซม. ดังนั้น การป้องกันกำจัดจึงแนะนำให้เกษตรกรเก็บซากบาหยาออกจากแปลง กำจัดต้นบาหยาให้หมด

และไถพรวนพลิกหน้าดินให้ลึกลงไปมากกว่า 5 ซม. เมื่อพบบาหยาอกหลังไถพลิกหน้าดิน ควรทำการไถพรวนอีกครั้งเพื่อทำลายต้นอ่อน ทำให้การป้องกันกำจัดมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลด้านชีววิทยา (การเจริญเติบโต การขยายพันธุ์ และการงอก) ของจ้อล่อที่ระบาดในประเทศไทยยังมีค่อนข้างน้อย ทำให้การแนะนำวิธีการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการกำจัดจ้อล่ออย่างขาดความชัดเจนโดยเฉพาะวิธีทางเกษตรกรรม นอกจากนี้เกษตรกรผู้ปลูกไม้ผล (ภาคตะวันตก ภาคตะวันออก และภาคใต้) พืชไร่ (ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) พบจ้อล่อแพร่ระบาดในพื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้น และการป้องกันกำจัดทำได้ยาก ดังนั้น จึงทำการทดลองโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายจ้อล่อในพื้นที่ทำการเกษตรของประเทศไทย การเจริญเติบโต และการงอกของเมล็ดในดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ เพื่อหาแนวทางในการควบคุมการระบาดของจ้อล่ออย่างมีประสิทธิภาพ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การสำรวจและเก็บเมล็ดจ้อล่อ

สำรวจการแพร่กระจายของจ้อล่อในพื้นที่เกษตรกรรม ได้แก่ พืชไร่ พืชผัก พืชอุตสาหกรรม และไม้ผล โดยแบ่งพื้นที่สำรวจตามอักษรานุกรมภูมิศาสตร์ไทยของราชบัณฑิตยสถาน 6 ภูมิภาค คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก ภาคตะวันตก และภาคใต้ ระหว่างปี พ.ศ. 2565-2566 ใน 38 จังหวัด 360 แปลง ภาคเหนือ 54 แปลง 6 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย แพร่ พะเยา ลำปาง ลำพูน และอุตรดิตถ์ ภาคกลาง 82 แปลง 11 จังหวัด ได้แก่ พิษณุโลก พิจิตร นครสวรรค์ ชัยนาท ลพบุรี สระบุรี นครนายก สุพรรณบุรี เพชรบูรณ์ กำแพงเพชร และอุทัยธานี ภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือ 79 แปลง 10 จังหวัด ได้แก่ นครราชสีมา ขอนแก่น อุดรธานี สกลนคร หนองคาย ชัยภูมิ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ สุรินทร์ และบุรีรัมย์ ภาคตะวันออก 59 แปลง 6 จังหวัด ได้แก่ ชลบุรี ระยอง ฉะเชิงเทรา สระแก้ว ปราจีนบุรี และจันทบุรี ภาคตะวันตก 27 แปลง 2 จังหวัด ได้แก่ กาญจนบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ภาคใต้ 59 แปลง 3 จังหวัด ได้แก่ นครศรีธรรมราช ชุมพร และสุราษฎร์ธานี

ทำการสำรวจตามแปลงปลูกพืชที่ติดถนนสายหลักโดยสุ่ม แล้วทำการเดินสำรวจแบบเฉพาะเจาะจง (specific survey) แบบซิกแซกรูปตัว W ในพื้นที่ไม่น้อยกว่า 10% ของแปลงที่สำรวจ ตรวจหาการปรากฏอยู่ของจิ้งล่อ (McMaugh, 2005) บันทึกชนิดพืชปลูก พิกัดตำแหน่งแปลง และเก็บเมล็ดจิ้งล่อในพื้นที่ที่มีต้นจิ้งล่อขึ้นกระจายมากกว่า 50% ของพื้นที่ทั้งหมดจากการประเมินด้วยสายตา แต่ละพื้นที่เก็บเมล็ดรวมกัน เพื่อให้ได้จำนวนเมล็ดที่เพียงพอต่อการทดสอบ เลือกเก็บเมล็ดจากช่อดอกที่มีเมล็ดสุกแก่ โดยนำถุงกระดาษสีน้ำตาลคลุมทั้งช่อดอก แล้วเคาะให้เมล็ดที่สุกแก่หลุดร่วงลงในถุงกระดาษ นำเมล็ดจิ้งล่อที่เก็บมาจากพื้นที่ผึ่งในที่ร่มให้แห้ง แล้วนำไปเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4-5 °ซ.

## 2. ศึกษาการเจริญเติบโตจิ้งล่อ

**2.1 วัฏจักรชีวิตของต้นจิ้งล่อ** เลือกเมล็ดที่สุกแก่และสมบูรณ์จากข้อ 1 มาปลูกในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ซม. 50 เมล็ด/กระถาง แล้วถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น ทำ 10 ซ้ำ ให้น้ำในช่วง 3 สัปดาห์แรกหลังปลูก หลังจากนั้นปล่อยให้รับน้ำตามธรรมชาติ (น้ำฝน) เริ่มดำเนินการทดลองในเดือน ก.ค. 2566 ที่เรือนทดลองสถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน บันทึกวันงอก ระยะใบจริงคู่แรก

เกิดเป็นตุ่มตาดอก ดอกบาน ติดเมล็ด จนกระทั่งต้นจิ้งล่อไม่พัฒนาการเจริญเติบโตหรือต้นตาย หรือจนถึงเดือน มี.ค. 2567 ทำการทดลองเพียงช่วงเดียว เนื่องจากจิ้งล่อสามารถออกดอกได้ทั้งปี (จันทร์เพ็ญ และคณะ, 2552; Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, 2016)

## 2.2 พัฒนาการเจริญเติบโต ปลูกจิ้งล่อใน

กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ซม. กระถางละ 3 ต้น 96 กระถาง ในเรือนทดลองสถาบันวิจัยพืชไร่ และพืชทดแทนพลังงาน หลังจากงอกมีใบเลี้ยง 2 ใบ ทำการถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น/กระถาง ให้น้ำในช่วง 3 สัปดาห์แรกหลังปลูก หลังจากนั้นปล่อยให้รับน้ำตามธรรมชาติ (น้ำฝน) เก็บถอนต้นจิ้งล่อ 3 กระถาง/สัปดาห์ บันทึกความสูง นับจำนวนใบ จำนวนกิ่ง ช่อดอก เมล็ด/ต้น น้ำหนักสดและแห้ง/ต้น เป็นระยะเวลา 32 สัปดาห์ (ต้นจิ้งล่อไม่มีการพัฒนาการเจริญเติบโต) ระหว่างเดือน ก.ค. 2566 - มี.ค. 2567

## 3. ระดับความลึกของเมล็ดในดินต่อการงอกของเมล็ดจิ้งล่อ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) 5 ซ้ำ ศึกษาการงอกที่ระดับลึก 0 5 10 15 20 และ 25 ซม. จากผิวดิน โดยนำเมล็ดจิ้งล่อที่สุกแก่และสมบูรณ์ ที่ได้จากข้อ 2 หว่านในดินที่บรรจุในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม. สูง 30 ซม. จำนวน 100 เมล็ดต่อกระถาง ให้น้ำ 3 สัปดาห์ ๆ ละ 4 ครั้ง หลังจากนั้นปล่อยให้รับน้ำตามธรรมชาติ (น้ำฝน) บันทึกข้อมูลโดยตรวจนับเมล็ดที่งอกโผล่พื้นดินเมื่อ 7 14 21 และ 30 วันหลังปลูก ทำการทดลองในเรือนทดลองสถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน ระหว่างเดือน พ.ค-มิ.ย. 2567

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. การแพร่กระจายจิ้งจอก

ผลการสำรวจ พบจิ้งจอกทุกภูมิภาคของประเทศไทย (Figure 1) โดยพบในพื้นที่ปลูกพืชไร่ ได้แก่ ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง ยาสูบ พืชผัก ได้แก่ มะเขือเทศ พริกไทย ผักชี กระเทียม หอมหัวใหญ่ ในพื้นที่ปลูกพืชอุตสาหกรรม ได้แก่ มะพร้าว ยางพารา ปาล์มน้ำมัน ในพื้นที่ปลูกไม้ผล ได้แก่ ทุเรียน มังคุด มะม่วง เงาะ ส้มโอ ลองกอง มะขาม ขนุน แก้วมังกร สับปะรด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ จันทรเพ็ญและคณะ (2552) ที่สำรวจพบจิ้งจอกในพื้นที่ทำการเกษตรปลูกพืชไร่ พืชผัก และพืชอุตสาหกรรม และพบในพื้นที่ที่ไม่ทำการเกษตร เช่น

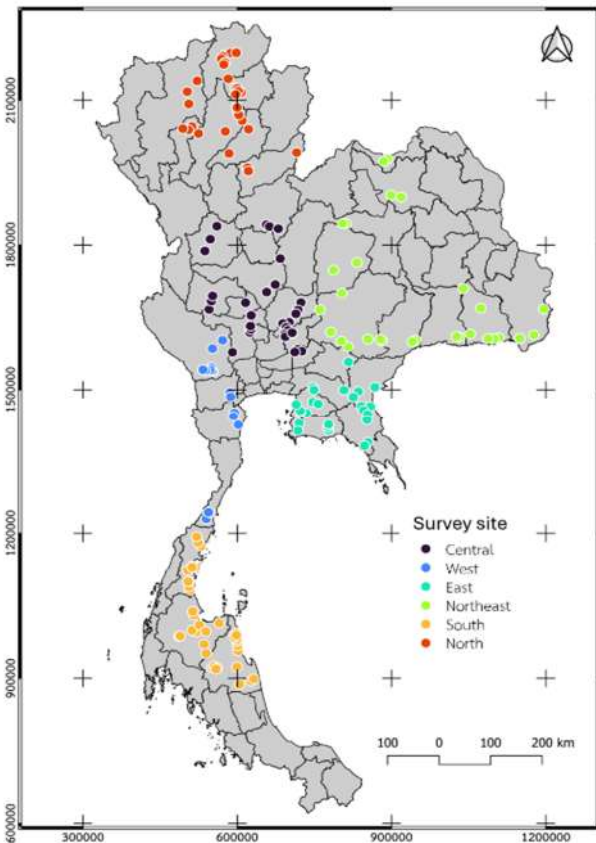


Figure 1 Survey sites of *Conyza sumatrensis* in agricultural areas of the northern, central, northeastern, eastern, western, and southern regions of Thailand

พื้นที่รกร้างว่างเปล่า ริมทาง และป่าใกล้เคียง โดยสำรวจพบจิ้งจอกในพื้นที่ที่ไม่ได้ทำการเกษตรมากกว่าในพื้นที่ทำการเกษตร ยังมีข้อสังเกตว่าพบจิ้งจอกแพร่กระจายในพื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในพื้นที่ปลูกไม้ผล แตกต่างจากเดิมที่ จันทรเพ็ญและคณะ (2552) เคยรายงานว่าไม่พบจิ้งจอกในพื้นที่ทำการเกษตรปลูกไม้ผลในภาคตะวันออก ซึ่งการที่พบจิ้งจอกในพื้นที่ทำการเกษตรเพิ่มขึ้นนั้นอาจเนื่องมาจากเมล็ดจิ้งจอก มีน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก และมีกระจุกชนที่ปลายด้านหนึ่งของเมล็ด ช่วยทำให้ปลิวไปกับลมได้ไกล เมล็ดจิ้งจอกอาจติดไปกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ทำการเกษตร ทำให้มีการแพร่กระจายในพื้นที่ทำการเกษตรเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับการแพร่กระจายของเมล็ดข้าววัชพืชที่มีการแพร่กระจายจากภาคกลางไปภาคตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากเมล็ดข้าววัชพืชติดไปกับรถเกี่ยวข้าว (จรรยา, 2548)

### 2. วัฏจักรชีวิตและการเจริญเติบโตของจิ้งจอก

การศึกษาวัฏจักรชีวิตในสภาพเรือนทดลองพบว่า เมล็ดจิ้งจอกสามารถงอกที่ 3-5 วันหลังปลูก 2 สัปดาห์หลังงอก มีใบจริงเป็นใบเดี่ยว (simple leaf) จิ้งจอกมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มอย่างช้าๆ ในช่วง 3-8 สัปดาห์หลังงอก โดยมีอัตราการเพิ่มของใบ 0.6 ใบ/ต้น/สัปดาห์ ความสูงต้น 0.94 ซม./ต้น/สัปดาห์ และน้ำหนักแห้ง 0.002 ก./ต้น/สัปดาห์ แต่หลังจากนั้นที่ระยะ 9-10 สัปดาห์หลังงอก มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว โดยมีอัตราการเพิ่มของใบ 2 ใบ/ต้น/สัปดาห์ ความสูงต้น 1.78 ซม./ต้น/สัปดาห์ น้ำหนักแห้ง 0.02 ก./ต้น/สัปดาห์ ลำต้นมีใบแผ่อกเป็นพุ่ม โดยมีลำต้นตั้งตรง ใบออกสลับกัน ลำต้นและใบมีขนอ่อนเริ่มติดดอกและแตกกิ่งในช่วง 13 สัปดาห์หลังงอก (Figure 2) เป็นพืชที่ไม่ไวต่อช่วงแสงจึงสามารถออกดอกทั้งปี (Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, 2016)

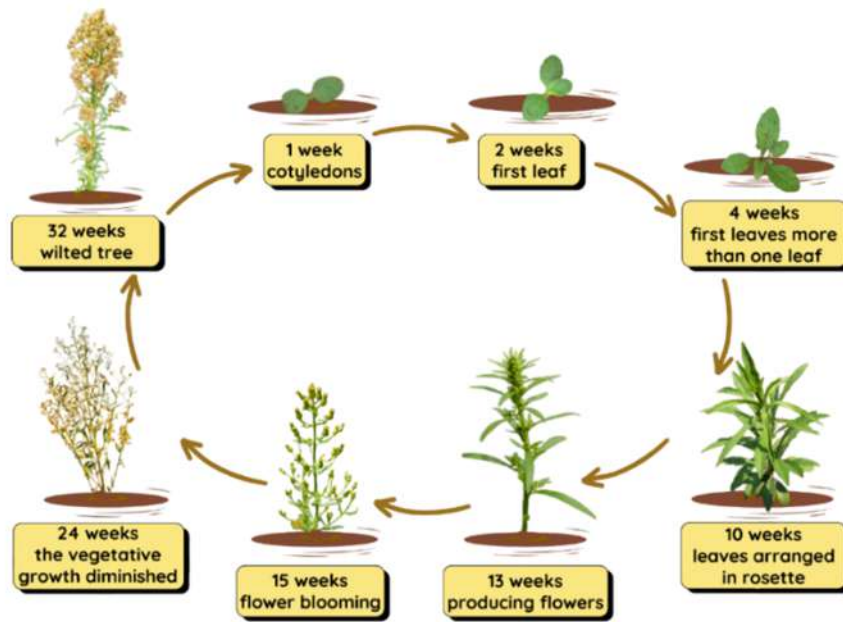
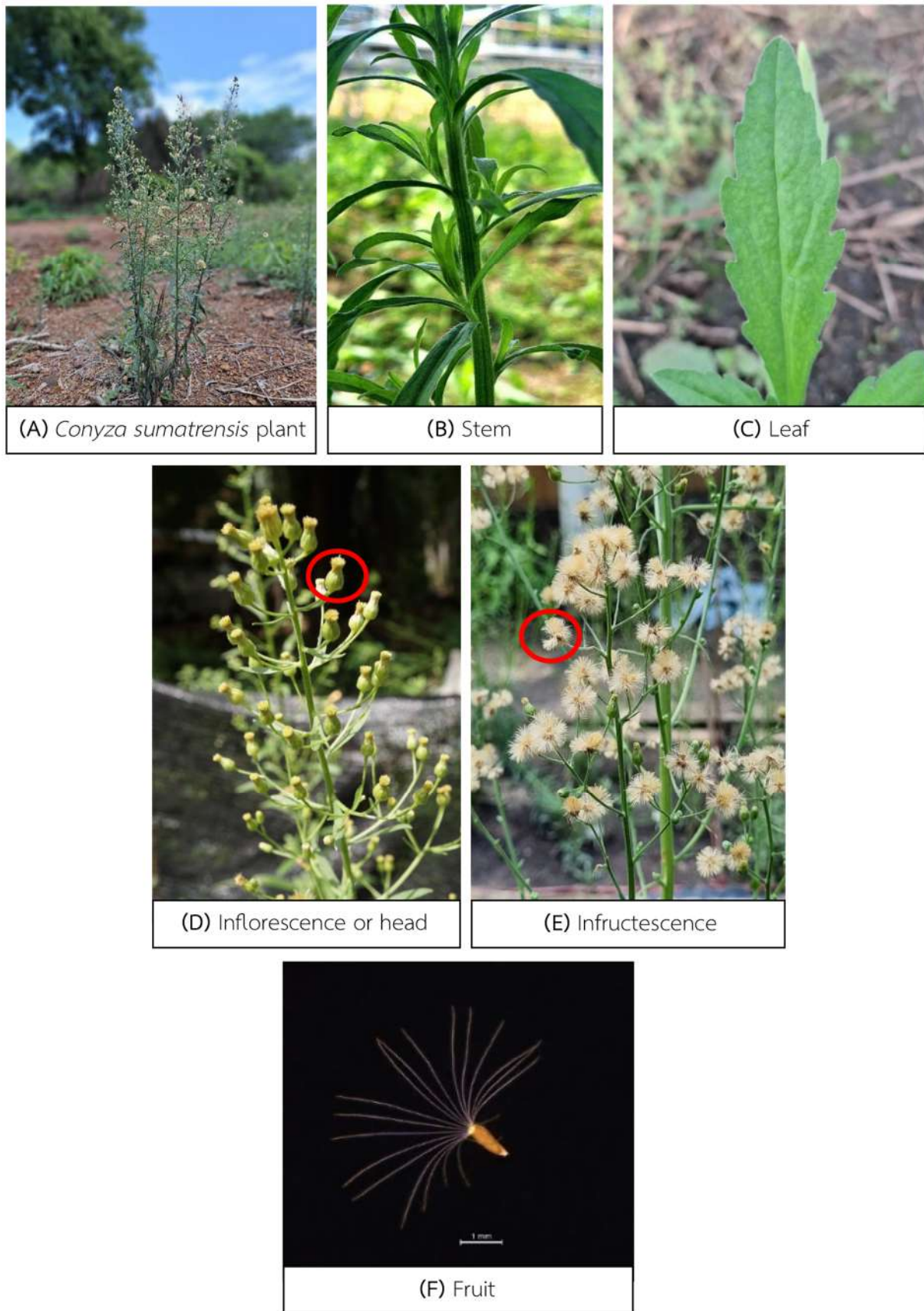


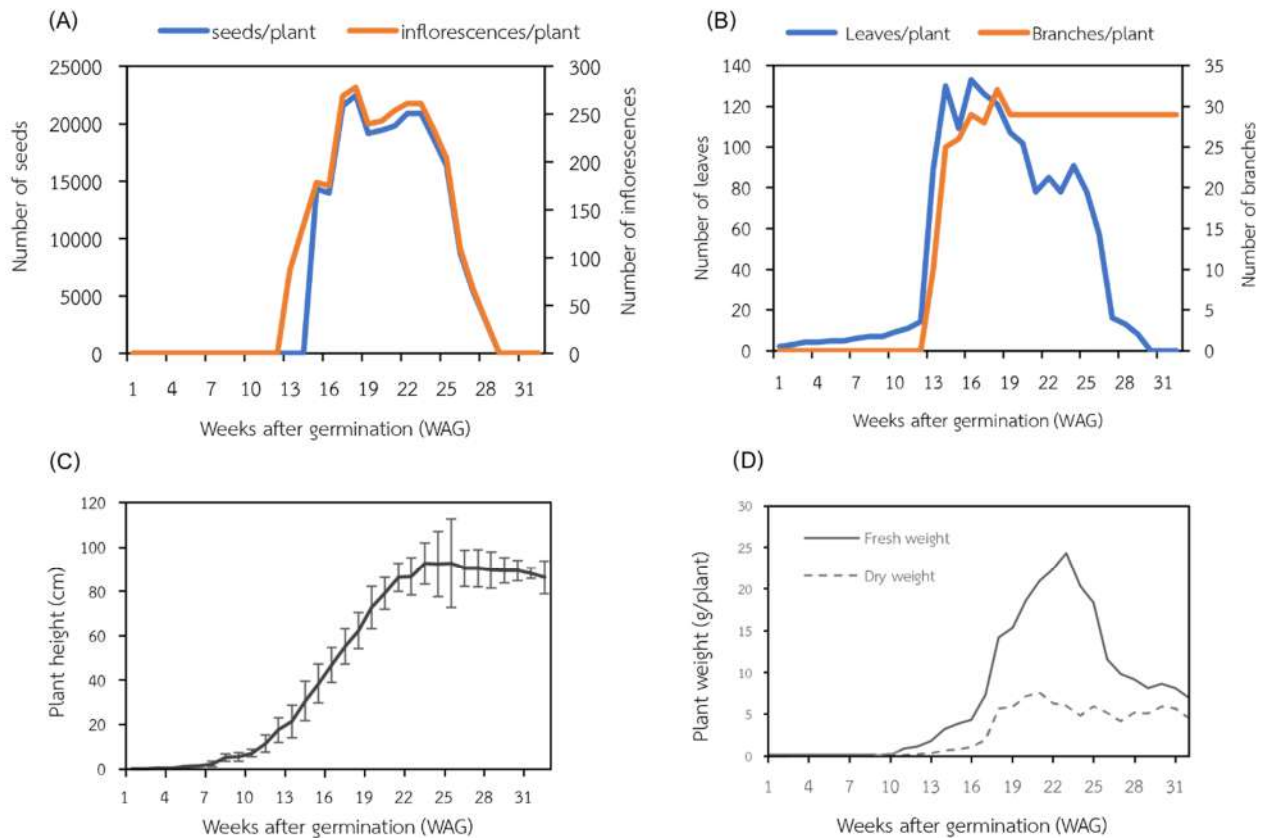
Figure 2 Life cycle of *Conyza sumatrensis*

ต้นจ้อยเดี่ยวโตเต็มที่มีลำต้นตั้งตรงสูง 2-3 ม. มีขนละเอียดปกคลุมทั่วต้น (Figure 3A และ 3B) ใบเดี่ยว เรียงสลับตามลำต้น ลักษณะใบแคบ รูปหอก ยาว ปลายใบแหลม ขอบใบจักละเอียด มีขนปกคลุม (Figure 3C) ดอกเป็นช่อ ในหนึ่งช่อดอกมีดอกย่อยอยู่รวมกันแบบช่อกระจุกแน่น ลักษณะช่อดอกเหมือนระฆังหงาย (Figure 3D) ดอกบานที่ระยะ 15 สัปดาห์หลังออก ช่อดอกที่บานเรียกว่าช่อผล (Figure 3E) และแต่ละดอกย่อยสร้างเมล็ดได้ 1 เมล็ดหรือผล ที่เรียกว่า achene มีลักษณะรูปทรงรี ขนาดเล็ก มีขนพู่ (pappus) สีขาวช่วยให้เมล็ดปลิวไปตามลม (Figure 3F) จ้อยทยอยออกดอกและสร้างเมล็ดได้มากที่สุดในช่วง 18 สัปดาห์หลังออก ประมาณ 22,440 เมล็ด/ต้น (Figure 4A) และการเจริญเติบโตของจ้อยค่อย ๆ ลดลงในช่วง 24 สัปดาห์หลังออก ไม่มีการสร้างใบและกิ่งเพิ่ม (Figure 4B) รวมทั้งความสูง (Figure 4C) จำนวนช่อดอก เมล็ด น้ำหนักสดและแห้ง/ต้น ลดลงอย่างต่อเนื่อง ใบแก่แห้งและร่วงหลุดไปจากต้น จนถึงระยะ 29 สัปดาห์หลังออก ต้นเริ่ม

โทรม ใบเหลือง ไม่มีการออกดอกติดผล และน้ำหนักสดและแห้งลดลง (Figure 4D) เช่นเดียวกับ Green (2010) ที่ศึกษาการเจริญเติบโตของจ้อยในตอนเหนือของประเทศออสเตรเลีย พบว่า การปลูกในปลายฤดูใบไม้ร่วง ระยะการสร้างดอก ออกดอก และเมล็ดสุกแก่ใช้เวลา 13.13 19.05 และ 21.40 สัปดาห์ตามลำดับ จำนวนเมล็ด 21,488 เมล็ด/ต้น ส่วนในฤดูใบไม้ผลิ ระยะการสร้างดอก ออกดอก และเมล็ดสุกแก่ใช้เวลา 9.84 14.49 และ 17.05 สัปดาห์ ตามลำดับจำนวนเมล็ด 13,712.5 เมล็ด/ต้น วัฏจักรชีวิตจ้อย 2 ฤดูที่แตกต่างกัน เนื่องจากสภาพอากาศมีผลต่อการเจริญเติบโต จึงส่งผลต่อการผลิตเมล็ด ทำให้จำนวนเมล็ดทั้ง 2 ฤดูแตกต่างกัน สอดคล้องกับการรายงานของ Xu et al. (2021) พบว่า อุณหภูมิ ความชื้นแสงความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นจ้อย และ Bewley et al. (2012) รายงานว่า อุณหภูมิ มีผลต่อกิจกรรมทางด้านสรีรวิทยาและกระบวนการเผาผลาญของพืช ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน



**Figure 3** Characteristics of *Conyza sumatrensis*; (A) Plant, (B) Stem, (C) Leaf, (D) Inflorescence or head, (E) Infructescence, (F) fruit



**Figure 4** Growth of an individual *Conyza sumatrensis* plant over 32 weeks after germination (WAG) (A) Number of seeds and inflorescences, (B) Number of leaves and branches, (C) Plant height, (D) Fresh and dry weight

### 3. ความลึกต่อการงอกของเมล็ดจ้อล่อ

ผลการทดลอง พบว่า การหว่านเมล็ดที่ระดับความลึก 0 ซม. (ผิวหน้าดิน) มีความงอกเฉลี่ย 44% ส่วนเมล็ดที่ถูกหว่านในระดับความลึก 5 10 15 20 และ 25 ซม. ไม่พบเมล็ดงอกโผล่พ้นหน้าดิน (ไม่แสดงตาราง) สอดคล้องกับ Mahajan et al. (2021) ที่รายงานว่าความงอกของเมล็ด *C. sumatrensis* ที่ระดับหน้าดิน 64% และลดลงที่ระดับความลึกดิน 0.5 และ 1 ซม. มีความงอก 8 และ 6% ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความลึก 2 และ 4 ซม. ไม่พบการงอก และจากการศึกษาระดับการฝังตัวที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดวัชพืชสกุล *Crassocephalum* (ผักเผ็ดแมว) วงศ์ Asteraceae พบว่า ที่ระดับผิวดินมีการงอกของเมล็ดมากที่สุด โดยไม่พบการงอกในความลึกฝังตั้งแต่

1-2 ซม. ขึ้นไป (โองการ, 2556) ดังนั้น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้พบจ้อล่อในพื้นที่เกษตรที่ไม่ไถพรวนหรือไถพรวนน้อย และการที่เมล็ดแพร่กระจายบริเวณหน้าดินทำให้เมล็ดตอบสนองต่อแสง ซึ่งแสงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการงอกของเมล็ดได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่อยู่ระดับความลึกดิน (Wu et al., 2007; Loura et al., 2020; Xu et al., 2021) นอกจากนี้ Mahajan et al (2021) พบว่า การงอกของเมล็ดจ้อล่อยังขึ้นกับอุณหภูมิ โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง 20-30 °ซ. ความมีชีวิตของเมล็ด (seed viability) 2-3 ปี แพร่กระจายโดยลมเป็นหลัก รองลงมาโดยน้ำ (Hao et al., 2009; Anastasiu and Memedemin, 2012; Florentine et al., 2021; Plantnet, 2023)

ผลการวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงการแพร่กระจายของจิ้งจอกซึ่งเป็นพืชต่างถิ่นที่สามารถตั้งรกรากและเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมทั่วทุกภาคของประเทศไทยจากเมล็ดมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาและมีขนยาวที่ปลายประกอบกับการผลิตเมล็ดจำนวนมากกว่า 20,000 เมล็ด/ต้น จึงเป็นปัจจัยที่ช่วยให้เมล็ดแพร่กระจายเป็นระยะทางไกลได้โดยลม ดังนั้น จึงควรทำการกำจัดต้นจิ้งจอกออกจากพื้นที่ก่อนออกดอกเพื่อลดการแพร่กระจายของเมล็ด นอกจากนี้จิ้งจอกมีช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นที่ช้า ประมาณ 9-10 สัปดาห์ ลำต้นถึงจะมีใบแผ่ออกเป็นทรงพุ่ม ดังนั้น ในพื้นที่ที่มีการแพร่ระบาดควรเลือกพืชปลูกที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หรือพืชอายุสั้น เพื่อให้สามารถแข่งขันกับจิ้งจอกได้ ส่วนข้อมูลการงอกของเมล็ดจิ้งจอกในดินที่ต่างระดับความลึกชี้ว่า ควรป้องกันกำจัดจิ้งจอกในพื้นที่เกษตรโดยการไถพรวนดินให้ลึกกว่า 5 ซม. และควรปล่อยให้ไม้เศษซากพืชอยู่ในแปลงเพื่อป้องกันการงอกของเมล็ดจิ้งจอกที่อยู่บนผิวดินไม่ให้ได้รับแสง การเลือกใช้วิธีที่ผสมผสานกันจะช่วยทำให้การป้องกันกำจัดจิ้งจอกในประเทศไทยมีประสิทธิภาพ

### สรุปผลการทดลอง

จิ้งจอกสามารถขึ้นในพื้นที่ปลูกพืชไร่ พืชผัก พืชอุตสาหกรรม และไม้ผล ทั่วทุกภาคของประเทศไทยสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่โล่งแจ้งและมีร่มเงา จิ้งจอกงอกจากเมล็ดประมาณ 3-5 วันหลังปลูก หลังจากนั้นประมาณ 9-10 สัปดาห์หลังงอกมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นได้อย่างรวดเร็ว เริ่มติดดอกและแตกกิ่งในช่วงสัปดาห์ที่ 13 สัปดาห์หลังงอกและผลิตเมล็ดได้มากที่สุดประมาณ 18 สัปดาห์หลังงอก เมล็ดจิ้งจอกสามารถงอกได้ในระดับผิวดินมีความงอกเฉลี่ย 44% หากเมล็ดถูกฝังลงลึกในดินตั้งแต่ 5 ซม.

จะไม่สามารถงอกได้ ดังนั้น การป้องกันกำจัดจิ้งจอกในเบื้องต้นควรแนะนำให้เกษตรกรไถพรวนผิวดินให้ลึกลงไปมากกว่า 5 ซม. เพื่อกลบเมล็ดที่อยู่บนผิวดิน หากพบจิ้งจอกงอกขึ้นมาหลังไถผิวดิน ควรทำการไถพรวนอีกครั้งเพื่อทำลายต้นอ่อน

### เอกสารอ้างอิง

- คมสัน นครศรี จริญญา ปิ่นสุภา และภัทร์พิชชา รุจิระพงศ์ชัย. 2553. การเฝ้าระวังการแพร่ระบาดของ *Conyza canadensis* (L.) Cronq. ในพืชไร่ พืชผัก และไม้ดอกเมืองหนาว. หน้า 1478-1487. ใน: รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2553. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร.
- จันทร์เพ็ญ ประคองวงศ์ จริญญา ปิ่นสุภา เบญจมาภรณ์ ลี้มประเสริฐ และมัตติกา ทองรส. 2552. เฝ้าระวังการแพร่กระจายของ *Conyza canadensis* (L.) Cronq. ในประเทศไทย. หน้า 1144-1154. ใน: รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2552. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร.
- จรรยา มณีโชติ. 2548. ข้าววัชพืช ปัญหาและการจัดการ. กลุ่มวิจัยวัชพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร. 19 หน้า.
- จริญญา ปิ่นสุภา 2562. ชีววิทยาของ *Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson วัชพืชที่สำคัญของประเทศไทย. หน้า 321-333. ใน: การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 14. สมาคมอารักขาพืชไทย. 12-14 พฤศจิกายน 2562. จังหวัดเพชรบุรี.
- โองการ วณิชชาชีวะ. 2556. เปรียบเทียบปัจจัยที่มีต่อการงอกของเมล็ดวัชพืชต่างถิ่นสกุลผักแผ้วในประเทศไทย. วารสารแก่นเกษตร. 41(3): 317-326.
- Albrecht, A.J.P., V.G.C. Pereira, C.N.Z. Souza, L.H.S. Zobiolo, L.P. Albrecht and F.S. Adegas. 2018. Multiple resistance of *Conyza sumatrensis* to three mechanisms of action of herbicides. Available at: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/S7RJGrVzc5NKZyqwywfvBFJ/?format=pdf&lang=en>. Accessed: November 10, 2024.

- Anastasiu, P. and D. Memedemin. 2012. *Conyza sumatrensis*: A new alien plant in Romania. *Botanica Serbica*. 36(1): 37-40.
- Bewley, J.D., K.J. Bradford, H.W. Hilhorst, H. Nonogaki. 2012. *Seeds: Physiology of development, germination, and dormancy*. Springer Science & Business Media. New York.
- CABI (Centre for Agriculture and Biosciences International). 2023. *Conyza sumathensis* (tall fleabane). CABI compendium. Available at: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.15252>. Accessed: December 14, 2023.
- Florentine, S., T. Humphries and B.S. Chauhan 2021. *Erigeron bonariensis*, *Erigeron canadensis*, and *Erigeron sumathensis*. pp. 131-149 In: *Biology and Management of Problematic Crop Weed Species*. Academic press.
- Green, T.D. 2010. *The Ecology of Fleabane (Conyza spp.)*. School of Environmental and Rural Science, Faculty of Arts and Sciences, University of New England.
- Hao, J., S. Qiang, Q. Liu and F. Cao. 2009. Reproductive traits associated with invasiveness in *Conyza sumatrensis*. *Journal of Systematics and Evolution*. 47 (3): 245–254.
- IEWF (International Environmental Weed Foundation). 2005. *Common Invasive Plants of the World*. Available at: [https://www.iewf.org/weedid/Conyza\\_sumatrensis.htm](https://www.iewf.org/weedid/Conyza_sumatrensis.htm). Accessed: July 12, 2023.
- Loura, D., Sahil, S. Florentine and B.S. Chauhan. 2020. Germination ecology of hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) and its implications for weed management. *Weed Science*. 68(4): 411–417.
- Mahajan, G., A. Prasad and B.S. Chauhan. 2021. Seed germination ecology of Sumatran fleabane (*Conyza sumatrensis*) in relations to various environmental parameters. *Weed Science*. 69(6): 687-694.
- Marambe, B., S.P. Nissanka, L. Silva, A. Anandacoomaraswamy and M.G.D.L. Priyantha. 2002. Occurrence of paraquat-resistant *Erigeron sumathensis* (Retz.) in upcounty tea lands of Sri Lanka. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/236160284>. Accessed: December 15, 2022.
- McMaugh, T. 2005. *Guidelines for surveillance for plant pests in Asia and the Pacific*. ACIAR Monograph.No 119, 192 p.
- Ngow, Z., R.J. Chynoweth, M. Gunnarsson, P. Rolston and C.E. Buddenhagen. 2020. A herbicide resistance risk assessment for weed in wheat and barley cropping systems in New Zealand. *PLoS One*. 15(6): e0234771.
- Plantnet. 2023. *Riceweeds en-Asteraceae Plantnet*. Available at: [http://publish.plantnet-project.org/project/riceweeds\\_en/collection/collection/information/details/ERIFL](http://publish.plantnet-project.org/project/riceweeds_en/collection/collection/information/details/ERIFL) Accessed: July 12, 2023.
- Thebaud, C. and R.J. Abbott. 1995. Characterization of invasive *Conyza* species (Asteraceae) in Europe: quantitative trait and isozyme analysis. *American Journal of Botany*. 82(3): 360–368.
- Thebaud, C., A.C. Finzi, L. Affre, M. Debussche and J. Escarre. 1996. Assessing why two introduced *Conyza* differ in their ability to invade Mediterranean old fields. *Ecology*. 77(3): 791-804.
- Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. 2016. *The Forest Herbarium*. pp. 254-255. In: *Flora of Thailand*. Volume 13 Part 2 Composite (Asteraceae).
- Wu, H., S. Walker, M.J. Rollin, D.K.Y. Tan, G. Robinson and J. Werth. 2007. Germination, persistence, and emergence of flaxleaf fleabane (*Conyza bonariensis* [L.] Cronquist). *Weed Biology and Management*. 7(3): 192-199.
- Xu, Y., J. Ye, A. Khalofah, A.T.K. Zuan, R. Ullah and A.M. El-Shehawi. 2021. Seed germination ecology of *Conyza sumatrensis* populations stemming from different habitats and implications for management. *PLoS One*. 16(12): e0260674.

การประเมินธาตุอาหารพืชของกระชายที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทราย จังหวัดนครปฐม  
Estimation of Plant Nutrient in Fingerroot Grown on Sandy Clay Loam Soil at  
Nakhon Pathom Province

ชัชชนพร เกื้อหนุน<sup>1/\*</sup> ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล<sup>1/</sup> สมฤทัย ต้นเจริญ<sup>1/</sup>  
Chattanaporn Kueanoon<sup>1/\*</sup> Pinyaluck Ratanavirakul<sup>1/</sup> Somrutai Tancharoen<sup>1/</sup>

*Received 31 May 2024/Revised 13 Sep. 2024/Accepted 25 Sep. 2024*

### ABSTRACT

General fertilizer application was recommended for fingerroot, which did not align with the crop's actual nutrient requirements. This experiment aimed to study crop nutrient requirements in fingerroot grown on sandy clay loam soil in Nakhon Pathom province. Treatments were laid out in a randomized complete block design with four replicates. The result revealed that the plant height and dry weight were not statistically different among treatments. The concentration of each plant nutrient varied across different parts of the plant. Potassium in leaf sheaths, nitrogen and calcium in leaves, and magnesium in leaves, leaf sheaths, roots, and shoots showed the highest concentrations. However, the phosphorus levels in all parts of plants did not differ. Nitrogen concentration decreased with increasing plant age in all parts except the rhizomes. Potassium in the leaves and leaf sheaths tended to decrease as the plant age increased, while no changes of potassium in other parts were observed. Phosphorus, calcium and magnesium in all plant ages were not different. Fingerroot grown in sandy clay loam soil, in which organic matter and exchangeable potassium were low but available phosphorus was very high, required fertilizer applications 2, 3, 4, 5, 6 and 7 months after planting at the rate of 15-6-49, 29-26-256, 289-136-1,159, 332-187-1,521, 1,239-717-4,709 and 774-674-3,564 mg N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/clump, respectively. Precise nutrient management according to the requirements of fingerroot in each growth stage can enhance fertilizer use efficiency. These findings can serve as a guideline for developing site-specific fertilizer recommendations based on local soil conditions.

**Keywords:** fingerroot; cow dung; crop nutrient requirement; sandy clay loam soil; nutrient uptake

---

<sup>1/</sup> กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร 50 ถ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ

<sup>1/</sup> Agricultural Production Sciences Research and Development Division, 50 Phaholyothin Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

\* Corresponding author: wasak\_k@hotmail.com

## บทคัดย่อ

คำแนะนำการใส่ปุ๋ยในกระชายเป็นแบบกว้าง ๆ ยังไม่ตรงตามความต้องการของพืช การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการธาตุอาหารของกระชายที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทราย จ. นครปฐม วางแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ 4 กรรมวิธี พบว่า ความสูงและน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในทุกกรรมวิธี ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชมีความเข้มข้นในส่วนต่าง ๆ ของกระชายแตกต่างกัน โดย K ในกาบใบ N และ Ca ในใบ Mg ในใบ กาบใบ ราก และลำต้น มีความเข้มข้นสูงสุด ส่วน P มีค่าใกล้เคียงกันในทุก ๆ ส่วนของพืช โดยที่ N ลดลงตามอายุพืชที่เพิ่มขึ้นในแต่ละส่วนยกเว้นในเหง้า ขณะที่ K ในใบ และกาบใบมีแนวโน้มลดลงตามอายุ แต่ส่วนอื่นไม่แตกต่างกัน ส่วน P Ca และ Mg ในทุกช่วงอายุไม่แตกต่างกัน การปลูกกระชายในดินร่วนเหนียวปนทรายที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมาก ปริมาณปุ๋ยที่ต้องการในระยะ 2 3 4 5 6 และ 7 เดือน อัตรา 15-6-49 29-26-256 289-136-1,159 332-187-1,521 1,239-717-4,709 และ 774-674-3,564 มก. N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/กอกตามลำดับ จัดการธาตุอาหารให้เหมาะกับช่วงอายุของกระชายเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ย และสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาคำแนะนำการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมกับพื้นที่และสภาพของดิน

**คำสำคัญ:** กระชาย; มูลวัวนม; ความต้องการธาตุอาหารของพืช; ดินร่วนเหนียวปนทราย; การดูแลใช้ธาตุอาหาร

## บทนำ

กระชาย (*Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf.) เป็นพืชสมุนไพรวงศ์ขิง (Zingiberaceae) ที่มีศักยภาพเชิงเศรษฐกิจและเป็นเครื่องเทศสำคัญ แหล่งปลูกหลักอยู่ใน จ. นครปฐม แม้กระชายเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทุกพื้นที่ แต่การปลูกให้ได้ผลผลิตและคุณภาพตามมาตรฐานยังมีข้อจำกัดจากสภาพดินในแต่ละพื้นที่ การจัดการธาตุอาหารพืชที่มีประสิทธิภาพต้องทำให้พืชได้รับธาตุอาหารตรงตามความต้องการของพืช และเหมาะสมในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ซึ่งมีความแตกต่างกันของระดับธาตุอาหารที่พอเพียงต่อการเจริญเติบโต การติดดอก หรือการให้ผลผลิต การประเมินความต้องการธาตุอาหารในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของกระชาย ส่งผลให้ใส่ปุ๋ยได้ถูกช่วงจังหวะที่พืชต้องการธาตุอาหารสูงสุดและเพิ่มประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ย เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกความสามารถของพืชในการดูดดึงธาตุอาหารมาใช้ได้

การจัดการปุ๋ยในกระชายอาศัยข้อมูลระดับธาตุอาหารของพืชวงศ์ขิงเพื่อใช้อ้างอิงการจัดการธาตุอาหาร โดยระดับที่เหมาะสมของธาตุอาหารในใบมีนัยที่อายุ 90-120 วัน เก็บจากใบตำแหน่งที่ 3 นับจากยอด คือ 1.22-2.75%N 0.36-1.27%P 3.66-6.60%K 0.18-0.33%Ca 0.61-1.25%Mg 143-1,568 มก.Fe/กก. 41.1-93.2 มก.Zn/กก. และ 14.3-26.3 มก.B/กก. (Kumar et al., 2003) การประเมินความต้องการธาตุอาหารจะนำมากำหนดสัดส่วนของปุ๋ยที่ต้องปรับใส่ให้พืชที่มีความแม่นยำและใส่ให้พืชเฉพาะในส่วนของธาตุอาหารที่ขาดและไม่เพียงพอเท่านั้น (Jones et al., 2015) โดยดินที่

เหมาะสมในการปลูกควรเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย และดินร่วนเหนียว ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.0-6.5 อินทรีย์วัตถุมากกว่า 2% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 20-40 มก./กก. โพแทสเซียม 100-300 มก./กก. แคลเซียม 400 มก./กก. และแมกนีเซียม 60-100 มก./กก. (Halder et al., 2007) การให้ธาตุอาหารที่ถูกต้องและถูกช่วงจังหวะของความต้องการธาตุอาหารชนิดนั้น ๆ ย่อมส่งเสริมพัฒนาการของพืชให้ได้ผลผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพได้มาตรฐาน จึงสามารถยกระดับการผลิตและเพิ่มศักยภาพการผลิตพืชของดินในระยะยาว จึงได้ดำเนินการศึกษาความเข้มข้นและความต้องการธาตุอาหารของกระชายในระยะต่าง ๆ และประเมินความต้องการปุ๋ยของกระชายจากการดูการใช้ธาตุอาหาร สำหรับนำไปปรับใช้และให้คำแนะนำการจัดการปุ๋ยในการผลิตกระชายที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทราย ในพื้นที่ จ. นครปฐม

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. สมบัติดินในแปลงทดลอง

ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกร ต. ทุ่งลูกนก อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม ชุดดินกำแพงแสน (Ks) (Fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic Typic Haplustalfs) (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.) พิกัด 47P 597194mE 1548362mN จากการวิเคราะห์ดินที่ระดับความลึก 0-20 ซม. พบว่า เป็นดินร่วนเหนียวปนทราย pH 7.7 ไม่มีความเค็ม (0.054 mS/cm) อินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ (0.74% และ 29 มก./กก.) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงมาก (88 และ 2,400 มก./กก.) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง (212 มก./กก.)

### 2. สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์

มูลวัวนมที่ใช้ในการศึกษา มีความชื้น 12% ของน้ำหนักสด C/N ratio 24.4 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทั้งหมด 1.38 1.36 และ 2.64% ตามลำดับ อินทรีย์วัตถุ 58.1% การใส่มูลวัวนม อัตรา 1 ตัน น้ำหนักแห้ง (DW)/ไร่ ให้ธาตุอาหารพืช 13.8 13.6 และ 26.4 กก. N P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> และ K<sub>2</sub>O/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้ 20% ของไนโตรเจนทั้งหมด (กรมวิชาการเกษตร, 2565ก)

### 3. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ 4 กรรมวิธี ได้แก่ 1) แปลงควบคุม (control: ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ไม่ใส่ชีวมวล และผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์) 2) ใส่ปุ๋ยเคมี 1.0 เท่าตามอัตราแนะนำของพืชวงศ์ขิง (RDF: 24-6-28 กก. N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/ไร่) 3) ใส่ปุ๋ยเคมี 1.0 เท่าตามอัตราแนะนำของพืชวงศ์ขิง+มูลวัวนม 1.0 ตัน DW/ไร่ 4) ใส่ปุ๋ยเคมี 1.0 เท่าตามอัตราแนะนำของพืชวงศ์ขิง+มูลวัวนม 1.0 ตัน DW/ไร่+ไมคอร์ไรซา แปลงย่อยขนาด 3.0x3.6 ม. โดยมูลวัวนมใส่พร้อมสับกลบลงดิน 1 ตัน DW/ไร่ ส่วนเชื้อราไมคอร์ไรซาใส่อัตรา 5 ก./หลุม มีการใส่ปุ๋ยเคมี ดังนี้ ครั้งที่ 1 รองพื้นด้วยปุ๋ย P+ ½ K ครั้งที่ 2 ที่อายุ 2 เดือนหลังปลูก ใส่ ¼ N ครั้งที่ 3 ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก ด้วย ¼ N + ½ K ครั้งที่ 4 ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก ด้วย ¼ N และครั้งที่ 5 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก ด้วย ¼ N ในรูปปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) ปุ๋ยทรูปเปิดลูซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)

ปลูกกระชายเหง้าพันธุ์พวง อายุ 10 เดือน ที่ผ่านการแช่สารป้องกันโรครากเน่า-โคนเน่า ใช้ระยะปลูก 0.15x0.15 ม. ปลูกแถวเดี่ยว 20 แถว ๆ ละ 24 ต้น พร้อมกลบดิน คลุมแปลงด้วยใบอ้อยและฉีตพ่น

สารควบคุมวัชพืช เมื่ออายุ 3 เดือนหลังปลูก ฉีดพ่นสารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ความเข้มข้น 20% ในทุกกรรมวิธี ทุก ๆ 15 วัน 5 ครั้ง ดูแลรักษาแปลงตาม good agricultural practice (GAP) ให้ น้ำระบบสปริงเกอร์ เก็บเกี่ยวที่อายุ 8 เดือนหลังปลูก ในพื้นที่ 2.1 ตร.ม.

#### 4. การเก็บตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหาร

เก็บตัวอย่างกระชายที่อายุ 2-8 เดือนหลังปลูก เลือกที่ไม่มีข้อจำกัดมาศึกษา จากกรรมวิธี 2-4 แยกเป็นส่วนของใบ (เก็บใบทั้งหมดรวมกัน) กาบใบ ลำต้น เหง้า ราก และรากสะสมอาหาร บดละเอียด วิเคราะห์ปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหาร แยกวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละแปลงย่อย แล้วหาค่าเฉลี่ยวัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยใช้การย่อยสลายด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นและตัวเร่งปฏิกิริยา วิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี micro-Kjeldahl method (Bremner, 1960)

วัดปริมาณฟอสฟอรัส โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด โดยย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสมระหว่างกรดเปอร์คลอริกและกรดไนตริก สัดส่วน 1:2 (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544) นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยการทำให้เกิดสีตามวิธี Vanadomolybdate และวัดความเข้มสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง spectrophotometer (Anderson and Ingram, 1993) วัดปริมาณโปแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมดด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Okalebo et al., 2002)

บันทึกข้อมูล ความสูง น้ำหนักแห้งและค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในแต่ละส่วน คำนวณปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหาร วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. การเจริญเติบโตและน้ำหนักแห้ง

ความสูง และน้ำหนักแห้งต้นของกระชายที่อายุ 2 และ 5 เดือนหลังปลูก (Table 1) ความสูงและน้ำหนักแห้งต้นในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยแบบต่างๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติและกรรมวิธีควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากดินปลูกกระชายมีอินทรีย์วัตถุและโปแทสเซียมในดินต่ำจากการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และใส่ปุ๋ยสูตรเสมอหรือปุ๋ยยูเรียเป็นหลัก ส่งผลให้เกิดการตกค้างของฟอสฟอรัสในดินสูง การปลูกพืชในดินที่มีอินทรีย์วัตถุและโปแทสเซียมต่ำและดินเป็นด่างเล็กน้อยทำให้ฟอสฟอรัสถูกตรึง ประกอบกับเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ปุ๋ยจึงชะละลายสูญหายได้ง่าย สอดคล้องกับรายงานของ Burakova and Bakšiene (2021) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้มีจุลินทรีย์ที่หลากหลายจึงส่งเสริมการหมุนเวียนของไนโตรเจนในดินและสูญเสียดังกล่าวโดยกระบวนการต่าง ๆ สอดคล้องกับ Sun et al. (2015) แต่แตกต่างจากรายงานของ Kadam and Kamble (2020) ที่การใส่ปุ๋ยเคมี 32-16-16 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 ตัน/ไร่ ให้ความสูงต้นขมิ้นชันสูงสุด นอกจากนี้ การใส่เชื้อราไมคอร์ไรซาร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ไม่ช่วยเพิ่มความสูงและน้ำหนักแห้งกระชายได้ เนื่องจากการใส่เชื้อราส่งผลให้การชะละลายของไนเตรตสูง (Xiao and Chen, 2022; Yamawaki et al. (2013) และประสิทธิภาพการทำงานสูงหากดินมีประชากรเชื้อราต่ำ ซึ่งดินในแปลงมีสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 33 สปอร์/ดิน 100 ก. ประกอบกับการใส่ปุ๋ยเคมีในดินที่มีฟอสฟอรัสสูงจึงทำให้ประชากรเชื้อราลดลง (Liu et al., 2020) จึงทำให้ความสูงและน้ำหนักแห้งต้นของกระชายที่อายุ 2 และ 5 เดือนหลังปลูกที่ได้รับการจัดการต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน

**Table 1** Plant growth and dry weight of fingerroot at 2 and 5 months after planting (MAP)

Treatment <sup>1/</sup>	Plant height (cm)		Dry weight (g/clump)	
	2 MAP	5 MAP	2 MAP	5 MAP
Control	18.3	43.3	0.89	21.45
1.0 RDF	18.1	47.1	0.98	25.78
1.0 RDF+CD	16.6	45.6	0.72	24.77
1.0 RDF+CD+AMF	18.3	46.4	0.80	28.78
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.5	10.3	22.4	8.9

<sup>1/</sup> 1.0 RDF: Chemical fertilizer at a rate of 1.0 time the recommended dosage for Zingiberaceae (24-6-28 kg N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/rai),  
1.0 RDF+CD: Chemical fertilizer at a rate of 1.0 time the recommended dosage for Zingiberaceae + cow dung,  
1.0 RDF+CD+AMF: Chemical fertilizer at a rate of 1.0 time the recommended dosage for Zingiberaceae + cow dung + mycorrhiza

## 2. ความเข้มข้นธาตุอาหาร

**ใบและกาบใบ** มีความเข้มข้น K>N>Ca>Mg>P (Table 2) โดยในทุกช่วงอายุ Ca Mg และ P มีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ความเข้มข้น N และ K ลดลงตามอายุของพืชที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า ธาตุอาหารทั้งสองถูกส่งไปยังส่วนที่กำลังเจริญเติบโต สอดคล้องกับ Zhang et al. (1996) ที่รายงานว่าช่วง 4 เดือนแรก ปริมาณ K ที่สูงในกาบใบเพื่อเสริมความแข็งแรงผนังเซลล์และส่งผลให้ลำต้นกับเหง้าในการสร้างรากสะสมอาหาร ส่วน Ca เป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ ท่อลำเลียงน้ำและอาหาร จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วง 5 เดือน หากได้รับ Ca ไม่เพียงพอจะกระทบต่อการดูดน้ำ ธาตุอาหารและผนังเซลล์อ่อนแอ (ชัยสิทธิ์และคณะ, 2565) ใบกระชายที่อายุ 2-3 เดือน มี N K และ Mg อยู่ในระดับที่เพียงพอเมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่พอเหมาะในใบขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ 1.22-2.75%N 3.66-6.60%K และ 0.61-1.25%Mg ตามลำดับ แต่ความเข้มข้น P (0.28-0.29%) ต่ำกว่าความเข้มข้นที่พอเหมาะในใบขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ 0.36-1.27% แตกต่างจากรายงานของ Singh et al. (1999) ที่พบว่า P ที่เหมาะสมในใบขมิ้นชันอยู่ในช่วง 0.2-0.5% ขณะที่ความเข้มข้น Ca (1.15-1.23%) สูงกว่าเมื่อเทียบกับใบขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ 0.18-0.33% (Kumar

et al., 2003) แต่ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Perni (2005) พบว่า Ca มีค่าอยู่ในช่วง 1.20-1.91%

**ลำต้น** มีความเข้มข้น K>N>Mg>Ca, P (Table 2) ปริมาณ N ลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ P K Ca และ Mg มีค่าใกล้เคียงกัน ลำต้นมีความเข้มข้น K 6.28-6.64% และ Mg 0.50-0.70% ตามลำดับ แต่เมื่อลำต้นกลายเป็นเหง้า ปริมาณ K และ Mg ในเหง้าลดเหลือ 1.27-2.44% และ 0.25-0.31% ตามลำดับ เนื่องจาก K ในเหง้าถูกดูดนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหาร สอดคล้องกับ Azizah et al. (2022) ส่วน Mg ถูกนำไปใช้เสริมสร้างความแข็งแรงของผนังเซลล์ เคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลหรือภาวะปฏิปักษ์ระหว่าง K และ Ca

**ราก** มี K>N>Ca>Mg P (Table 2) โดย N K Ca และ Mg ในทุกช่วงอายุไม่ต่างกัน แต่ P มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากจำเป็นต่อการสร้างราก นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมหรือปุ๋ยที่มีฤทธิ์เป็นกรด ทำให้รากดูดใช้ P ได้ดีขึ้น และแก้ปัญหาการถูกตรึงกับ Ca ได้ (Elbasiouny et al., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับชนิดของปุ๋ย N ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

**Table 2** Nutrient concentration in fingerroot at different growth stages in each month after planting (MAP)

Growth stage (MAP)	Plant part	Nutrient concentration (%)				
		N	P	K	Ca	Mg
2	Leaves	2.36	0.28	3.76	1.23	0.71
	Leaf sheaths	1.77	0.38	8.03	0.72	0.62
	Shoots	1.65	0.37	6.32	0.38	0.50
	Roots	1.06	0.16	3.30	0.76	0.56
3	Leaves	2.11	0.29	3.79	1.15	0.64
	Leaf sheaths	1.39	0.39	8.08	0.59	0.52
	Shoots	1.18	0.37	6.28	0.41	0.70
	Roots	1.02	0.21	4.43	0.76	0.65
4	Leaves	1.92	0.30	3.85	1.29	0.75
	Leaf sheaths	1.21	0.45	8.44	0.65	0.64
	Shoots	1.16	0.37	6.64	0.45	0.69
	Roots	1.09	0.23	4.36	0.89	0.63
5	Leaves	1.90	0.25	3.54	1.51	0.64
	Leaf sheaths	0.85	0.39	7.90	1.01	0.43
	Rhizomes	0.77	0.27	2.44	0.30	0.31
	Storage roots	0.92	0.28	4.29	0.12	0.26
6	Leaves	1.85	0.25	2.53	1.30	0.67
	Leaf sheaths	0.82	0.30	5.94	0.85	0.46
	Rhizomes	1.31	0.28	1.31	0.25	0.25
	Storage roots	0.81	0.27	3.42	0.12	0.27
7	Leaves	1.49	0.18	2.31	1.57	0.64
	Leaf sheaths	0.65	0.21	7.06	0.97	0.44
	Rhizomes	1.68	0.34	1.38	0.23	0.25
	Storage roots	0.72	0.23	3.41	0.11	0.26
8	Leaves	-	-	-	-	-
	Leaf sheaths	-	-	-	-	-
	Rhizomes	1.87	0.38	1.27	0.30	0.28
	Storage roots	0.95	0.28	3.39	0.12	0.25

เหง้า มีความเข้มข้น N เพิ่มขึ้นตามอายุ (Table 2) เพื่อกักเก็บให้ต้นอ่อนในฤดูปลูกต่อไป สอดคล้องกับ Lee et al. (1981) รายงานว่า N ในเหง้าสะสมอย่างต่อเนื่องถึงช่วงเก็บเกี่ยวหรือที่อายุ 8 เดือน เหง้ามี K Ca และ Mg ไม่ต่างกันในทุกช่วงอายุ ซึ่งแตกต่างจากปริญญา (2563) ที่รายงาน ว่า ช่วง 6-8 เดือน Ca ในเหง้ากระชายมีแนวโน้มลดลง เห็นได้ว่า

เหง้ากระชายมีความเข้มข้น N P K และ Ca อยู่ในระดับที่เพียงพอเมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่พอเหมาะในเหง้าขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ระดับ 0.88-1.54%N 0.20-0.34%P 1.17-2.51%K และ 0.18-1.28%Ca ตามลำดับ แต่ความเข้มข้น Mg (0.25-0.31%) สูงกว่าเมื่อเทียบกับความเข้มข้น Mg ในเหง้าขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ระดับ 0.11-0.19%Mg (Kumar et al., 2000)

ในแต่ละช่วงอายุ ราก และรากสะสมอาหาร มีความเข้มข้น N P และ K ใกล้เคียงกัน แต่ความเข้มข้น Ca และ Mg ในรากสะสมอาหารต่ำ (Table 2) แม้ Ca และ Mg มีบทบาทในการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต (Sanghamithre and Menon, 2014; Koch et al., 2019) แต่พบสะสมมากในใบ กาบใบ และรากหรือส่วนเหนือดินมากกว่าส่วนใต้ดิน นอกจากนี้ รากและรากสะสมอาหารมี K สูงกว่าธาตุอาหารอื่น เนื่องจากจำเป็นต่อการสร้างและเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตและกิจกรรมของ starch synthase enzyme ซึ่งไม่ต่างจาก Mg (White and Broadley, 2009)

### 3. สัดส่วนความเข้มข้นและปริมาณการสะสมธาตุอาหาร

ใบและกาบใบมีความเข้มข้น  $K > N > Ca > Mg > P$  ลำต้นและเหง้ามีความเข้มข้น  $K > N > Mg > Ca > P$  และ  $N > K > Ca > Mg > P$  ตามลำดับ ส่วนราก และรากสะสมอาหารมี  $K > N > Ca > Mg > P$  และ  $K > N > Mg > P > Ca$  ตามลำดับ (Table 2) โดยใบ และกาบใบมีสัดส่วน  $N:P:K:Ca:Mg$  เฉลี่ย 8:1:30:5:3 และ 3:1:20:2:1 ตามลำดับ ขณะที่ลำต้น เหง้า ราก และรากสะสมอาหาร มีค่าเฉลี่ย 4:1:17:1:2 4:1:5:1:1 5:1:20:4:3 และ 3:1:13:0.4:1 ตามลำดับ

ทุกส่วนของกระชายมีสัดส่วนความเข้มข้น K และ N สูงกว่า Ca Mg และ P สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tania et al. (2021) ที่ขมิ้นชันต้องการ K และ N ในปริมาณสูง แต่การดูดใช้ K นั้นสูงกว่า N และยังสามารถคล้องกับ อนัสรุสและคณะ (2564) ที่พบว่า K มีบทบาทในการสร้างหัวขมิ้นชัน และดินที่ขาด K ส่งผลให้การเจริญเติบโตของรากสะสมอาหารต่ำ นอกจากนี้ ทุกระยะการเจริญเติบโต กระชายต้องการ K มากที่สุด รองลงมาคือ N ส่วน P ต้องการน้อยที่สุด (Table 2) ปริมาณธาตุอาหารในดินจึงไม่สอดคล้องกับความ

ต้องการธาตุอาหารในกระชาย เนื่องจากเกษตรกรใส่ปุ๋ยสูตรเสมอหรือปุ๋ยยูเรียอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการตกค้างของ P ในดินสูงมาก อินทรีย์วัตถุในดินต่ำ กระชายที่ช่วงอายุ 2-7 เดือนหลังปลูก ต้องการ K 61.8% รองลงมา คือ N 16.6% และ P 4.7% ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยในเชิงของ Xu et al. (1993)

กระชายมีสัดส่วนความต้องการ  $N:P_2O_5:K_2O$  ที่ระยะ 2 3 4 5 6 และ 7 เดือน 3:1:9 1:1:10 2:1:9 2:1:8 2:1:5 และ 1:1:5 ตามลำดับ โดยสัดส่วนความต้องการ K สูงกว่า N และมีแนวโน้มลดลงตามระยะการเจริญเติบโตของพืช ขณะที่การดูดใช้ N P และ K มีค่า 15-6-49 29-26-256 289-136-1,159 332-187-1,521 1,239-717-4,709 และ 774-674-3,564 มก.  $N-P_2O_5-K_2O$ /กอ ตามลำดับ (Table 2) ส่วน Ca และ Mg ในดินมีในปริมาณที่เพียงพอ ซึ่งเป็นในทำนองเดียวกันกับงานวิจัยของ Karthikeyan et al. (2009) ที่พบว่าขมิ้นชันมีการดูดใช้ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 2,000 326 และ 3,517 มก./ต้นผลผลิต

### 4. การปรับใช้และให้คำแนะนำการจัดการปุ๋ยในการผลิตกระชายที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทราย

จากรูปแบบการดูดใช้ธาตุอาหารของกระชายที่ประเมินนี้ (Table 3) สามารถนำมาใช้พิจารณาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการให้ปุ๋ย พบว่า ที่ระยะ 2-3 เดือนหลังปลูก กระชายมีการดูดใช้ธาตุอาหารในปริมาณต่ำ จากนั้นปริมาณการดูดใช้เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในระยะ 5-6 เดือนหลังปลูก กระชายมีการดูดใช้ธาตุอาหารในปริมาณสูงมาก โดยเฉพาะโพแทสเซียมและไนโตรเจน แต่หลังระยะ 6 เดือนเป็นต้นไปความต้องการธาตุอาหารมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่า กระชายต้องได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่เพียงพอต่อการนำไปสร้างผลผลิตก่อนอายุ 5 เดือน มิฉะนั้นจะส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิต เมื่อพืชดูดใช้ธาตุ

อาหารได้ในปริมาณมาก จะสะสมสารอาหารในปริมาณที่เพียงพอต่อการสร้างชีวมวล จึงจำเป็นต้องให้ปุ๋ยก่อนช่วงที่พืชต้องการธาตุอาหารในปริมาณสูง (Jones et al., 2015) ดังนั้น ควรให้ปุ๋ยกระชายที่ระยะ 2-4 เดือนหลังปลูก เนื่องจากที่ระยะ 3 เดือนหลังปลูกกระชายเริ่มมีการสร้างรากสะสมอาหาร การให้ปุ๋ยหลังระยะ 4 เดือน อาจล่าช้าไป สอดคล้องกับ Kulpapangkorn and Mai-leang, (2012)

กระชายมีความต้องการ K และ N ในปริมาณที่สูงกว่า P แต่ดินปลูกกระชายในดินร่วนเหนียวปนทราย มีอินทรีย์วัตถุและ K ที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ แต่ P ที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมาก ทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดินไม่สอดคล้องกับความต้องการของพืช หากให้ปุ๋ยไม่เพียงพอตามความต้องการต่อไปอีกเรื่อย ๆ จะส่งผลให้ระบบการผลิตไม่ยั่งยืน กระตุ้นให้ดินเกิดความเสื่อมโทรม จำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น 2.5-4.0 ตัน/ไร่ พร้อมสับกลบ เพื่อเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุและ N ที่เป็นประโยชน์ สำหรับการจัดการปุ๋ยให้เลือกใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) แทนปุ๋ยยูเรีย เนื่องจากดินมีความเป็นด่าง สำหรับ K ที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่มีปริมาณต่ำมาก สามารถรองพื้นกันหลุมด้วยมูลค่างควา 500-800 กก./ไร่ หรือใส่ปุ๋ยโพแทชตามค่าวิเคราะห์ดิน ส่วนปุ๋ยฟอสเฟตอาจใส่ในอัตราต่ำเพื่อสร้างสมดุลธาตุอาหารในดิน หากไม่ใส่ปุ๋ยเลยจะทำให้เกิดการเสียสมดุลธาตุอาหารในดินในระยะยาวได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2565ข)

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืชบ่งบอกระดับของธาตุอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของพืชในแต่ละระยะการเจริญเติบโต โดยทั่วไปปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบ การจัดการปุ๋ยที่ถูกต้องและเพียงพอ ระดับความเข้มข้นของธาตุ

อาหารในใบจะอยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งบ่งบอกว่าพืชสามารถดูดนำธาตุอาหารได้เป็นอย่างดี ซึ่งค่าความเข้มข้นที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปใช้อ้างอิงระดับของธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกระชายในดินร่วนเหนียวปนทราย จังหวัดนครปฐม เพื่อช่วยให้การจัดการปุ๋ยมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้น การปลูกกระชายในดินร่วนเหนียวปนทราย จ. นครปฐม ที่ใช้ระยะปลูก 0.15x0.15 ม. แนะนำให้ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับพืชวงศ์ขิง อัตรา 18-6-24 กก. N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/ไร่ หากค่าวิเคราะห์ทางเคมีของดินอยู่ในระดับสูงและสูงมาก ควรลดปริมาณการใช้ปุ๋ยให้น้อยกว่าอัตราที่แนะนำ 85 และ 70% ตามลำดับ แต่ถ้าค่าวิเคราะห์อยู่ในระดับต่ำและต่ำมาก ควรเพิ่มปริมาณการใช้ปุ๋ยให้มากกว่าอัตราที่แนะนำ 115 และ 130% ตามลำดับ (กองปฐพีวิทยา, 2545) ส่วนช่วงเวลาการให้ปุ๋ยที่เหมาะสม จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ควรแบ่งการใส่ปุ๋ยออกเป็น 3 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ที่ระยะ 2 เดือนหลังปลูก ใส่ปุ๋ย 1/3N+P+1/2K ครั้งที่ 2 ที่ระยะ 3 เดือนหลังปลูก ใส่ปุ๋ย 1/3N ครั้งที่ 3 ที่ระยะ 4 เดือนหลังปลูก ใส่ปุ๋ย 1/3N+1/2K อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการตอบสนองต่อการเพิ่มผลผลิตกระชายที่จำเพาะเจาะจงกับสายพันธุ์และชนิดของดินเพื่อให้ได้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกระชายต่อไป

### สรุปผลการทดลอง

การศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารในกระชายระยะต่าง ๆ พบว่า K ในกาบใบ N และ Ca ในใบ Mg ในใบ กาบใบ ราก และลำต้นมีความเข้มข้นสูงสุด แต่ P มีค่าใกล้เคียงกันในทุก ๆ ส่วนของพืช ส่วนความเข้มข้นของธาตุอาหารในแต่ละส่วนของพืช ดังนี้ ใบมี K>N>Ca>Mg>P ปริมาณของ N และ K ลดลงตามอายุ แต่ Ca Mg และ P มีค่าใกล้เคียงทุกช่วงอายุ

**Table 3** Nutrient uptake in fingerroot at different growth stages in 2-7 months after planting

Month after planting	Plant part	Dry weight (g/clump)	Nutrient uptake (mg/clumb)				
			N	P	K	Ca	Mg
2	Leaves	0.341	9.1	1.0	13.7	4.6	3.0
	Leaf sheaths	0.180	3.2	0.7	16.5	1.3	1.0
	Shoots	0.184	1.8	0.5	7.4	0.5	0.5
	Roots	0.107	1.1	0.2	3.5	0.8	0.7
	Storage roots	-	-	-	-	-	-
3	Leaves	2.409	6.4	5.5	91.0	28.7	13.2
	Leaf sheaths	1.083	15.0	4.0	86.6	6.4	5.5
	Shoots	0.298	3.6	1.0	18.8	1.1	2.1
	Roots	0.390	4.0	1.0	17.1	3.0	1.5
	Storage roots	-	-	-	-	-	-
4	Leaves	8.470	179.4	25.1	339.6	109.5	61.2
	Leaf sheaths	4.870	58.1	22.5	405.1	31.1	30.6
	Shoots	0.817	9.3	3.0	53.8	3.7	5.5
	Roots	3.834	41.8	8.8	167.1	39.1	24.0
	Storage roots	-	-	-	-	-	-
5	Leaves	10.678	202.1	27	376.1	166.6	69
	Leaf sheaths	7.047	54.2	30.3	544.5	70.3	30.1
	Rhizomes	1.726	13.3	4.6	45.1	5.2	5.0
	Roots	-	-	-	-	-	-
	Storage roots	6.991	62.7	19.8	302.1	8.1	17.8
6	Leaves	25.898	477.7	69.3	664.6	342.6	179.7
	Leaf sheaths	21.640	175.3	75.5	1243.5	185.9	98.9
	Rhizomes	17.392	191.8	45.9	225.9	39	47.4
	Roots	-	-	-	-	-	-
	Storage roots	51.635	394.4	122.3	1790.5	78.8	146.8
7	Leaves	31.949	233.8	127.3	376.1	248.2	101.0
	Leaf sheaths	32.220	93.2	29.4	979.2	143.9	65.7
	Rhizomes	31.182	52.8	10.8	43	7.2	7.5
	Roots	-	-	-	-	-	-
	Storage roots	125.656	394.1	126.8	1571.5	56.3	123.1

กาบใบมีความเข้มข้นธาตุอาหารแต่ละชนิดเหมือนกับในใบและ N ลดลงตามอายุ ส่วน K มีค่าสูงในช่วง 4 เดือนแรก จากนั้นความเข้มข้นจะลดลง ซึ่งมีค่าตรงกันข้ามกับ Ca ลำต้นมี K>N>Mg>Ca P ซึ่ง N ลดลงตามอายุ ส่วนธาตุอาหารอื่น ๆ ใกล้เคียงกัน เหง้ามี N K>Ca Mg P โดย N เพิ่มขึ้นตามอายุ ส่วนธาตุอื่น ๆ ไม่ต่างกันในทุกๆระยะ รากมี K.>N>Ca>Mg>P ซึ่ง P มีค่าสูงในช่วง 4 เดือนแรก ส่วนธาตุอื่น ๆ ไม่แตกต่างกัน รากสะสมอาหารมี K>N>Mg, P>Ca ซึ่ง

ธาตุอาหารทุกชนิดมีค่าใกล้เคียงกันในทุกช่วงอายุ กระจายที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทราย จ.นครปฐม ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมาก ต้องการปุ๋ยที่ระยะ 2 3 4 5 6 และ 7 เดือน 15-6-49 29-26-256 289-136-1,159 332-187-1,521 1,239-717-4,709 และ 774-674-3,564 มก. N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/ตัน ตามลำดับ โดยที่ Ca และ Mg ในดินมีในปริมาณที่เพียงพอ

## เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. ม.ป.ป. ลักษณะและสมบัติของชุดดินจัดตั้งของประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: [http://oss101.ldd.go.th/thaisoils\\_museum/pf\\_desc/pf\\_desc\\_all/Ks.htm](http://oss101.ldd.go.th/thaisoils_museum/pf_desc/pf_desc_all/Ks.htm). สืบค้น: 23 พ.ย. 2566.
- กรมวิชาการเกษตร. 2565ก. การประเมินการปลดปล่อยธาตุอาหารของชีวมวล. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 10 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2565ข. การประเมินสมบัติของดินในพื้นที่ปลูกกระชาย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 24 หน้า.
- กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. 2544. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 164 หน้า.
- กองปฐพีวิทยา. 2545. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยพืชสวนอย่างมีประสิทธิภาพ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 66 หน้า.
- ชัยสิทธิ์ วัฒนาวังจงสุข สุทธิเดช ขุนทอง กมรินทร์ นิ่มนวลรัตน์ และสุรเชษฐ์ นาราภัทธ. 2565. ผลของปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียมต่อระดับแคลเซียมและแมกนีเซียมในดินและใบขมิ้นชัน. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร. 39(3): 24-39.
- ปริญญา พลจันทร์. 2563. การเจริญเติบโตและผลของ salicylic acid ต่อปริมาณสารทุติยภูมิและแคลเซียมในกระชาย (*Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf.). วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.
- อนัสรุส บากา จักรกฤษณ์ พูนภักดี ขวัญตา ขาวมี และจำป๋ออ่อนทอง. 2564. ผลของการใช้ปุ๋ยเคมีและมูลวัวต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารเคอร์มิคูนอยต์ในขมิ้นชันที่ปลูกในดินร่วนเหนียวสีแดงและดินร่วนทราย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 26(3): 1611-1626.
- Anderson, J.M. and J.S.I. Ingram. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, England. 221: 62-65.
- Azizah, N., E. Nihayati, H. Khotimah, S. Rohmah, E. Widaryanto, Y. Sugito and S. Kurniawan. 2022. Impact of potassium fertilization on yield, nutrient use and response efficiency, and antioxidant content of red ginger (*Zingiber officinale* var. *rubrum* Theilade). Chilean Journal of Agricultural Research. 82(3): 380-389.
- Bremner, J.M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. The Journal of Agricultural Science. 55(1): 11-33.
- Burakova, A. and E. Bakšiene. 2021. Leaching losses of main nutrients by incorporating organic fertilizers into light texture soils Haplic Luvisol. Environmental Engineering Research. 26(4): 1-10.
- Elbasiouny, H., F. Elbehiry, H. El-Ramady and E.C. Brevik. 2020. Phosphorus availability and potential environmental risk assessment in alkaline soils. Agriculture. 2020. 10(5): 172.
- Halder, N.K., N.C. Shill, M.A. Siddiky, J. Sarkar and R. Gomez. 2007. Response of turmeric to zinc and boron fertilizer. Journal of Biological Science. 7(1): 182-187.
- Jones, C., K. Olson-Rutz and C.P. Dinkins. 2015. Nutrient Uptake Timing by Crops: to assist with fertilizing decision. Available at: <https://landresources.montana.edu/soilfertility/documents/PDF/pub/NutUpTimeEB0191.pdf>. Accessed: August 5, 2024.
- Kadam, J.H. and B.M. Kamble. 2020. Effect of organic manures on growth, yield and quality of turmeric (*Curcuma longa* L.). Journal of Applied and Natural Science 12(2): 91-97.
- Karthikeyan, P.K., M. Ravichandran, P. Imas, and M. Assaraf. 2009. The effect of potassium on the yield and quality of turmeric (*Curcuma longa*). Optimizing Crop Nutrition, No. 21. 5 p. Available at: [https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/eifc\\_no21-rf1.pdf](https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/eifc_no21-rf1.pdf). Accessed: November 20, 2023.
- Koch, M., M. Busse, M. Naumann, B. Jákli, I. Smit, I. Cakmak, C. Hermans and E. Pawelzik. 2019. Differential effects of varied potassium and magnesium nutrition on production and

- partitioning of photo assimilates in potato plants. *Physiologia Plantarum*. 166(4): 921-935.
- Kulpapangkorna, W. and S. Mai-leang. 2012. Effect of plant nutrition on turmeric production. *Procedia Engineering*. 32: 166-171.
- Kumar G.V.V., M.A. Aariff and H. Begum. 2000. Influence of mineral nutrient composition of turmeric rhizome on curcumin content of different cultivars. *Indian Journal of Tropical Agriculture*. 18(3): 265-269.
- Kumar, P.S.S., S.A. Geetha, P. Savithri, R. Jagadeeswaran and P.P. Mahendran. 2003. Diagnosis of nutrient imbalances and derivation of new RPZI (Reference Population Zero Index) values using DRIS/MDRIS and CND approaches in leaves of turmeric (*Curcuma longa*). *Journal of Applied Horticulture*. 5(1): 7-10.
- Lee, M. T., D. G. Edwards and C.J. Asher. 1981. Nitrogen nutrition of ginger (*Zingiber officinale*) II. Establishment of a leaf analysis test. *Field Crops Research*. 4: 69-81.
- Liu, J., J. Zhang, D. Li, C. Xu and X. Xiang. 2020. Differential responses of arbuscular mycorrhizal fungal communities to mineral and organic fertilization. *MicrobiologyOpen*. 2020(9): e920
- Okalebo, J. R., K.W. Gathua and P.L. Woomer. 2002. *Laboratory Methods of Soil and Plant Analysis: A Working Manual (2<sup>nd</sup>)*. Sacred Africa, Nairobi. 127 p.
- Perni, J. 2005. Nutrient status of turmeric growing soils in Guntur, A.P. India. Thesis: Master of Science in Agriculture. Acharya N.G. Ranga Agriculture University, India. 199 p.
- Sanghamithre, V.K. and M.V. Menon. 2014. Effect of S, Ca and Mg on fresh rhizome yield of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Journal of Tropical Agriculture*. 52(2): 158-161.
- Singh, D., P.K. Chhonkar and R.N. Panday. 1999. *Soil, Plant and Water Analysis: A Method Manual*. IARI, New Delhi, India. pp. 160.
- Sun, R., X. Guo, D. Wang and H. Chu. 2015. Effects of long-term application of chemical and organic fertilizers on the abundance of microbial communities involved in the nitrogen cycle. *Applied Soil Ecology*. 95: 171-178.
- Tania, C., R. Chatterjee, P. K. Chattopadhyay, A. Phonglosa, T. Basanta and J. W. Haobijam. 2021. Role of potassium and nitrogen on growth, yield and quality of turmeric (*Curcuma longa* L.) cv. "Suranjana" under Alluvial Plains of West Bengal. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 10(1): 7-12.
- White, P.J. and M.R. Broadley. 2009. Bio-fortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*. 182(1): 49-84.
- Xiao, Y. and L. Chen. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi reduce potassium, cadmium and ammonium losses but increases nitrate loss under high intensity leaching events. *BMC Plant Biology*. 22: 365.
- Xu, K., D.W. Zhao and X.M. Jiang. 1993. Studies on the nitrogen absorption rule in ginger by using isotope  $^{15}\text{N}$ . *Acta Horticulturae Sinica*. 20(2): 161-165.
- Yamawaki, K., A. Matsumura, R. Hattori, A. Tarui, M.A. Hossain, Y. Ohashi and H. Daimon. 2013. Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on growth, nutrient uptake and curcumin production of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Agricultural Sciences*. 4(2): 66-71.
- Zhang, Y., L. Li and G. Liao. 1996. Rules of absorption, distribution, translocation of nitrogen phosphorus and potassium in turmeric plant. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi*. 21(8): 462-509. (in Chinese).

ความก้าวหน้าของงานวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพในการปรับปรุงพันธุ์พืชต้านทานโรค  
ของกรมวิชาการเกษตร

Biotechnology Research Progress in Plant Breeding for Disease Resistance  
of Department of Agriculture

จิราพร แก่นทรัพย์<sup>1/\*</sup> มลลิกา นวลแก้ว<sup>2/</sup> ภาณุวัฒน์ มุลจันทะ<sup>3/</sup> สุวลักษณ์ ศันสนีย์<sup>3/</sup> รัชณี โสภา<sup>4/</sup> อ้อยทิน ผลพานิช<sup>4/</sup>  
Jeeraporn Kansup<sup>1/\*</sup> Mallika Nualkaew<sup>2/</sup> Phanuwat Moonjuntha<sup>3/</sup> Suwaluk Sansanee<sup>3/</sup>  
Ratchanee Sopha<sup>4/</sup> Auytin Polpanit<sup>4/</sup>

*Received 28 Dec. 2024/Revised 13 Mar. 2025/Accepted 13 Mar. 2025*

ABSTRACT

The infestation and outbreak of plant diseases, such as viruses, bacteria, and fungi, is one of many causes that reduces the quantity and quality of agricultural products and poses a threat to food security. Plant breeding for disease resistance is one of the essential methods to minimize crop losses and sustain high productivity. This review gives a brief overview of the biotechnology used to develop plant disease-resistant crop varieties, including marker-assisted selection, genomic selection, genetic modification, and genome editing. These modern biotechnologies offer more precise, efficient, and faster procedures in producing disease-resistant varieties. However, each technology has its own advantage and limitation. Thus, the selection of biotechnology for use in the experiment must be based on various aspects, including plant types, regulations, laboratory readiness, and knowledge. Furthermore, this review also discusses research conducted by the Department of Agriculture on improving disease-resistant plant varieties using biotechnology to facilitate selection and development of resistant varieties in economic crops of Thailand.

**Keywords:** disease resistance; marker-assisted selection; genomic selection; genetic modification; genome editing

---

<sup>1/</sup> สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

<sup>1/</sup> Biotechnology Research and Development Office, Thanya Buri, Pathum Thani 12110, Thailand

<sup>2/</sup> ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี 76120

<sup>2/</sup> Phetchaburi Agricultural Research and Development Center, Cha-am, Phetchaburi 76120, Thailand

<sup>3/</sup> ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง อ.เมือง จ.ระยอง 21150

<sup>3/</sup> Rayong Field Crops Research Center, Mueang, Rayong 21150, Thailand

<sup>4/</sup> ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

<sup>4/</sup> Chiang Mai Field Crops Research Center, San Sai, Chiang Mai 50290, Thailand

\* Corresponding author: [jkansupthdoa@gmail.com](mailto:jkansupthdoa@gmail.com)

## บทคัดย่อ

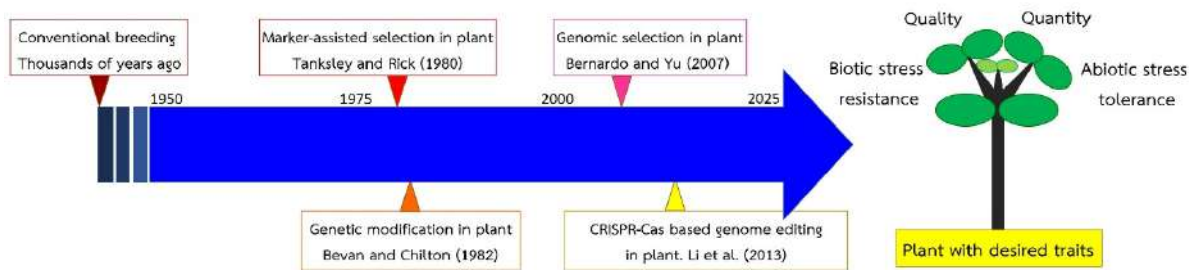
การระบาดของเชื้อราทำลายพืชจากโรคพืช เช่น ไวรัส แบคทีเรีย และรา เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตเกษตรลดลง ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงด้านอาหาร การปรับปรุงพันธุ์พืชให้มีความต้านทานโรคพืชเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาได้ ในบทความนี้มีเนื้อหาเกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชให้มีความต้านทานต่อโรคพืช ประกอบด้วย การใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือกพันธุ์ การคัดเลือกจีโนม การดัดแปลงพันธุกรรม และการปรับแต่งจีโนม การใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เหล่านี้ช่วยทำให้การปรับปรุงพันธุ์พืชมีความแม่นยำมีประสิทธิภาพสูง ทำให้ได้พันธุ์ต้านทานโรคตรงตามเป้าหมายรวดเร็วกว่าเดิม อย่างไรก็ตาม แต่ละเทคโนโลยีมีข้อดีและข้อจำกัดที่ต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้จึงต้องพิจารณา ทั้งชนิดพืช งบประมาณ ความพร้อมของห้องปฏิบัติการและองค์ความรู้ที่มีอยู่ เนื้อหาในบทความยังกล่าวถึงความก้าวหน้าในการดำเนินการของกรมวิชาการเกษตรในการปรับปรุงพันธุ์พืชต้านทานโรคโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพในพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย ซึ่งทำให้การคัดเลือกและพัฒนาพันธุ์พืชต้านทานโรคประสบความสำเร็จ

**คำสำคัญ:** ความต้านทานโรค; การใช้เครื่องหมายโมเลกุลช่วยในการคัดเลือกพันธุ์; การคัดเลือกจีโนม; การดัดแปลงพันธุกรรม; การปรับแต่งจีโนม

## บทนำ

การปรับปรุงพันธุ์พืชให้ต้านทานโรคเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้ และมี

บทบาทสำคัญในการพัฒนาพันธุ์พืชมาตั้งแต่อดีต โดยมีการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิม (conventional breeding) ซึ่งมีขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ และคัดเลือกพันธุ์ที่มีความเสถียรพร้อมใช้งาน เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง มีความปลอดภัย อีกทั้งไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์จำเพาะที่มีราคาสูง (Figlan and Mwadzingeni, 2022) แต่การปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิมมีข้อจำกัด คือ การคัดเลือกลักษณะที่ต้องการสามารถดำเนินการได้หลังจากที่มีการแสดงออกของลักษณะที่ต้องการเท่านั้น ซึ่งการรอให้พืชมีการแสดงออกต้องใช้เวลา (Rajendra and Charitha, 2024) อีกทั้งลักษณะบางอย่างต้องทำการคัดเลือกในสภาพแวดล้อมที่มีความจำเพาะเท่านั้นพืชจึงมีการแสดงออกได้ เช่น ความต้านทานโรค ความทนทานต่อสภาพเครียด ซึ่งการจัดเตรียมให้เกิดสภาพแวดล้อมที่มีความจำเพาะอาจทำได้ยาก นอกจากนี้ ต้องมีการปลูกและตรวจสอบประชากรพืชจำนวนมากในหลายรุ่นเพื่อคัดเลือกลักษณะที่มีการแสดงออกหรือฟีโนไทป์ (phenotype) ที่ต้องการ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานและใช้แรงงานมาก จึงได้มีการพัฒนาโดยนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาช่วยให้เพื่อให้การปรับปรุงพันธุ์สามารถดำเนินการได้เร็วขึ้น (Figure 1) การนำเทคโนโลยีชีวภาพซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับสิ่งมีชีวิตหรือชิ้นส่วนของสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ เพื่อพัฒนาหรือปรับปรุงให้มีลักษณะที่ดีขึ้น มาช่วยในการปรับปรุงพันธุ์พืชนั้น ต้องคำนึงถึงข้อดี ข้อเสียของแต่ละเทคโนโลยี ข้อจำกัดของการใช้งาน ความพร้อมของหน่วยปฏิบัติ ความคุ้มค่า รวมถึงความปลอดภัยทางชีวภาพต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม



**Figure 1** Plant breeding has a long history, beginning thousands of years ago with conventional breeding, with advancements in genetic research, DNA-based technologies were subsequently developed, leading to more precise breeding methods including marker-assisted selection, genetic modification, genomic and CRISPR/Cas9 based genome editing

## เทคโนโลยีชีวภาพที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชต้านทานโรค

เทคโนโลยีชีวภาพที่นิยมใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อคัดเลือกพันธุ์ต้านทานโรคพืชในระยะเวลาที่รวดเร็วถ้าลักษณะที่ต้องการคัดเลือกมีปรากฏอยู่ในกลุ่มพ่อและแม่พันธุ์ วิธีการที่ใช้อาจเน้นไปที่การใช้เทคโนโลยีที่สามารถคัดเลือกพืชเป้าหมายที่มีลักษณะที่ต้องการจากประชากรลูกผสม แต่ถ้าไม่มีลักษณะที่ต้องการคัดเลือกในพันธุ์กรรมของพืชนั้น ๆ วิธีการที่ใช้จำเป็นต้องทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนหรือตัดแปลงจึงได้ประมวลความรู้ด้านเทคโนโลยีชีวภาพที่นำมาในงานปรับปรุงพืชเพื่อให้ได้พันธุ์ต้านทานโรค รวมถึงข้อจำกัด และข้อเสนอแนะในการนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามวัตถุประสงค์ของแต่ละวิธีการดังต่อไปนี้

### การใช้เครื่องหมายโมเลกุล

เครื่องหมายโมเลกุล (molecular marker) เป็นลำดับนิวคลีโอไทด์สายสั้น ๆ ที่สังเคราะห์มาจากลำดับนิวคลีโอไทด์บางตำแหน่งในดีเอ็นเอจีโนมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจเป็นตำแหน่งที่ไม่จำเพาะแต่มีกระจายอยู่ทั่วจีโนม หรือเป็นตำแหน่งที่มีความจำเพาะต่อลักษณะเป้าหมายหรือยีนเป้าหมาย ดังนั้น เครื่องหมาย

โมเลกุลจึงใช้บ่งชี้ความเป็นเอกลักษณ์ของสิ่งมีชีวิต โดยความหลากหลายของลำดับนิวคลีโอไทด์ในสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกัน สามารถใช้จำแนกความแตกต่างระหว่างสิ่งมีชีวิตได้ หรือใช้ในการคัดเลือกพันธุ์หรือลูกผสมที่มีลักษณะตามต้องการ หรือติดตามการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมหรือยีนที่เชื่อมโยงกัน เครื่องหมายโมเลกุลสามารถใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ (marker-assisted selection, MAS) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการปรับปรุงพันธุ์พืชจากการคัดเลือกเฉพาะต้นที่มีแถบดีเอ็นเอที่มีลักษณะที่ต้องการไว้ ทำให้ลดพื้นที่ปลูก แรงงาน และค่าใช้จ่าย รวมถึงระยะเวลาการปรับปรุงพันธุ์ได้ (Jonah et al., 2011)

MAS มีความน่าเชื่อถือสูง เนื่องจากสามารถคัดเลือกพืชที่มีสารพันธุกรรมหรือจีโนไทป์โดยตรง จึงไม่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยแวดล้อม สามารถคัดเลือกพืชได้ตั้งแต่พืชอายุน้อย สามารถคัดเลือกลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนด้อยได้ ซึ่งการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิมทำได้ยาก (Rajendra and Charitha, 2024) ใช้ตรวจสอบยีนในการรวมลักษณะทางการเกษตรหลายลักษณะในพันธุ์เดียวหรือพีระมิดยีน (gene pyramiding) ได้ (Figlan and Mwadzingeni, 2022) อีกทั้งสามารถใช้ตรวจคัดเลือกหลายลักษณะพร้อมกันโดยใช้ตัวอย่างดีเอ็นเอเดียว

ตัวอย่างความสำเร็จของการใช้ MAS ช่วยคัดเลือกพืชในการปรับปรุงพันธุ์พืชด้านทานโรค เช่น การพัฒนาพันธุ์ถั่วเหลืองต้านทานโรคราสนิมโดยการใส่พีระมิติน *Resistance against Phakopsora pachyrhizi (Rpp)2, Rpp4 และ Rpp5* (Lemos et al., 2011) การพัฒนาพันธุ์ข้าวให้มีลักษณะต้านทานโรคใบไหม้จากแบคทีเรีย (bacterial leaf blight) และต้านทานโรคไหม้ (blast) (Subburaj et al., 2024) เป็นต้น การใช้ MAS มีความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีการค้นพบเครื่องหมายชนิดสนิปที่เป็นการเปลี่ยนแปลงของนิวคลีโอไทด์หนึ่งเบส (single nucleotide polymorphism, SNP) และกระจายตัวทั่วจีโนมของสิ่งมีชีวิตด้วยเทคนิคการตรวจหาลำดับนิวคลีโอไทด์ยุคใหม่ (next generation sequencing, NGS) ซึ่งมีความสามารถในการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ทั้งจีโนมของสิ่งมีชีวิตได้อย่างรวดเร็วภายในครั้งเดียวและมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถสร้างแผนที่จีโนมที่มีข้อมูลของเครื่องหมายโมเลกุลหนาแน่นและช่วยให้คัดเลือกลักษณะที่ต้องการได้แม่นยำยิ่งขึ้น

ด้านข้อจำกัดของ MAS คือการมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการค่อนข้างสูง ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความชำนาญเฉพาะด้าน และเครื่องมือวิทยาศาสตร์จำเพาะที่มีราคาสูง ส่วนในด้านเทคนิคพบว่า MAS ยังมีข้อด้อยบางประการที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ อาทิ เช่น การเกิดผลบวกจากกระบวนการรวมตัวกันใหม่ทางพันธุกรรม (recombination) หลังจากการเข้าคู่กันของโครโมโซมที่ส่งผลต่อระยะห่างระหว่างเครื่องหมายโมเลกุลกับยีนที่สนใจ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการรายงานผลโดยเฉพาะอย่างยิ่งหากใช้วิธีการตรวจรูปแบบการเรียงตัวของตำแหน่งซันดิเอ็นเอ (DNA pattern) รูปแบบที่ได้ อาจแตกต่างจากที่ควรจะเป็น ทำให้เกิดเป็นผลบวกหรือลบลง

MAS แม้จะมีศักยภาพในการปรับปรุงลักษณะเชิงคุณภาพ (qualitative traits) ที่ควบคุมโดยยีนหลักจำนวนน้อยยีน เช่น ความต้านทานโรคใบด่างมันสำปะหลัง (cassava mosaic disease, CMD) ที่มียีนเกี่ยวข้อง 3 ยีน ได้แก่ *cassava mosaic disease (CMD)1* (Fregene et al., 2001) *CMD2* (Akano et al., 2002) และ *CMD3* (Okogbenin et al., 2012) แต่ประสบความสำเร็จน้อยในการคัดเลือกลักษณะเชิงปริมาณที่ซับซ้อนซึ่งควบคุมโดยยีนรองหลายยีน (Zhao et al., 2014) เช่น ความทนทานต่อสภาพเครียดต่าง ๆ ซึ่งการคัดเลือกอาจต้องพิจารณาใช้เทคนิคอื่นที่เหมาะสมกว่า

ข้อจำกัดของ MAS อีกประการหนึ่ง คือ บางเครื่องหมายโมเลกุลที่พัฒนามาจากการวิเคราะห์ลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative trait locus, QTL) ซึ่งเป็นลักษณะที่มีความแปรผันแบบต่อเนื่อง (continuous variation) และควบคุมโดยยีนจำนวนมาก การหาความสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์กับฟีโนไทป์เพื่อระบุตำแหน่งบนโครโมโซมหรือยีนที่ควบคุมลักษณะเชิงปริมาณในประชากรจากคู่ผสมพ่อแม่หนึ่ง อาจไม่สามารถใช้คัดเลือกลักษณะนั้นในประชากรคู่ผสมพ่อแม่อื่นได้ เนื่องจากมีความจำเพาะกับพื้นฐานทางพันธุกรรมของประชากรที่ทำการทดสอบ ดังนั้นจึงต้องปรับเปลี่ยนวิธีการพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลจากการวิเคราะห์ QTL มาเป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนในระดับดีเอ็นเอ (DNA variants) กับลักษณะทางพันธุกรรม (traits) แทน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ marker-trait association เพื่อการหาความสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์กับฟีโนไทป์เพื่อระบุตำแหน่งที่ควบคุมลักษณะทางการเกษตรที่สนใจในประชากรที่มีพันธุกรรมหลากหลาย โดยสมาชิกในประชากรไม่มีความสัมพันธ์

ทางพันธุกรรมกัน จะช่วยทำให้เครื่องหมายโมเลกุลที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ได้กับประชากรที่หลากหลายกว่า

### การคัดเลือกจีโนม

จีโนม หรือข้อมูลทางพันธุกรรมทั้งหมดของสิ่งมีชีวิต Meuwissen et al. (2001) ได้พัฒนาการคัดเลือกจีโนม (genomic selection, GS) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการคัดเลือกลักษณะเชิงปริมาณที่ควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่ง โดยที่แต่ละยีนมีอิทธิพลน้อยต่อลักษณะปรากฏหรือฟีโนไทป์ GS นำมาใช้ปรับปรุงพันธุ์พืชครั้งแรกในข้าวโพด (Bernardo and Yu, 2007) โดยการเก็บข้อมูลจีโนไทป์ของเครื่องหมายโมเลกุลที่กระจายทั่วจีโนมและนำมาประมวลเข้ากับข้อมูลฟีโนไทป์ของลักษณะทางการเกษตรที่สนใจในประชากรอ้างอิงหรือประชากรที่ใช้ในการฝึก (training population) เพื่อสร้างแบบจำลองการทำนาย (prediction model) สำหรับนำไปใช้เพื่อหาค่าความสามารถทางพันธุกรรมจีโนมหรือค่าการผสมพันธุ์จีโนม (genomic estimated breeding value, GEBV) ในประชากรที่ผสมพันธุ์ทั้งหมด (breeding population) หรือประชากรที่ต้องการศึกษาและพยากรณ์ว่าจะมีฟีโนไทป์เป็นอย่างไร โดยประมวลผลจากข้อมูลจีโนไทป์ทั้งหมดของแต่ละต้น ซึ่ง GEBV เป็นตัวเลขหรือคะแนนที่สร้างขึ้นทางสถิติที่ใช้ประเมินศักยภาพทางพันธุกรรม ช่วยให้นักปรับปรุงพันธุ์สามารถพยากรณ์ต้นที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีและมีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์หรือสำหรับใช้ในการพัฒนาพันธุ์ต่อไป แตกต่างจาก MAS ที่มีการใช้เครื่องหมายโมเลกุลเพียงไม่กี่ตำแหน่งที่สัมพันธ์กับยีนที่ควบคุมลักษณะในการคัดเลือก

ตัวอย่างการใช้ GS ในการพัฒนาพันธุ์พืชที่มีความต้านทานโรค เช่น โรคราสนิมในข้าวสาลี โรคใบไหม้จากเชื้อรา (*Fusarium head blight*) ในข้าวสาลี

และข้าวบาร์เลย์ และโรคใบไหม้ในข้าวโพดจากเชื้อ *Setosphaeria turcica* เป็นต้น (Poland and Rutkoski, 2016) ปัจจุบัน GS มีการบูรณาการเข้ากับการใช้เทคโนโลยีการสร้างจีโนไทป์ปริมาณงานสูง (high-throughput genotyping technology) เช่น การตรวจหาลำดับนิวคลีโอไทด์ยุคใหม่ (NGS) เพื่อศึกษาข้อมูลจีโนไทป์จำนวนมากในระยะเวลาที่สั้นลง รวมถึงมีการพัฒนาแบบจำลองทางสถิติเพื่อให้การคัดเลือกจีโนมมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

จุดเด่นของ GS คือ ความสามารถในการทำนายลักษณะเชิงปริมาณที่ซับซ้อนได้อย่างแม่นยำ แม้จะเป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนรองหลายยีน (Zhao et al., 2014) สามารถดำเนินการได้ตั้งแต่พืชอายุน้อย ลดความจำเป็นในการตรวจคัดกรองฟีโนไทป์ ทำให้ลดเวลา แรงงาน และทรัพยากรของการปรับปรุงพันธุ์ลง ซึ่งส่งผลให้มีความก้าวหน้าทางพันธุกรรม (genetic gain) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Das et al., 2020) อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดในการใช้ GS คือ ขนาดประชากรและความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากรที่ใช้ในการฝึกต้องมีจำนวนมากพอ รวมถึงต้องมีความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างประชากรที่ใช้ในการฝึกกับประชากรที่ผสมพันธุ์ทั้งหมด อีกทั้ง GS จำเป็นต้องมีเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่จำเพาะสำหรับใช้ศึกษา วิเคราะห์จีโนไทป์และฟีโนไทป์ ที่มีราคาสูง ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้ GS ควรคำนึงถึงความคุ้มค่าด้วย

### การดัดแปลงพันธุกรรม

เทคโนโลยีการดัดแปลงพันธุกรรม (genetic modification, GM) ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1973 โดยนักชีวเคมี Herbert Boyer และ Stanley Cohen โดยการแทรกดีเอ็นเอจากแบคทีเรียชนิดหนึ่งเข้าไปในแบคทีเรียอีกชนิดหนึ่ง (Raman, 2017) เพื่อใช้ดัดแปลงหรือเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรมของ

สิ่งมีชีวิตให้มีลักษณะตามต้องการ ด้วยการนำยีนหรือ ดีเอ็นเอที่ต้องการเข้าสู่สิ่งมีชีวิตเป้าหมาย ซึ่งยีนนั้น จะถูกเชื่อมเข้ากับพลาสมิดตัวพา (plasmid vector) ที่มีชุดยีนควบคุมการแสดงออกในเซลล์เป้าหมาย รวมถึงยีนเครื่องหมาย (marker gene) ที่ใช้ในการ คัดเลือกพลาสมิดลูกผสม (recombinant plasmid) ที่ได้รับการเพิ่มปริมาณ จากนั้นสกัดพลาสมิดลูกผสม จากแบคทีเรียแล้วจึงทำการถ่ายทอดเพื่อนำยีนนั้น เข้าสู่เซลล์เจ้าบ้าน (host cell) เพื่อให้เซลล์เจ้าบ้าน สามารถสร้างโปรตีนที่ต้องการหรือเซลล์เจ้าบ้าน มีการดัดแปลงทางพันธุกรรม สำหรับในพืชมีรายงาน การสร้างพืชดัดแปลงพันธุกรรมครั้งแรกในยาสูบ (Bevan and Chilton, 1982)

คณะกรรมการเทคนิคด้านความปลอดภัย ทางชีวภาพ (2554) ได้ให้ความหมายของ สิ่งมีชีวิต ดัดแปลงพันธุกรรม (genetically modified organisms, GMOs) คือ สิ่งมีชีวิตใดก็ตามที่มีการตัดต่อ ตัดแต่ง ดัดแปลง หรือเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรม หรือ ผสมผสานสารพันธุกรรมใหม่ เพื่อให้มีลักษณะตาม ที่ต้องการ ซึ่งไม่สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ หรือเกิดขึ้นได้แต่ใช้เวลานานและไม่จำเพาะเจาะจง ทำนองเดียวกับพืชดัดแปลงพันธุกรรมจะใช้เทคนิค การถ่ายยีนให้แทรกเข้าไปในโครโมโซมของเซลล์ใหม่ (ชาลินีและจินตนา, 2554) ทำให้มีดีเอ็นเอแปลกปลอม (foreign DNA) เข้าไปในจีโนม GM ช่วยให้สามารถ แลกเปลี่ยนสารพันธุกรรมข้ามสายพันธุ์ได้ เพื่อ ปรับปรุงลักษณะทางการเกษตรที่ต้องการ อาทิเช่น มะละกอต้านทานโรคใบด่างจุดวงแหวนที่ได้รับการ ถ่ายยีนโปรตีนห่อหุ้มอนุภาค (coat protein, cp) ของเชื้อไวรัสใบด่างจุดวงแหวน (papaya ring spot virus, PRSV) ทำให้มะละกอสร้างภูมิคุ้มกันต่อโรค (Fitch et al., 1992) และมันฝรั่งต้านทานโรคใบไหม้ (late blight) ซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Phytophthora*

*infestans* โดยการถ่ายยีนต้านทาน (R gene) 3 ยีน ประกอบด้วยยีน *RB* และยีน *Rpi blb2* จาก *Solanum bulbocastanum* และยีน *Rpi-vnt1.1* จาก *Solanum venturi* (Bubolz et al., 2022) นอกจากนี้ มีวิธีการ ดัดแปลงพันธุกรรมโดยใช้เทคนิค RNA interference (RNAi) ที่ยับยั้งการแสดงออกของยีนเป้าหมายด้วย โมเลกุลขนาดเล็กของ RNA ทำให้ยีนมีการแสดงออก ลดลง (Younis et al., 2014) นวัตกรรมที่ต่อยอดจาก การดัดแปลงพันธุกรรมอันหนึ่ง คือ เทคนิคชีววิทยา สังเคราะห์ (synthetic biology, SynBio) ซึ่งเป็นการ ผสมผสานการดัดแปลงพันธุกรรม การปรับแต่งจีโนม หรือเทคนิคอื่นๆ เพื่อสร้างระบบทางชีวภาพ (biological systems) และองค์ประกอบทางชีวภาพ (biological components) ใหม่ๆ เพื่อให้เซลล์เกิดการ ทำงานในรูปแบบใหม่ หรือพัฒนาไปในทางที่ดีขึ้น เช่น การ พัฒนาสิ่งมีชีวิตที่มีวิถีเมแทบอลิซึมใหม่เพื่อการผลิต เชื้อเพลิงชีวภาพ การออกแบบเซลล์เพื่อการบำบัดรักษา เป็นต้น (Garner, 2021)

จุดเด่นของ GM ได้แก่ สามารถปรับปรุง คุณภาพและปริมาณของพืชได้โดยการถ่ายยีนจากพืช หรือสิ่งมีชีวิตอื่นที่มีลักษณะเฉพาะไปยังพืชเป้าหมาย ทำให้ได้พันธุ์พืชที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ต้องการ ภายในจำนวนรุ่นที่น้อยกว่าการปรับปรุงพันธุ์แบบเดิม ซึ่งลดการใช้แรงงานและทรัพยากรลง อย่างไรก็ตาม GM มีข้อจำกัดที่สำคัญคือ การที่พืช GM มีดีเอ็นเอ แลกปลอม เช่น ยีนต้านทานยาปฏิชีวนะ ซึ่งเป็นยีน ที่ใช้เป็นเครื่องหมายในการคัดเลือกพลาสมิดลูกผสม หลงเหลือในจีโนมพืช ทำให้พืช GM ไม่ได้รับการยอมรับ จากผู้บริโภคและผู้กำหนดนโยบาย (Figlan and Mwadzingeni, 2022) ดังเช่น กรณีของมะละกอ GM ต้านทานโรคใบด่างจุดวงแหวนของประเทศไทย (Davidson, 2008)

ประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายเฉพาะเพื่อควบคุมความปลอดภัยทางชีวภาพสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม การกำกับดูแลจึงอาศัยกฎหมายที่มีอยู่และใช้ระเบียบอื่น ๆ โดยอาศัยอำนาจพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ดังนั้น พืชดัดแปลงพันธุกรรมจึงจัดเป็นสิ่งต้องห้าม โดยห้ามนำเข้าประเทศ ยกเว้นการนำเข้าเพื่อเป็นอาหารสำเร็จรูป เป็นวัตถุดิบในภาคอุตสาหกรรม เช่น ข้าวโพดและถั่วเหลืองดัดแปลงพันธุกรรม หรือ เป็นการนำเข้ามาเพื่อการทดลองหรือวิจัย โดยการนำเข้าต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขที่กำหนด และการปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรมในงานวิจัยสามารถดำเนินการได้ในห้องปฏิบัติการและโรงเรือนที่ได้มาตรฐานตามแนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพเท่านั้น ไม่สามารถปลูกภาคสนามได้ จนกว่าจะมีกฎหมายว่าด้วยความปลอดภัยทางชีวภาพ แม้มติ ครม. เมื่อวันที่ 25 ธันวาคม 2550 ผ่อนผันให้มีการขยายการทดลองวิจัยพืช GM ให้ไปสู่ระดับแปลงทดลองของราชการได้ โดยให้มีการระบุพื้นที่ และชนิดของพืช และมีมาตรการควบคุมอย่างเข้มงวด รวมทั้งจัดให้มีกระบวนการรับฟังความเห็นของประชาชน และผู้มีส่วนได้เสีย (บรรพต, 2554) เห็นได้ว่า การดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับพืช GM มีความเข้มงวดอย่างมากเนื่องจากข้อกังวลด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมได้รับการพัฒนาขึ้นทำให้สามารถลดข้อกังวลเกี่ยวกับการมีถิ่นแปลงกลมหลือในจีโนมพืชได้ จึงทำให้นักวิจัยหันมาใช้เทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมมากขึ้น

### การปรับแต่งจีโนม

การปรับแต่งจีโนม (genome editing, GEd) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนและแก้ไขรหัสพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตที่มีความจำเพาะและแม่นยำ

หรือให้ได้ยีนที่มีลักษณะตามต้องการ เช่น แก้ไขยีนบกพร่องที่อาจก่อให้เกิดโรคร้ายแรงที่สามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมต่าง ๆ (คณะกรรมการเทคนิคด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ, 2559) ได้รับการพัฒนาขึ้นในช่วงปลายทศวรรษปี 1900 (Carroll, 2017) GEd แบ่งตามกลไกเอนไซม์ในกลุ่มนิวคลีเอส (site-directed nuclease technology: SDN) (Poddevin et al., 2013) ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น 3 แบบ ได้แก่ SDN1 (deletion: การขาดหายไป) SDN2 (substitution: การแทนที่) และ SDN3 (insertion: การแทรกเข้าไป) เทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชมีหลายวิธี เช่น วิธี clustered regularly interspaced short palindromic repeats (CRISPR)-CRISPR-associated protein 9 (Cas9) หรือ CRISPR-Cas9 (Mojica et al., 2009) เป็นระบบที่มีอาร์เอ็นเอนำพา (guide RNA, gRNA) เป็นตัวนำเข้าไปจับกับลำดับเบสของดีเอ็นเอเป้าหมายและใช้โปรตีน Cas9 ในการตัดเส้นดีเอ็นเอสายคู่ ณ ตำแหน่งดีเอ็นเอเป้าหมาย เพื่อให้เกิดการปรับแต่งยีน วิธี transcription activator-like effector nucleases (TALENs) เป็นระบบที่มีโปรตีนที่เรียกว่า TALE เข้าไปจับกับลำดับเบสของดีเอ็นเอเป้าหมายและใช้โปรตีน FokI ในการตัดเส้นดีเอ็นเอทำให้เกิดการปรับแต่งยีน สำหรับวิธี zinc-finger nucleases (ZFNs) เป็นระบบที่มีโปรตีนที่เรียกว่า zinc-finger เข้าไปจับกับลำดับเบสของดีเอ็นเอเป้าหมายและใช้โปรตีน FokI ในการตัดเส้นดีเอ็นเอทำให้เกิดการปรับแต่งยีน เป็นต้น ในบรรดาวิธีเหล่านี้ CRISPR-Cas9 ได้รับความนิยมในการปรับแต่งจีโนมพืชมากที่สุด

การใช้ GEd ในการพัฒนาพันธุ์พืชให้ต้านทานโรค ส่วนใหญ่เป็นการปรับแต่งยีน susceptible factor หรือยีน S ของพืชเจ้าบ้านที่อำนวยความสะดวกในการติดเชื้อสาเหตุโรค โดยการยับยั้งยีน S

จะช่วยสร้างความต้านทานโรคในพืชได้ ซึ่งมีตัวอย่างความสำเร็จ เช่น การปรับแต่งยีน *novel cap-binding protein (nCBP)-1* และยีน *nCBP-2* เพื่อให้เกิดความต้านทานต่อโรคหัวเน่าสีน้ำตาลในมันสำปะหลัง (Gomez et al., 2019) การปรับแต่งยีน *Triticum aestivum MILDEW-RESISTANCE LOCUS (TaMLO)* เพื่อความต้านทานโรคราแป้งในข้าวสาลี (Wang et al., 2014) การปรับแต่งยีน *Powdery Mildew Resistance 4 (PMR4)* เพื่อความต้านทานโรคราแป้งในมะเขือเทศ (Santillán et al., 2020) และการปรับแต่งยีน *Oryza sativa ethylene responsive factor (OsERF) 922* เพื่อความต้านทานโรคไหม้ในข้าว (Wang et al., 2016) เป็นต้น เทคนิค GEd มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น เบส เอดิทิง (base-editing) และไพรม์ เอดิทิง (prime editing) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมขั้นสูงที่พัฒนามาจาก CRISPR-Cas9 โดยมีความแม่นยำสูงกว่า สามารถแก้ไขยีนในระดับเบสเฉพาะจุดโดยไม่จำเป็นต้องสร้างรอยตัดที่สายดีเอ็นเอสองเส้น (Kaya, 2024)

ข้อดีของ GEd คือ สามารถแก้ไขลำดับเบสของยีนเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ รวดเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ GM ทั้งสามารถปรับปรุงคุณภาพและปริมาณของพืชได้โดยไม่มีการใส่ยีนแปลกปลอมจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ทำให้มีการยอมรับอย่างต่อเนื่อง แม้ GEd จะมีความแม่นยำสูง แต่ยังมีความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น อาจเกิดการปรับแต่งยีนนอกเป้าหมาย (off-targeting) ทำให้เกิดการแก้ไขยีนขึ้นในตำแหน่งที่ไม่ต้องการได้ ที่อาจนำไปสู่การกลายพันธุ์ที่ไม่พึงประสงค์ และส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์และสิ่งมีชีวิตได้ (Permyakova and Deineko, 2024) นอกจากนี้ ขั้นตอนดำเนินการของ GEd ยังไม่เสถียร จึงต้องได้รับการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งระบบการถ่ายฝากองค์ประกอบเพื่อการ

ปรับแต่งจีโนม (transformation) ได้แก่ การถ่ายฝาก gRNA และโปรตีน Cas9 เข้าสู่พืช และระบบการพัฒนาเป็นต้นใหม่ (regeneration) ยังคงเป็นปัญหาคอขวด ดังนั้น การศึกษาวิจัยระบบการถ่ายฝากองค์ประกอบ และการพัฒนาเป็นต้นใหม่ของพืชแต่ละชนิด ให้รองรับต่อการใช้เทคโนโลยี GEd จึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างขาดไม่ได้ อีกทั้งการบูรณาการความร่วมมือระหว่างนักวิจัยด้านพันธุวิศวกรรม ด้านเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ และด้านการประเมินลักษณะ จะช่วยส่งเสริมให้การพัฒนาพันธุ์พืชโดยใช้ GEd ประสบความสำเร็จมากยิ่งขึ้นในอนาคต

ในด้านกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการใช้ GEd ในการพัฒนาพันธุ์พืชนั้น กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ออกประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง การรับรองสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาจากเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนม เพื่อใช้ประโยชน์ในภาคการเกษตร พ.ศ. 2567 ประกาศลงราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2567 และกรมวิชาการเกษตรซึ่งรับผิดชอบกรณีพืชและจุลินทรีย์ ได้ออกประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการรับรองพืชที่พัฒนาจากเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนม พ.ศ. 2567 ประกาศลงราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2567 ซึ่งประกาศทั้งสองมีวัตถุประสงค์เพื่อยกระดับศักยภาพและความเข้มแข็งภาคการเกษตรของประเทศและส่งเสริมการวิจัยพัฒนาสิ่งมีชีวิตที่ได้จากเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมสู่การใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ

### งานวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพในการปรับปรุงพันธุ์พืชต้านทานโรคของกรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตรมีการวิจัยและพัฒนาที่นำเทคโนโลยีเครื่องหมายโมเลกุลมาช่วยในการคัดเลือก (MAS) และปรับปรุงพันธุ์พืชให้ต้านทานโรคในพืชหลายชนิด ดังนี้

**โรคยอดเน่าสับประรด** (heart rot disease) เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora* spp. (Figure 2A) ทำให้ใบอ่อนหยุดการเจริญเติบโตและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เกิดรอยโรคที่ฉ่ำน้ำและรอยเน่าที่โคนต้นทำให้ใบหลุดร่วง หากรุนแรงต้นสับประรดตายได้ (Ratti et al., 2018) ปัจจุบันเกษตรกรนิยมปลูกสับประรดพันธุ์ MD2 เพื่อจำหน่ายในรูปผลสด สับประรดพันธุ์นี้มีรสชาติดี ทนทานต่ออาการไส้สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากการเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำระหว่างการขนส่ง (Figure 2B) แต่มีความอ่อนแอต่อโรคยอดเน่า ดังนั้น กรมวิชาการเกษตรจึงได้พัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลสนิปที่สัมพันธ์กับลักษณะความต้านทานโรคยอดเน่าสำหรับใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ โดยทำการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของจีโนมสับประรดกลุ่มพันธุ์อ่อนแอต่อโรคเน่า ซึ่งได้แก่ พันธุ์ MD2 และ MG3 กลุ่มพันธุ์ต้านทาน ได้แก่ พันธุ์อินทราชิตขาว และอินทราชิตแดง ด้วยวิธีการวิเคราะห์จีโนมไทป์จากการตรวจลำดับนิวคลีโอไทด์ (genotyping by sequencing, GBS) แล้ววิเคราะห์ค้นหาตำแหน่งที่ให้ความแตกต่างของลำดับนิวคลีโอไทด์ระหว่างสับประรดทั้งสองกลุ่ม โดยเลือกเฉพาะตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลง (mutation) ของนิวคลีโอไทด์หนึ่งเบส หรือ สนิป (SNP) ที่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มพันธุ์และเป็นโฮโมไซกัส คัดกรองตำแหน่งสนิปซึ่งผลจากงานวิจัยพบตำแหน่งสนิปทั้งหมด 12,579 ตำแหน่ง และจากการคัดเลือกตำแหน่งสนิปที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกรดอะมิโน (nonsynonymous coding) พบเครื่องหมายสนิปชนิดนี้ในยีนต้านทานโรค จำนวน 2 ยีน ได้แก่ ยีน *E3 ubiquitin-protein ligase MED25 binding RING-H2 protein 1 (MBR1)* ที่ตำแหน่งสนิป S6\_3252739 และยีน *Pathogenesis-related protein-4-like (PR-4)* ที่ตำแหน่งสนิป S15\_644992 จึงได้ทำการพัฒนาไพรเมอร์และหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบเครื่องหมายสนิป

ที่พบด้วยเทคนิค tetra-primer ARMS-PCR ได้สำเร็จ (จิราพรและคณะ, 2566) เมื่อนำไปทดสอบในประชากรสับประรดลูกผสมที่แสดงฟีโนไทป์ต้านทานโรคในแปลงปลูกในสภาพธรรมชาติ 22 ต้น พบว่า เครื่องหมายสนิป S6\_3252739 และ S15\_644992 มีความถูกต้อง 100 และ 81.8% ตามลำดับ (มัลลิกาและคณะ, 2568) เทคโนโลยี MAS ด้วยเทคนิค tetra-primer ARMS-PCR สามารถดำเนินการในห้องปฏิบัติการชีวโมเลกุลที่มีเครื่องมือพื้นฐานได้ เช่น เครื่องพีซีอาร์ เครื่องแยกแถบดีเอ็นเอ อย่างไรก็ตาม เครื่องหมายโมเลกุลดังกล่าวยังต้องมีการทดสอบกับประชากรลูกผสมจำนวนมากขึ้น เพื่อตรวจวิเคราะห์ความแม่นยำของวิธีการในการระบุความต้านทานโรคยอดเน่าในสับประรด ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยทำให้สามารถดำเนินการคัดเลือกสับประรดที่ต้านทานโรคยอดเน่าได้ตั้งแต่พืชอายุน้อย

**โรคใบด่างมันสำปะหลัง** (CMD) เกิดจากเชื้อไวรัส *Sri Lankan cassava mosaic virus (SLCMV)* (IPPC-report, 2019) มีแมลงหริ่งขาวยาสูบเป็นพาหะนำโรค โรคนี้ทำให้พืชแสดงลักษณะใบด่างจนถึงเหลือง ใบเสียรูป ต้นเตี้ย แคระแกร็น และทำให้ผลผลิตลดลงหรือไม่ได้ผลผลิต ยังไม่พบพันธุ์ต้านทานโรคที่เกษตรกรปลูกเพื่อการค้า ดังนั้น กรมวิชาการเกษตรจึงได้ดำเนินการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังลูกผสมให้มีลักษณะต้านทานโรคใบด่างมันสำปะหลังจากพันธุ์ต้านทานที่ได้รับจากมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย 7 พันธุ์ ได้แก่ TME3 C33 IITA-TMS-IBA920057 IITA-TMS-IBA972205 IITA-TMS-IBA980505 IITA-TMS-IBA980581 และ TME B419 โดยนำพันธุ์เหล่านี้มาใช้ในการสร้างลูกผสม และใช้เครื่องหมายโมเลกุลที่สัมพันธ์กับลักษณะความต้านทานโรคใบด่างมันสำปะหลัง 11 เครื่องหมายสำหรับการคัดเลือกลูกผสมที่ต้านทาน

(จีราพรและคณะ, 2563; Kansup et al., 2024) ผลการทดลอง พบว่า สามารถตรวจพบลูกผสมชุดปี 2565-2567 ที่มีเครื่องหมายต้านทานโรคใบต่างครบทั้ง 11 เครื่องหมาย จำนวน 18 สายพันธุ์ เช่น CMR65-96-03 (เกิดจาก C33 x KU50), CMR65-97-02 (C33 x MMAL63), CMR65-99-02 (C33 x Rayong11), CMR66-97-1 และ CMR66-97-22 (MNGA1 x IITA-TMS-IBA 920057 หรือ อิทธิ3) เป็นต้น ซึ่งการทดลองนี้ชี้ว่า MAS ช่วยลดจำนวนต้นของลูกผสมที่ทำการตรวจสอบลักษณะความต้านทานโรคด้วยการปลูกเชื้อสาเหตุโรค ทำให้นักปรับปรุงพันธุ์สามารถคัดเลือกเฉพาะลูกผสมต้นที่มีแถบดีเอ็นเอของยีนต้านทานโรคเพื่อนำไปตรวจสอบอาการร่วมกับเชื้อสาเหตุ และประเมินลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ ทำให้ลดการใช้ทรัพยากรและร่นระยะเวลาการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังต้านทานโรคใบต่างมันสำปะหลังได้

**โรครากปมในมันสำปะหลัง** (cassava root knot disease) มีสาเหตุจากไส้เดือนฝอย *Meloidogyne incognita* จากรายงานของ อุดมศักดิ์และบัญชา (2555) พบว่า ไส้เดือนฝอยเข้าทำลายมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง80 ในปี พ.ศ. 2554 ทำให้ผลผลิตลดลงถึง 70% ซึ่งมันสำปะหลังจะไม่แสดงอาการผิดปกติบนส่วนเหนือดิน ทำให้ไม่ทราบการติดเชื้อจนกระทั่งตอนเก็บเกี่ยว กรมวิชาการเกษตรจึงได้พัฒนาเครื่องหมายสนิปที่สัมพันธ์กับลักษณะความต้านทานโรครากปมสำหรับนำมาใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ พบว่า เครื่องหมายสนิป S2\_5300154 บนโครโมโซมที่ 2 สัมพันธ์กับความต้านทานโรครากปมเมื่อทดสอบกับมันสำปะหลังจากแปลงรวบรวมพันธุ์ของศูนย์วิจัยพืชไร่ระยองจำนวน 71 พันธุ์ พบว่า เครื่องหมายสนิปดังกล่าวมีความถูกต้องในการตรวจคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังต้านทานโรครากปมถึง 70.4% (มัลลิกาและคณะ, 2565)

**โรคราสนิมถั่วเหลือง** มีสาเหตุจากเชื้อรา *Phakopsora pachyrhizi* ทำให้ถั่วเหลืองแสดงอาการใบมีจุดสีน้ำตาลแดง กรมวิชาการเกษตรได้ร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศึกษาหาตำแหน่งยีนที่ควบคุมลักษณะความต้านทานโรคราสนิมในประชากรถั่วเหลืองช่วงที่ 2 และ 3 จากคู่ผสมระหว่างพันธุ์ กวก. เชียงใหม่5 กับพันธุ์สุขโขทัย2 โดยการวิเคราะห์ QTL พบเครื่องหมายโมเลกุลชนิด SSR ที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานโรคราสนิม 3 เครื่องหมาย ได้แก่ Satt472 Satt288 และ Satt012 (สมศักดิ์และคณะ, 2548) เครื่องหมายเหล่านี้มีตำแหน่งบนโครโมโซมอยู่บริเวณเดียวกับยีนต้านทานต่อโรคราสนิมถั่วเหลือง *resistance to P. pachyrhizi (Rpp)* 4 และสามารถใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีเชื้อสายมาจากพันธุ์ กวก. เชียงใหม่5 ที่มีความต้านทานโรคราสนิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (จีราพรและคณะ, 2554) อย่างไรก็ตาม เครื่องหมายโมเลกุลทั้งสามนี้อาจไม่สามารถใช้คัดเลือกพันธุ์ถั่วเหลืองที่ไม่ได้สืบเชื้อสายมาจากพันธุ์ กวก. เชียงใหม่5 เนื่องจากมีความจำเพาะกับพื้นฐานทางพันธุกรรมของประชากรที่ทำการทดสอบ ดังนั้นหากต้องการใช้เครื่องหมายโมเลกุลเหล่านี้ไปใช้กับประชากรกลุ่มอื่นควรทำการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องหมายในการคัดเลือกพันธุ์ในประชากรกลุ่มนั้น ๆ ก่อน

**โรคเหี่ยวในสับปะรด** (pineapple mealybug wilt) เกิดจากเชื้อไวรัส pineapple mealybug wilt associated virus (PMWaVs) มีผลเสียแบ่งเป็นพาหะและมดช่วยแพร่กระจายผลัดเปลี่ยน ระบาดรุนแรงในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ทำให้ผลผลิตและคุณภาพสับปะรดเสียหาย กรมวิชาการเกษตรได้ดำเนินการแก้ปัญหาโดยการผลิตหน่อพันธุ์สับปะรดปลอดโรค โดยตรวจสอบเชื้อ PMWaVs เพื่อเลือกต้นพันธุ์ที่ปลอดโรคเหี่ยวด้วยเทคนิค reverse

transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) ก่อนนำไปขยายเพิ่มจำนวน (คณะทำงานโครงการการพัฒนาการผลิตหน่อพันธุ์ปลอดโรคเหี่ยวจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและการสร้างแปลงต้นแบบการผลิตสับปะรดปลอดโรคเหี่ยวแบบบูรณาการ, 2559) ทำให้ได้หน่อพันธุ์ที่ปลอดโรคอย่างแท้จริง และลดปัญหาการมีไวรัสแฝงในหน่อพันธุ์ อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ต้องมีการตรวจสอบเชื้อก่อนการส่งมอบหน่อพันธุ์ทุกครั้ง ซึ่งใช้ทรัพยากรและเวลาในการตรวจสอบ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืนควรมีการดำเนินการพัฒนาพันธุ์สับปะรดให้มีความต้านทานต่อโรคเหี่ยว โดยการพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลที่สัมพันธ์กับลักษณะความต้านทานโรคเหี่ยวสำหรับใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ หรือศึกษายีนที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานโรคเหี่ยว และใช้เทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมในการปรับแต่งยีนดังกล่าวเพื่อสร้างความต้านทานโรคให้แก่สับปะรด

**โรคใบไหม้ในมันสำปะหลัง** (cassava bacterial blight, CBB) เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas axonopodis* pv. *Manihotis* กรมวิชาการเกษตรได้มีงานวิจัยการประเมินระดับความต้านทานของมันสำปะหลังจากเชื้อพันธุ์กรรมจำนวน 548 พันธุ์ เพื่อหาพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคใบไหม้ โดยทำในสภาพโรงเรือนด้วยวิธีการตัดใบ พบมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ที่ค่อนข้างต้านทานต่อโรคใบไหม้ ได้แก่ MCUB23 CR19 และ MARG2 (Moonjuntha et al., 2012) อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองที่ทดสอบในสภาพโรงเรือนนี้ ใช้วิธีการปลูกเชื้อแบคทีเรียก่อโรคด้วยวิธีการตัดใบ ซึ่งแตกต่างจากวิธีการเข้าทำลายในธรรมชาติ จึงควรมีการทดสอบระดับความต้านทานซ้ำด้วยวิธีการปลูกเชื้อที่คล้ายคลึงกับสภาพธรรมชาติ เช่น วิธีการพ่นเซลล์แขวนลอยเชื้อ เพื่อให้เชื้อแบคทีเรียก่อโรคเข้าทำลายมันสำปะหลังจากช่องเปิดธรรมชาติ รวมถึง

การพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลที่สัมพันธ์กับลักษณะต้านทานโรคใบไหม้กับมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทย สำหรับนำมาใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ต้านทานโรคใบไหม้ตั้งแต่ช่วงแรกของกระบวนการปรับปรุงพันธุ์ และเพื่อสามารถกำหนดคู่ผสมเพื่อสร้างลูกผสมมันสำปะหลังให้ต้านทานโรคใบไหม้ให้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

ส่วนเทคโนโลยี GS มีการศึกษาจีโนมของเชื้อไวรอยด์ *Columnea latent viroid* (CLVd) ในสกุล *Pospiviroid* ที่เป็นเชื้อสาเหตุโรคในมะเขือเทศ มะอึก และมะเขือเปราะ ซึ่งจีโนมของ CLVd มีขนาดเล็กประมาณ 367-374 นิวคลีโอไทด์ และได้ศึกษาการกลายพันธุ์และวิวัฒนาการของเชื้อในพืชอาศัยเพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมโรคพืช (ปริเชษฐ์และคณะ, 2567) สำหรับเทคโนโลยี GEd กรมวิชาการเกษตรยังมีงานวิจัยที่อยู่ระหว่างดำเนินการ ซึ่งกองแผนงานและวิชาการ (2567) ได้รวมรวมไว้ เช่น การปรับแต่งยีน *Polyphenol oxidase* (PPO) เพื่อพัฒนาพันธุ์สับปะรดให้ทนทานต่ออาการไส้สีน้ำตาล การปรับแต่งยีน *Eukaryotic Translation Initiation Factor 4E* (eIF4E) เพื่อความต้านทานโรคไวรัสวงแหวนในมะละกอ และการปรับแต่งยีน *Capsicum annum ethylene responsive factor 28* (CaERF28) เพื่อให้เกิดความต้านทานโรคแอนแทรกโนสในพริก เป็นต้น

## บทสรุป

เทคโนโลยีชีวภาพสำหรับการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อต้านทานโรคโดยใช้ประโยชน์จากจีโนมไทป์หรือสารพันธุกรรม ได้แก่ MAS GS GM และ GEd เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้การพัฒนาพันธุ์พืชต้านทานโรคทำได้รวดเร็วตรงเป้าหมาย และมีประสิทธิภาพ สามารถลดข้อจำกัดด้านพื้นที่ทำการทดลอง งบประมาณ และแรงงาน เมื่อเทียบกับวิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิม

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เทคโนโลยี MAS และ GS ที่ไม่ได้ รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อม ทำให้การคัดเลือกพันธุ์มีความแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถดำเนินการคัดเลือกได้ตั้งแต่พืชอายุน้อย รวมทั้งสามารถคัดเลือกหรือคัดกรองกลุ่มประชากรลูกผสมที่มีลักษณะเป้าหมายได้จากประชากรลูกผสมที่ได้ทั้งหมดพร้อมกัน ซึ่งเป็น การเพิ่มโอกาสในการตรวจพบลูกผสมที่มีการเข้าคู่ของยีนหรือโครโมโซมที่ถูกต้องจากลูกผสมทั้งหมด ส่วนเทคโนโลยี GM และ GE-d สามารถเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรมเพื่อพัฒนาพันธุ์พืชให้มีลักษณะตามต้องการในจำนวนรุ่นการคัดเลือกที่น้อยลง เทคโนโลยี GM สามารถปรับปรุงพันธุ์พืชที่ข้ามขอบเขตการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติได้ เช่น การสร้างพืชต้านทานโรคโดยใช้ยีนจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น กรมวิชาการเกษตรได้นำเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชให้ต้านทานโรคเพื่อแก้ปัญหาการระบาดของโรคพืชในพืชเศรษฐกิจ ทำให้การปรับปรุงพันธุ์พืชต้านทานโรคสามารถดำเนินการได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

กองแผนงานและวิชาการ. 2567. งบประมาณด้านการวิจัยและนวัตกรรมและการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิชาการเกษตร ที่ได้รับจัดสรรงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปี 2568. 413 หน้า.

คณะกรรมการเทคนิคด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ. 2554. แนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพสำหรับการดำเนินงานด้านเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่หรือพันธุ์วิศวกรรม. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. กรุงเทพฯ. 194 หน้า.

คณะกรรมการเทคนิคด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ. 2559. แนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพสำหรับการดำเนินงานด้านเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ. 232 หน้า.

คณะทำงานโครงการพัฒนาการผลิตหน่อพันธุ์ปลอดโรคเหี่ยวจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและการสร้างแปลงต้นแบบการผลิตสับปะรดปลอดโรคเหี่ยวแบบบูรณาการ. 2559. แนวทางการแก้ไขปัญหาโรคเหี่ยวแบบบูรณาการ. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. 36 หน้า.

จิราพร แก่นทรัพย์ สมศักดิ์ ศรีสมบุญ และจุลภาค คูนวงศ์. 2554. การคัดเลือกถั่วเหลืองพันธุ์ถั่วเหลืองต้านทานโรคราสนิม (*Phakopsora pachyrhizi*, T. P. Syd.) โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุล. วารสารวิชาการเกษตร. (29): 2-11.

จิราพร แก่นทรัพย์ สุวลักษณ์ อมะวัลย์ ประพิศ วงเทียม อรุณทัย ชาววา สุภาวดี จ้อเหรียญ ดนัย นาคประเสริฐ และจินณจารี หาญเศรษฐสุข. 2563. การใช้เครื่องหมายโมเลกุลในการคัดเลือกพันธุ์มันสำปะหลังต้านทานโรคใบด่าง Cassava Mosaic Disease. วารสารวิชาการเกษตร. 38(1): 68-79.

จิราพร แก่นทรัพย์ มัลลิกา นวลแก้ว อมรรักษ์ คัดใจเดียว สุภาวดี จ้อเหรียญ รังสิมันต์ ธีระวงศกัญญา และภรณ์ สว่างศรี. 2566. การพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอชนิดใหม่ในยีน *E3 ubiquitin-protein ligase MBR1* และยีน *pathogenesis-related protein PR-4-like* ที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานโรคเน่าในสับปะรด. หน้า 1-9. ใน: Proceeding การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 20. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ชาลินี คงสวัสดิ์ และจินตนา จันทร์เจริญฤทธิ. 2554. สถานภาพของพืชดัดแปลงพันธุกรรมและความปลอดภัยทางชีวภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว. 27(1): 181-195.

บรรพต ฌ ป้อมเพชร. 2554. สถานภาพของประเทศไทยตามพิธีสารคาร์ตาเฮน่าว่าด้วยความปลอดภัยทางชีวภาพ. ข่าวสารเทคโนโลยีชีวภาพ. 3(1): 10-13.

ปรีเชษฐ ตั้งกาญจนภาสน์ กาญจนาวาระวิชนี Annelies Haegeman Monica Höfte และ Kris De Jonghe. 2567. วิวัฒนาการของเชื้อ *columnea latent viroid* (CLVd) ในพืชอาศัยโดยการศึกษา quasi-species population. วารสารวิชาการเกษตร. 42(3): 272-286.

มัลลิกา แก้ววิเศษ อัจฉราพรรณ ใจเจริญ จิราพร แก่นทรัพย์ สุวลักษณ์ อมะวัลย์ สุภาวดี จ้อเหรียญ วิภาวี ชันโรจน์ วานิช คำพานิช, กฤตยา เพชรผึ้ง, ประพิศ วงเทียม และ

- ปิยรัตน์ ธรรมกิจวัฒน์. 2565. การค้นหาและพัฒนา เครื่องหมายสปีชีส์ใหม่เพื่อร่นระยะเวลาการปรับปรุง พันธุ์มันสำปะหลังให้มีไซยาไนด์ต่ำ ด้านทานโรครากปม และโรคใบด่างมันสำปะหลัง. หน้า 1-15. ใน: ผลงานวิจัยดีเด่น กรมวิชาการเกษตร ประจำปี 2564. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- มัลลิกา นวลแก้ว สุภาวดี จ้อเหรียญ จีราพร แก่นทรัพย์ และพงศกร สรรค์วิทยากุล. 2568. การปรับปรุงพันธุ์ สับปะรดเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในตลาดโลก. รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรม วิชาการเกษตร. 112 หน้า.
- สมศักดิ์ ศรีสมบูรณ์ มณฑา นันทพันธ์ จุลภาค คุ่นวงศ์ ฉัฐพร คุ่นวงศ์ อาภาณี โภคประเสริฐ สิทธิ์ แดงประดับ วิระศักดิ์ เทพจันทร์ ให้พร กิตติกุล ศุภชัย แก้วมีชัย ธนิต โสภโณตร เทวา เมาลานนท์ และอลงกรณ์ กรณ์ทอง. 2548. การใช้ DNA Marker ในการศึกษาตำแหน่งยีน ด้านทานโรคราสนิมถั่วเหลือง. หน้า 101-110. ใน: ผลงานวิจัยเพื่อพิจารณาเป็นผลงานวิจัยดีเด่นประจำปี 2547 และผลงานวิจัยโครงการวิจัยระดับที่ได้รับการ สนับสนุนจากกองทุนสนับสนุนงานวิจัยด้านการเกษตร ประจำปี 2547. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์.
- อุดมศักดิ์ เลิศสุชาตวนิช และปัญญา ชิมศรี. 2555. การ สืบสวนและประเมินความเสียหายจากโรครากปมของ มันสำปะหลัง. หน้า 391-395. ใน: เรื่องเต็มการประชุม ทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50. สาขาพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Akano, A.O., A.G.O. Dixon, C. Mba, E. Barrera and M. Fregene. 2002. Genetic mapping of a dominant gene conferring resistance to cassava mosaic disease. *Theoretical and Applied Genetics*. 105(4): 521-525.
- Bernardo, R. and J. Yu. 2007. Prospects for genomewide selection for quantitative traits in maize. *Crop Science*. 47(3): 1082-1090.
- Bevan, M.W. and M.D. Chilton. 1982. Multiple transcripts of T-DNA detected in nopaline crown gall tumors. *Journal of Molecular and Applied Genetics*. 1(6): 539-546.
- Bubolz, J., P. Sleboda, A. Lehrman, S.O. Hansson, C. Johan Lagerkvist, B. Andersson, M. Lenman, S. Resjö, M. Ghislain, M.A. Zahid, N.P. Kieu and E. Andreasson. 2022. Genetically modified (GM) late blight-resistant potato and consumer attitudes before and after a field visit. *GM Crops and Food*. 13(1): 290-298.
- Carroll, D. 2017. Genome editing: past, present, and future. *The Yale Journal of Biology and Medicine*. 90(4): 653-659.
- Das, R.R., M.T. Vinayan, M.B. Patel, R.K. Phagna, S.B. Singh, J.P. Shahi, A. Sarma, N.S. Barua, R. Babu, K. Seetharam, J.A. Burgueño and P.H. Zaidi. 2020. Genetic gains with rapid-cycle genomic selection for combined drought and waterlogging tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). *The Plant Genome*. 13(3): e20035.
- Davidson, S.N. 2008. Forbidden fruit: transgenic papaya in Thailand. *Plant Physiology*. 147(2): 487-493.
- Figlan, S. and L. Mwadzingeni. 2022. Breeding tools for assessing and improving resistance and limiting mycotoxin production by *Fusarium graminearum* in wheat. *Plants*. 11(15): 1933.
- Fitch, M.M.M., R.M. Manshardt, D. Gonsalves, J.L. Slightom and J.C. Sanford. 1992. Virus resistant papaya plants derived from tissues bombarded with the coat protein gene of papaya ringspot virus. *Nature Biotechnology*. 10(11): 1466-1472.
- Fregene, M., E. Okogbenin, C. Mba, C.F. Angel, M.C. Suarez, G. Janneth, P. Chavarriaga, W. Roca, M. Bonlerbale and J. Tohme. 2001. Genome mapping in cassava improvement: challenges, achievements and opportunities. *Euphytica*. 120(1): 159-165.
- Garner, K.L. 2021. Principles of synthetic biology. *Essays in Biochemistry*. 65(5): 791-811.

- Gomez, M.A., Z.D. Lin, T. Moll, R.D. Chauhan, L. Hayden, K. Renninger, G. Beyene, N.J. Taylor, J.C. Carrington, B.J. Staskawicz and R.S. Bart. 2019. Simultaneous CRISPR/Cas9 mediated editing of cassava eIF 4E isoforms nCBP-1 and nCBP-2 reduces cassava brown streak disease symptom severity and incidence. *Plant Biotechnology Journal*. 17(2): 421–434.
- IPPC-report. 2019. The current status of SLCMV in Thailand. Available on: <https://www.ippc.int/en/countries/thailand/pestreports/2019/03/the-current-status-of-slcmv-in-thailand/>. Accessed: December 6, 2024.
- Jonah, P.M., L.L. Bello, O. Lucky, A. Midau and S.M. Moruppa. 2011. Review: the importance of molecular markers in plant breeding programmes. *Global Journal of Science Frontier Research*. 11(5): 5-12.
- Kansup, J., S. Sansanee and A. Chaicharoen. 2024. Development of tetra-primer ARMS-PCR for selection and discrimination of CMD-resistant cassava varieties used in Thailand. *Thai Agricultural Research Journal*. 42(2): 217–228.
- Kaya, H.B. 2024. 2023. Base Editing and Prime Editing. In: *A Roadmap for Plant Genome Editing*. A. Ricoch, D. Eriksson, D. Miladinović, J. Sweet, K. van Laere, E. Woźniak-Gientka (eds). Springer. Available on: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-46150-7\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-46150-7_2). Accessed: December 6, 2024.
- Lemos, N.G., A.L. Braccini, R.V. Abdelnoor, M.C.N. Oliveira, K. Suenaga and N. Yamanaka. 2011. Characterization of genes *Rpp2*, *Rpp4* and *Rpp5* for resistance to soybean rust. *Euphytica*. 182(1): 53-64.
- Li, J.F., J.E. Norville, J. Aach, M. McCormack, D. Zhang, J. Bush, G.M. Church and J. Sheen. 2013. Multiplex and homologous recombination-mediated genome editing in *Arabidopsis* and *Nicotiana benthamiana* using guide RNA and Cas9. *Nature Biotechnology*. 31(8): 688 - 691.
- Meuwissen, T.H.E., B.J. Hayes and M.E. Goddard. 2001. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics*. 157(4): 1819–1829.
- Mojica, F.J., C. Diez-Villasenor, J. Garcia-Martinez and C. Almendros. 2009. Short motif sequences determine the targets of the prokaryotic CRISPR defence system. *Microbiology*. 155(3): 733–740.
- Moonjuntha, P., J. Jarunate, P. Wongtiem, J. Harnsetasook, R. Boontung and S. Thongchuay. 2012. Evaluated of cassava bacterial blight (CBB) disease from cassava germplasm in Thailand. In: *Global Cassava Partnership. Second Scientific Conference GCP 21 – II. June 18–22. National Crops Resources Research Institute. Namulonge, Uganda.*
- Okogbenin, E., C.N. Egesi, B. Olasanmi, O. Ogundapo, S. Kahya, P. Hurtado, J. Marin, O. Akinbo, C. Mba, H. Gomez, C. de Vicente, S. Baiyeri, M. Uguru, F. Ewa and M. Fregene. 2012. Molecular marker analysis and validation of resistance to cassava mosaic disease in elite cassava genotypes in Nigeria. *Crop Science*. 52(6): 2576–2586.
- Permyakova, N. and E. Deineko. 2024. Crop improvement: comparison of transgenesis and gene editing. *Horticulturae*. 10(1): 57.
- Podevin, N., H.V. Davies, F. Hartung, F. Nogué and J.M. Casacuberta. 2013. Site-directed nucleases: a paradigm shift in predictable, knowledge-based plant breeding. *Trends in Biotechnology*. 31(6): 375-383.
- Poland, J. and J. Rutkoski. 2016. Advances and challenges in genomic selection for disease resistance. *Annual Review of Phytopathology*. 54(1): 79-98.

- Rajendra, V. and K. Charitha. 2024. Marker-assisted selection for crop improvement. *Strategy & Application of Plant Breeding*. 263-281.
- Raman, R. 2017. The impact of genetically modified (GM) crops in modern agriculture: a review. *GM Crops and Food*. 8(4): 195-208.
- Ratti, M.F., M.S. Ascunce, J.J. Landivar and E.M. Goss. 2018. Pineapple heart rot isolates from Ecuador reveal a new genotype of *Phytophthora nicotianae*. *Plant Pathology*. 67(8): 1803-1813.
- Santillán, M.M.I., V. Bracuto, E. Koseoglou, M. Appiano, E. Jacobsen, R.G.F. Visser, A.A. Wolters and Y. Bai. 2020. CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of the tomato susceptibility gene PMR4 for resistance against powdery mildew. *BMC Plant Biology*. 20(1): 284.
- Subburaj, S., T. Thulasinathan, V. Sakthivel, B. Ayyenar, R. Kambale, V.R. Rajagopalan, S. Manickam, R. Rajasekaran, G. Chellappan, K. Thiyagarajan, M. Swaminathan and R. Muthurajan. 2024. Genetic enhancement of blast and bacterial leaf blight resistance in rice variety CO 51 through marker-assisted selection. *Agriculture*. 14(5): 693.
- Tanksley, S.D. and C.M. Rick. 1980. Isozymic gene linkage map of the tomato: Applications in genetics and breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 58(2): 161-170.
- Wang, Y., X. Cheng, Q. Shan, Y. Zhang, J. Liu, C. Gao and J.L. Qiu. 2014. Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew. *Nature Biotechnology*. 32(9): 947-951.
- Wang, F., C. Wang, P. Liu, C. Lei, W. Hao, Y. Gao, Y.G. Liu and K. Zhao. 2016. Enhanced rice blast resistance by CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of the ERF transcription factor gene OsERF922. *PLoS One*. 11(4): e0154027.
- Younis, A., M.I. Siddique, C.K. Kim and K.B. Lim. 2014. RNA interference (RNAi) induced gene silencing: A promising approach of hi-tech plant breeding. *International Journal of Biological Sciences*. 10(10): 1150-1158.
- Zhao, Y., M.F. Mette, M. Gowda, C.F.H. Longin and J.C. Reif. 2014. Bridging the gap between marker-assisted and genomic selection of heading time and plant height in hybrid wheat. *Heredity*. 112(6): 638-645.

## คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

### การส่งต้นฉบับ:

ผู้เขียนต้องส่งต้นฉบับผ่านทาง Online submission เท่านั้น ที่: [tci-thaijo.org/index.php/thaiagriculturalresearch](http://tci-thaijo.org/index.php/thaiagriculturalresearch)

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนนี้ใช้กับบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเกษตร ตั้งแต่ปีที่ 42 เป็นต้นไป

สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/thaiagriculturalresearch/guidelines> พร้อมไฟล์ตัวแบบให้ดาวน์โหลด

**ต้นฉบับ:** พิมพ์ด้วยโปรแกรมพิมพ์เอกสารใช้ font TH SarabunPSK ขนาด 16 pts พิมพ์บรรทัดห่าง 1 บรรทัด พิมพ์หน้าเดียว มีความยาว 10-15 หน้า กระดาษขนาด A4 มีรูปแบบการเขียนและการวางหัวข้อตามรายละเอียดดังนี้

**ชื่อเรื่อง** (ภาษาไทย/ภาษาอังกฤษ)

**ชื่อ สกุล<sup>1</sup>** (ผู้แต่งคนที่ 1) **ชื่อ สกุล<sup>2</sup>** (ผู้แต่งคนที่ 2) (ภาษาไทย/ภาษาอังกฤษ)

**ที่อยู่ของหน่วยงานของผู้แต่ง** (ภาษาไทย/ภาษาอังกฤษ)

**Corresponding author: email**

**ABSTRACT:** สรุปความสำคัญของเรื่องที่ทดลอง วัตถุประสงค์ วิธีการทดลอง สถานที่ เวลาทำการทดลอง ผลการทดลอง และสรุปสาระสำคัญที่ได้จากการทดลอง เป็นภาษาอังกฤษใช้สำนวนรัดกุมและให้รายละเอียดที่ชัดเจน มีความยาวไม่เกิน 300 คำ

**Keywords:** ไม่เกิน 5 คำ

**บทคัดย่อ:** มีเนื้อหาสาระเช่นเดียวกันกับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ (ABSTRACT)

**คำสำคัญ:** ไม่เกิน 5 คำ

**บทนำ:** อธิบายถึงเหตุผล ความสำคัญ วัตถุประสงค์และเป้าหมายของงานวิจัยพร้อมทั้งเสนอข้อมูลสนับสนุนหรือโต้แย้งจากการตรวจเอกสาร

**อุปกรณ์และวิธีการ:** อธิบายการวางแผนการทดลอง ขนาดแปลงทดลอง และรายละเอียดของวิธีการดำเนินการทดลอง วัน เวลา และสถานที่ทดลอง วิธีการบันทึกข้อมูล ใช้สำนวนที่ไม่เยิ่นเย้อ และให้รายละเอียดเป็นขั้นตอนที่ชัดเจน

**ผลการทดลองและวิจารณ์:** อธิบายผลการทดลองที่สำคัญ อ้างอิงถึงตาราง กราฟ หรือรูปประกอบพร้อมเหตุผลสนับสนุนผลการทดลอง และวิจารณ์เหตุผลที่ทำให้ผลการทดลองเป็นเช่นนั้น รวมทั้งอ้างอิงผลการทดลองของผู้อื่น (จากเอกสารอ้างอิงในบทนำ หรืออุปกรณ์และวิธีการ) เพื่อสนับสนุนหรือคัดค้านผลการทดลองนั้น ๆ

**ตาราง:** ชื่อตารางและรายละเอียดเป็นภาษาอังกฤษ เรียงตั้งแต่ Table 1 เป็นต้นไป

**ภาพประกอบ:** ภาพขาวดำ หรือภาพสี หรือภาพลายเส้น (กราฟ) เป็นต้นฉบับที่ชัดเจน สะอาดและสวยงามพร้อมคำบรรยายเป็นภาษาอังกฤษเรียงตั้งแต่ Figure 1 เป็นต้นไป

**สรุปผลการทดลอง:** สรุปสาระที่สำคัญของผลการทดลอง คำแนะนำในการนำไปใช้ประโยชน์ และข้อเสนอแนะในงานวิจัยเรื่องนั้น ๆ ในอนาคต (ถ้ามี)

**คำขอบุคคล:** กล่าวถึงบุคคลและหน่วยงานที่ช่วยเหลืองานวิจัยและทดลอง

**เอกสารอ้างอิง:** ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง ตามตัวอย่าง

**1. การตรวจเอกสาร** ในเรื่องของบทนำหรือ อุปกรณ์และวิธีการ หรือ ผลการทดลอง

ตัวอย่างการเขียน

- โกลล (2523) หรือ (โกลล, 2523)
- อิมจิตและคณะ (2535) หรือ (อิมจิตและคณะ, 2535)
- Krebs (1978) หรือ (Krebs, 1978)
- Lekakul et al. (1977) หรือ (Lekakul et al., 1977)

ถ้าเอกสารไม่ปรากฏชื่อผู้เขียนให้ใช้ นิรนาม (2529) หรือ (นิรนาม, 2529)

## 2. เอกสารอ้างอิง

### 2.1 การเรียงลำดับเอกสาร

- ให้เอกสารภาษาไทยอยู่ในส่วนแรก และเอกสารภาษาต่างประเทศอยู่ในส่วนที่สอง
- ให้เรียงชื่อผู้แต่งตามอักษรแต่ละภาษา ผู้แต่งชื่อเดียวกัน มีเอกสารมากกว่า 1 ฉบับ
- ถ้าตีพิมพ์ในปีต่าง ๆ กัน ให้เรียงปีที่พิมพ์จากน้อยไปหามาก
- ถ้าตีพิมพ์ในปีเดียว ให้ใส่อักษร ก, ข, ค หรือ a, b, c กำกับในเนื้อเรื่องที่ย่างถึงก่อนและหลังตามลำดับ

### 2.2 ประเภทของเอกสาร

#### ก. ตำรา

ชื่อผู้แต่ง. ปี. ชื่อหนังสือ. ชื่อสำนักพิมพ์ จังหวัด. จำนวนหน้า.

สะอาด บุญเกิด จร สดากกร และทิพย์พรรณ สดากกร. 2523. ชื่อพรรณไม้ในเมืองไทย. กองทุนจัดพิมพ์ตำราป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 657 หน้า.

Holm, G.L., D.L. Plucknett, J.V. Pancho and J.P. Herberger. 1997. *Imperata cylindrical* (L.) Beauv. pp. 62-71. In: The World 's Worst weeds, Distribution and Biology. Honolulu, University Press of Hawaii.

#### ข. วารสาร Newsletter และ Bulletin

ชื่อผู้แต่ง. ปี. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสารหรือชื่อ Newsletter หรือชื่อ Bulletin. ปีที่(เล่มที่): หน้า-หน้า.

ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2524. วิธีการเขียนบทความทางวิชาการวิทยาศาสตร์. วารสารสงขลานครินทร์. 3(1): 27-43.

Sharwa, A.D. and C.I. Jandalk. 1986. Studies on recycling of Pleurotus waste. Mushroom Newsletter for the Tropics. 3: 13-15.

#### ค. รายงานประจำปี

ชื่อผู้แต่ง. ปี. ชื่อเรื่อง. หน้า-หน้า. ชื่อรายงานประจำปี พ.ศ. หน่วยงาน.

กรองทอง จันทน์ อำนวย ทองดี และบรรจง สิกขมณฑล. 2522. การศึกษาหาวิธีการปลูกหอมแดงในภาคเหนือ. หน้า 5-20. ใน: รายงานสรุปผลการทดลองพืชสวน 2522. กองพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

Lewanich, A. 1974. A Taxonomic Study on the Lipdopterous Pests of Sugar Cane. pp. 511- 513. In: Annual Research Report 1974. Division of Entomology and Zoology, Department of Agriculture, Bangkok.

#### ง. รายงานการประชุม

ชื่อผู้แต่ง. ปี. ชื่อเรื่อง. หน้า-หน้า. ชื่อรายงานการประชุมถ้ามีตัวย่อสากลให้พิมพ์ตัวย่อ ครั้งที่ (ถ้ามี) วัน เดือน ปีที่มีการประชุม สถานที่ประชุม.

พิสิษฐ์ เสพสวัสดิ์ ศรีสมร พิทักษ์ เตือนจิตต์ สัตยาวิรุทธิ์ และสาทร ลีริสิงห์. 2523. ประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลงบางชนิด กับหนอนเจาะฝักถั่วเหลือง. หน้า 492-523. ใน: รายงานการประชุมวิชาการแมลงและสัตว์ศัตรูพืช ครั้งที่ 2 กองกัญและสัตววิทยา. 24-27 มิถุนายน 2532 ณ ศูนย์วิจัยการอารักขาข้าว กรุงเทพฯ.

Magee, P.N. 1992. The Future of Research on Chemical Carcinogenesis. pp. 11. In: 2<sup>nd</sup> Princess Chulabhorn Science Congress. Nov. 2-6, 1992. Bangkok.

จ. เอกสารไม่ปรากฏชื่อผู้เขียน ให้ใช้คำว่า นิรนาม หรือ Anonymous กรณีไม่ปรากฏปีที่พิมพ์ ให้ใช้ n.d. หรือ ม.ป.ป.

#### ฉ. สื่อวิชาการทาง Website

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องของเอกสาร. แหล่งข้อมูล: (ระบุ URL) สืบค้น: (วัน เดือน ปี).

นิรนาม. 2556. ชาน้ำมัน (*Camellia oleifera* Abel). ศูนย์วิจัยและพัฒนาชาน้ำมันและพืชน้ำมัน มูลนิธิชัยพัฒนา. แหล่งข้อมูล: <http://www.teaoilcenter.org/index.php/2013-12-01-03-05-52/2013-12-01-03-12-54/entry/camellia-oleifera-abel>. สืบค้น: 20 พฤษภาคม 2559.

FSANZ. 2007. Final assessment report. Application A565. Use of nisin in processed meat products .Food Standards Australia New Zealand. Available at: <http://www.foodstandards.gov.au/code/applications/documents/A565-FAR-Nissin-Final.pdf>. Accessed: March 22, 2015.

# Thai Agricultural Research Journal

**Production** : Department of Agriculture (DOA), Thailand  
**Office** : Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand  
**Objective** : As a medium for disseminate the agricultural research and innovation for crop plant

## Advisors

Director General, Deputy Director General, Technical Advisor, Senior Experts  
Directors of Centre, Divisions, Institutes and Offices  
Amara Chinaphuti, Ph.D.

## Editor

Suprada Sukonthabhirom na Pattalung, Ph.D. Department of Agriculture (DOA), Thailand

## Assistant Editors

Walaiporn Sasirapa	Information and Communication Technology Centre, DOA
Kanchana Pruesapan, Ph.D.	Plant Varieties Protection Office, DOA
Sainum Udpuay, Ph.D.	Agricultural Production Science Research and Development Division, DOA

## Editorial Board

Vichanee Ormzubsin	Surat Thani Oil Palm Research Center, DOA
Aumnuai Adthalangrong	Horticulture Institute, DOA
Suphakarn Luanmanee, Ph.D.	Agricultural Production Science Research and Development Division, DOA
Supamas Klinkajorn	Crops Processing Research and Development Group, PPRDD, DOA
Patchareewan Chongchitmate, Ph.D.	Plant Protection Research and Development Office, DOA
Jeeraporn Kansup, Ph.D.	Biotechnology Research and Development Office, DOA
Sanchai Tantayaporn, Ph.D.	National Bureau of Agriculture Community and Food Standard (ACFS)
Pornpimon Athipunyakom, Ph.D.	Retired government official
Suphasit Sngiamphongse	Retired government official
Charan Ditchaiwond, Ph.D.	Retired government official
Assoc. Prof. Kamronwit Thipmanee, Ph.D.	King Mongkut's Institute of Technology Lat Krabang
Assoc. Prof. Sontichai Chanprame, Ph.D.	Kasetsart University
Asst. Prof. Rungarun Tisgratog, Ph.D.	Kasetsart University
Assoc. Prof. Phruaksa Lawongsa, Ph.D.	Khon Kaen University
Assoc. Prof. Noppol Arunrat, Ph.D.	Mahidol University
Asst. Prof. Boonsom Bussaban, Ph.D.	Chiang Mai University
Asst. Prof. Bhornchai Harakotr, Ph.D.	Thammasat University
Wanporn Khemmuk, Ph.D.	Rice Department
Patcharin Sriwarin	Rubber Authority of Thailand

## Manager

Director of Research Planning Group, Planning and Technical Division, DOA, Thailand

## Assistant Manager

Donya Klaymala Planning and Technical Division, DOA, Thailand



# THAI AGRICULTURAL RESEARCH JOURNAL

Volume 43 No. 2

May - August 2025

ISSN : 3027-7264 (Print) ISSN : 3027-7272 (Online)

## CONTENTS

EDITORIAL.....115

Suprada Sukonthabhirom na Pattalung

### RESEARCH PAPERS

- Design and Development of Sugarcane Leaf Pruning Machine and Trash Incorporator .....116  
Tinnasit Kaisinburasak Prasat Sangphanta Mongkol Tunhaw Puttinun Jaruwat  
Anucha Chaochot Wanthanah Somnuek Ratchada Pratcharoenwanich  
Kunthakorn Khaothong Dansuang Jongsukwai
- Infection, Seed Transmission and Sequence Variation of *Pepper chat fruit viroid* in  
Pepper and Eggplant .....132  
Kanyarat Aubonrat Samabhorn Singhabandhu
- Cost Analysis of Import and Bring in Transit Permit under the Plant Quarantine Act B.E.  
2507 and Amended .....147  
Angkana Suwannakoot Sreenual Bungsongsree Watanyoo Klinneam
- Effects of Growth Regulators on Yield and Quality of Vegetable Soybean  
cv. DOA Chiang Mai84-2 .....159  
Jongrak Phunchaisri Sopit Jaipala Kiatrawee Phunchaisri Wongsakorn Sreechaiwong  
Sarawut Domake
- Wing Morphometrics for Species Diagnosis of Leafminer Flies (Genus *Liriomyza*)  
in Thailand .....169  
Yuvarin Boontop Sunadda Chaovalit Chamaiporn Buamas Artit Rukkasikom Sirichai Sathuwijarn
- SNPs Marker Development for Lycopene Beta-Cyclase (*lcyB*) Gene Related to  
Beta-Carotene Biosynthesis in Cassava .....181  
Tanavadee Kumchoo Adcharapun Chaicharoen Suwaluk Sansanee Krittaya Petchpoung
- Distribution Survey, Plant Growth and Seed Germination of Sumatran Fleabane  
(*Conyza sumatrensis* (Retz.) E. Walker) .....191  
Jarunya Pinsupa Mallika Srichanklad Choosak Kunuthai Pairoh Khwannangam
- Estimation of Plant Nutrient in Fingerroot Grown on Sandy Clay Loam Soil at Nakhon  
Pathom Province .....201  
Chattanaporn Kueanoon Pinyaluck Ratanavirakul Somrutai Tancharoen

### ARTICLE

- Biotechnology Research Progress in Plant Breeding for Disease Resistance  
of Department of Agriculture .....212  
Jeeraporn Kansup Mallika Nualkaew Phanuwat Moonjuntha Suwaluk Sansanee  
Ratchanee Sopha Auytin Polpanit