



# วารสาร วิชาการเกษตร THAI AGRICULTURAL RESEARCH JOURNAL

ปีที่ 43 ฉบับที่ 1

มกราคม - เมษายน 2568

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

## สารบัญ

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| บทบรรณาธิการ .....                                                                                                                           | 1  |
| สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง<br>ผลงานวิจัย                                                                                                  |    |
| ● ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการระดับโมเลกุลของปัญญาชั้นพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ลูกผสม<br>( <i>Gynostemma pentaphyllum</i> ) .....               | 2  |
| กาญจนา พฤษพันธ์ ศศิธร วรปิตรังสี อัญชลี แก้วดวง ธีรวิทย์ ชุตินันท์กุล                                                                        |    |
| ● การปรับปรุงสายพันธุ์เห็ดเป๋าฮื้อโดยวิธี Di-mon Mating .....                                                                                | 17 |
| รัชฎาภรณ์ ทองเหม วิภาวี ชันโรจน์ ภรณ์ สว่างศรี จิตรา กิตติโมรากุล                                                                            |    |
| ● การพัฒนาเครื่องลำเลียงและสับแห้งสำหรับลำปะหลังต่อฟางสามจุดกับรถแทรกเตอร์ .....                                                             | 31 |
| ทยาวิทย์ หนูบุญ จันทนา สันตพัฒน์ อรุณรัตน์ ฉ่ำสิงห์ ยงยุทธ เสี่ยงดัง                                                                         |    |
| ● การใช้แปรงฟลาวมันจาวมะพร้าวที่มีแปรงด้านทานการย่อยสลายทดแทนแปรงสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย .....                                              | 42 |
| กฤษฎาพร ผลวงษ์ จารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ นฤเทพ เวชภิบาล ภักธร ลุกรักษ์ เณริมวูร สมปาก                                                           |    |
| ● การควบคุมวัชพืชที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพถั่วเหลืองฝักสด<br>พันธุ์ กว.เชียงใหม่ 84-2 .....                                        | 54 |
| โสพิศ ใจปาละ จงรักษ์ พันธุ์ไชยศรี สราวุธ ดุเมฆ วงศกร ศรีชัยวงศ์                                                                              |    |
| ● ลักษณะเรื่องแสงสีเขียวที่แสดงออกในไม้สนสองชนิดโดยการส่งถ่ายยีน <i>gfp</i><br>ด้วยอะโครแบคทีเรียที่เข้าสู่เนื้อเยื่อเป้าหมาย .....          | 66 |
| พนม กระจำพจน์ สอดสุข พลชาติ ผิวฉัตร สุจิตรา เพชรคง สุรีย์พร เย็นสุวรรณ จริญญา สุวรรณนาคะ                                                     |    |
| ● การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารพิษตกค้างในพืชผักจากพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ<br>ตอนบน .....                                         | 78 |
| จารุพงศ์ ประสพสุข วัชรพร ศรีสว่างวงศ์ ปภัสสร สีลารักษ์ ณัฐชัยธร ชัตติยะพุดเมธ                                                                |    |
| ● Path Analysis of Total Economic Product of Twenty-Two Tenera Oil Palms<br>in Krabi, Thailand .....                                         | 89 |
| Suteera Thawornrat Puntaree Taeprayoon Kittichai Kor-Or Somkid Damnoi<br>Surakitti Srikul Peerasak Srinives Anek Limsrivilai Patcharin Tanya |    |
| บทความ                                                                                                                                       |    |
| ● NSUT13-313: โคลนอ้อยดีเด่นผลผลิตสูง .....                                                                                                  | 99 |
| นัฐภัทร์ คำหล้า ศิวีไล ลาภบรรจบ ปิยะนุช คำแว่น รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์                                                                      |    |

## 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

วลัยพร ศะศิประภา ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมวิชาการเกษตร  
ดร.กาญจนา พฤษพันธ์ สำนักคุ้มครองพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร  
ดร.สายน้ำ อุดพ้วย กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

### กองบรรณาธิการ

#### ภายในหน่วยงาน

วิษณีย์ ออมทรัพย์สิน สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร  
อำนวยการ ธรรมธังอรอง 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  
สุภาจิต เสงี่ยมพงศ์ ข้าราชการเกษียณอายุ  
ดร.จรัญ ดิษฐไชยวงศ์ ข้าราชการเกษียณอายุ  
รศ.ดร.คำรณวิทย์ ทิพย์มณี คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
รศ.ดร. สนธิชัย จันทน์เปรม คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
ผศ.ดร.รุ่งอรุณ ทิศกระโทก คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
รศ.ดร.พุกษา หล้าวงษา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รศ.ดร.นพพล อรุณรัตน์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล  
ผศ.ดร.บุญสม บุษบรรณ์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
ผศ.ดร.พรชัย ทาระโคตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ดร.วันพร เข้มมุกด์ สำนักวิจัยและพัฒนาอารักขาข้าว กรมการข้าว  
พัชรินทร์ ศรีวารินทร์ การยางแห่งประเทศไทย

### ผู้จัดการ

ผู้อำนวยการกลุ่มระบบวิจัย กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร

### ผู้ช่วยผู้จัดการ

ดนยา คล้ายมาลา กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร



# วารสาร วิชาการเกษตร

THAI AGRICULTURAL RESEARCH JOURNAL ISSN : 3027-7264

ปีที่ 43 ฉบับที่ 1

มกราคม - เมษายน 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 และทำการจัดพิมพ์ เผยแพร่แก่ห้องสมุดของหน่วยงานราชการ รวมทั้งองค์กรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง



## บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเกษตรได้เข้าสู่ปีที่ 43 (พ.ศ. 2568) ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน) บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารฯ จะมีกระบวนการประเมินคุณภาพบทความและปรับปรุงแก้ไขจนได้คุณภาพมาตรฐาน ซึ่งศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทยมีส่วนกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาคุณภาพในการบริหารจัดการของวารสารฯ ทั้งในด้านเนื้อหาและรูปแบบให้มีมาตรฐานระดับสากล และยังคงการรับรองเป็นวารสารกลุ่มที่ 1 อีกรอบ จากการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการที่อยู่ในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 5 พ.ศ. 2568-2572

บทความวิจัย มีองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญ คือ การวิจารณ์ผล ที่จะช่วยให้ผู้อ่านเข้าใจความสำคัญของงานศึกษาวิจัยนั้น ๆ มากขึ้น ผลการวิจัยที่สำคัญควรมีการวิจารณ์ หรืออธิบายเพิ่มเติม การวิจารณ์อาจเน้นข้อมูลสำคัญหลัก ๆ ที่ได้จากผลการทดลองและเห็นว่าผู้อ่านควรทราบ ความหมายของผลหรือข้อมูลที่ได้ สาเหตุที่ทำให้ผลการศึกษาหรือข้อมูลเป็นเช่นนั้น ข้อสรุปที่ได้มีความสอดคล้องหรือความแตกต่างออกไป เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในทำนองเดียวกันและสาเหตุที่ทำให้เป็นเช่นนั้น ผลการศึกษายิจที่ได้เป็นข้อมูลใหม่ในแง่มุมใด ความสำคัญของข้อมูลที่ได้ ชี้แจงจุดอ่อนและแนวทางแก้ไข วิธีนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในอนาคต คำแนะนำที่ได้จากข้อมูลผลดังกล่าว และที่สำคัญ คือ แต่ละประเด็นที่มีการวิจารณ์ควรมีเอกสารอ้างอิงหรืองานวิจัยสนับสนุนเพื่อให้ประเด็นที่กล่าวน่าเชื่อถือ ซึ่งปัจจุบันสามารถเข้าถึงแหล่งของบทความวิจัย เอกสารอ้างอิงต่าง ๆ ได้ง่ายผ่านอินเทอร์เน็ตหากนักวิจัยได้เพิ่มเติมการวิจารณ์ผลตามข้อเสนอแนะดังกล่าวข้างต้น จะทำให้บทความที่ส่งตีพิมพ์มีคุณภาพและมีคุณค่าทางวิชาการเพิ่มมากขึ้น

ท้ายสุดนี้ ขอขอบคุณนักวิจัยทุกหน่วยงานที่ได้ให้ความสนใจส่งบทความมาตีพิมพ์ ขอขอบคุณอดีตบรรณาธิการ กองบรรณาธิการ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงแก้ไขบทความวิจัยที่ส่งมาตีพิมพ์ให้มีคุณภาพ



(ดร. สุภรดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง)

บรรณาธิการวารสารวิชาการเกษตร

ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการระดับโมเลกุลของพันธุ์พื้นเมือง  
และพันธุ์ลูกผสม (*Gynostemma pentaphyllum*)  
Molecular Phylogeny of Native Panchakhan Varieties and Hybrids  
(*Gynostemma pentaphyllum*)

กาญจนา พฤษพันธ์<sup>1/\*</sup> ศศิธร วรพิติรังสี<sup>2/</sup> อัญชลี แก้วดวง<sup>3/</sup>ธีรวุฒิ ชูตินันท์กุล<sup>4/</sup>  
Kanchana Pruesapan<sup>1/\*</sup> Sasitorn Vorapitirangsi<sup>2/</sup> Anchalee Kaewdoun<sup>3/</sup> Theerawut Chutinanthakun<sup>4/</sup>

Received 25 Sep. 2024/Revised 30 Oct. 2024/Accepted 30 Oct. 2024

## ABSTRACT

Morphological diversity of Panchakhan (Thai Jiaogulan) based on its different ecotypes affects the stability of taxonomy nomenclature. This research aimed to study the relationship of 20 native Panchakhan varieties and their hybrids using chloroplast DNA markers of *accD*, *petD*, *psbB* and *ycf3* genes and to confirm the botanical name. The evolutionary relationships were generated using maximum likelihood (ML), maximum parsimony (MP) and minimum evolution (ME) methods. The results of ML, MP, and ME analyses showed the concordant clustering of Panchakhan varieties and confirmed their name as *Gynostemma pentaphyllum*. The phylogenetic tree of the combined datasets of all genes was the most efficient in grouping Panchakhan into 2 formae (f.), f. *pentaphyllum* and f. *dasycarpum*. The native Panchakhan, namely Sankampaeng, shared the characteristics of f. *pentaphyllum*, with the ovary/fruit surface covered with no hairs and the spherical seeds, ovate shape with regular papillae on surfaces. In addition, hybrid Panchakhan, namely Chiangrai2, also grouped together under this forma according to the genetic characteristics of its mother strain, Sankampaeng. As for the other 9 native Panchakhan varieties; namely Doitung1, Doitung2, Chiangkhong, Phrae1, Wawi2, Wawi4, Wiangkaen1, Wiangkaen2 and Angkhang; showed the characteristics of f. *dasycarpum*, with the ovary/fruit surface covered with pubescent hairs and flat seeds with slightly triangular to heart-shaped with irregular papillae on the surfaces.

---

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

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

<sup>2/</sup> ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย ต. ป่าออดอนชัย อ. เมือง จ. เชียงราย 57000

<sup>2/</sup> Chiang Rai Horticultural Research Center, Pa O Don Chai, Mueang, Chiang Rai 57000, Thailand

<sup>3/</sup> สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ ถ.รังสิต-นครนายก คลอง 6 อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110

<sup>3/</sup> Biotechnology Research and Development Office, Rangsit-Nakhon Nayok Rd., Khlong Hok, Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

<sup>4/</sup> สถาบันวิจัยพืชสวน อ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>4/</sup> Horticultural Research Institute, Phahonyothin Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

\* Corresponding author: kpruesapan@gmail.com

Furthermore, a group of hybrids Panchakhan, namely Chiangrai1, isolate Chiangrai1-7, isolate Chiangrai1-9, isolate Chiangrai1-11, isolate Chiangrai1-13, isolate Chiangrai1-19, isolate Chiangrai2-10, and isolate Chinese-Local, formed a group with their mother strain, Sibsongpanna, under f. *dasycarpum*.

**Keywords:** phylogenetic relationships; chloroplast DNA; Jiaogulan; morphology

### บทคัดย่อ

ความผันแปรทางสัณฐานวิทยาตามสภาพแวดล้อมของปัญจชันท์ ส่งผลให้เกิดความไม่คงที่ในการเรียกชื่อพืชตามหลักพฤกษอนุกรมวิธาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัญจชันท์พันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ลูกผสม 20 พันธุ์ ด้วยเครื่องหมายดีเอ็นเอบริเวณคลอโรพลาสต์ของยีน *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3* และระบุยืนยันชื่อวิทยาศาสตร์ โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบการจัดกลุ่มแบบ maximum likelihood (ML), maximum parsimony (MP) และ minimum evolution (ME) พบว่า การวิเคราะห์แบบ ML MP และ ME แสดงผลการจัดกลุ่มความสัมพันธ์สอดคล้องกัน และยืนยันความเป็นชนิดเดียวกันของปัญจชันท์ทั้ง 20 พันธุ์ คือ *Gynostemma pentaphyllum* โดยแผนภูมิข้อมูลดีเอ็นเอร่วมของยีนทั้งหมดมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการจัดกลุ่มความสัมพันธ์ออกเป็น 2 แบบ (forma (f.)) ได้แก่ f. *pentaphyllum* และ f. *dasycarpum* ซึ่งปัญจชันท์ที่แสดงลักษณะของ f. *pentaphyllum* คือ พันธุ์พื้นเมืองสันกำแพง โดยมีพันธุ์ลูกผสมเชียงราย2 ร่วมกลุ่มแสดงความใกล้ชิดตามลักษณะพันธุกรรมของพันธุ์แม่ ตามลักษณะทางสัณฐานร่วมของพื้นผิวรังไข่/ผลเกลี้ยง และมีเมล็ดทรงกลมรูปไข่

ผิวเมล็ดเป็นตุ่มมีรูปร่างค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนปัญจชันท์ที่แสดงลักษณะของ f. *dasycarpum* ได้แก่ ดอยตุง1 ดอยตุง2 เชียงของ แพร่1 วาวี2 วาวี4 เวียงแก่น1 เวียงแก่น2 และอ่างช้าง โดยมีพันธุ์ลูกผสมเชียงราย1 สายพันธุ์1-7 1-9 1-11 1-13 1-19 2-10 และสายพันธุ์จีน-พื้นเมือง ร่วมกลุ่มแสดงความใกล้ชิดตามลักษณะพันธุกรรมของพันธุ์แม่สืบสองปันนา ตามลักษณะทางสัณฐานร่วมของพื้นผิวรังไข่/ผลมีขนนุ่มปกคลุม และมีเมล็ดทรงแบนค่อนข้างสามเหลี่ยมจนถึงรูปหัวใจ ผิวเมล็ดเป็นตุ่มรูปร่างไม่สม่ำเสมอ

**คำสำคัญ:** ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ; คลอโรพลาสต์ดีเอ็นเอ; เจียวกู่หลาน; สัณฐานวิทยา

### บทนำ

กรมวิชาการเกษตรได้ดำเนินการสำรวจและเก็บรวบรวมปัญจชันท์พันธุ์พื้นเมืองในปี พ.ศ. 2555 และนำมาปรับปรุงพันธุ์จนได้พันธุ์ลูกผสมที่มีความสม่ำเสมอของพันธุ์มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 (ศศิธร และคณะ, 2556) ได้ปัญจชันท์ที่มีคุณสมบัติโดดเด่นในการให้ผลผลิตและการให้สารสำคัญหลักสูง ซึ่งกรมวิชาการเกษตรพิจารณาให้เป็นพันธุ์พืชแนะนำในปี พ.ศ. 2562 (ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย, 2562ก, 2562ข) แสดงให้เห็นว่า พันธุ์พื้นเมืองของไทยมีศักยภาพที่จะใช้ในการพัฒนาปรับปรุงพันธุ์ปัญจชันท์ในประเทศไทยให้มีความหลากหลายของสายพันธุ์มากขึ้น อย่างไรก็ตาม พันธุ์พื้นเมืองเหล่านี้แสดงความแตกต่างของลักษณะทางสัณฐานของใบ ดอก ผล หรือเมล็ด จึงจำเป็นต้องตรวจสอบให้ชัดเจนว่าเป็นชนิด (species) หรือพันธุ์ (variety) หรือแบบ (forma) เดียวกันหรือไม่ เนื่องจากปัญจชันท์มีความผันแปรของลักษณะทางสัณฐานภายในชนิดเดียวกันตามสภาพแวดล้อมค่อนข้างสูง ขณะเดียวกันก็มี

ลักษณะทางสัณฐานคาบเกี่ยวกันระหว่างชนิดสูง อีกด้วย จึงต้องมีการตรวจพิสูจน์ชนิดพืชทั้งด้วยวิธี ของอนุกรมวิธานพื้นฐาน และวิธีของอนุกรมวิธานขั้น สูงด้วยข้อมูลดีเอ็นเอ เพื่อให้มีความชัดเจน สำหรับใช้ ประโยชน์ในการนำไปศึกษาต่อยอด

สกุลปัญญาจันทร์ คือ *Gynostemma* Blume เป็นพืชในวงศ์แตง (Cucurbitaceae) ประกอบด้วย สมาชิก 17 ชนิด แบ่งออกเป็น 2 สกุลย่อย (subgenus) คือ *Gynostemma* และ *Trirostellum* C.Y.Wu & S.K. Chen ซึ่งทั้งสองสกุลย่อยมีลักษณะทางสัณฐาน ของผลแตกต่างกัน โดยชนิดพืชในสกุลย่อย *Gynostemma* มีลักษณะของผลเป็นแบบผลมีเนื้อ หลายเมล็ด (berry) ส่วนชนิดพืชในสกุลย่อย *Trirostellum* มีลักษณะของผลเป็นแบบผลแห้งแตก (capsule) (Wu and Chen, 1983; Chen, 1995; De Wilde and Duyfjes, 2007, 2008, 2010; Chen et al., 2011) จากลักษณะทางสัณฐานที่ใกล้เคียงกัน และคาบเกี่ยวกัน De Wilde and Duyfjes (2007, 2008, 2010) ได้ศึกษาพรรณพฤกษชาติในเขตประเทศ ไทยและภูมิภาคมาเลเซีย จำแนกชื่อวิทยาศาสตร์ของ พืชสกุลปัญญาจันทร์ โดยยุบชื่อชนิดพืชที่มีความคล้ายคลึง กันไว้ในระดับ forma ภายใต้ชนิดพืช *G. pentaphyllum* (Thunb.) Makino) ในทางตรงกันข้าม ประเทศจีนซึ่งเป็น ศูนย์กลางของความหลากหลายของพืชสกุล ปัญญาจันทร์ นักพฤกษอนุกรมวิธานได้จำแนกแตกต่าง ออกไป โดยยกชื่อในระดับ forma ขึ้นมาในระดับ species และ variety (Wu and Chen, 1983; Chen, 1995; Chen et al., 2011) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชื่อ วิทยาศาสตร์ของพืชตามหลักอนุกรมวิธานที่ขัดแย้ง กันนี้ ได้สร้างความสับสนในการเรียกชื่อชนิดปัญญาจันทร์ ให้ถูกต้อง ทั้งนี้ ในประเทศไทยได้มีการศึกษาความ หลากหลายและอนุกรมวิธานของปัญญาจันทร์ (De Wilde and Duyfjes, 2007; 2008) พบว่า ลักษณะทาง สัณฐานมีความผันแปรสูงมาก จึงถูกจัดแยกออกเป็น 5 แบบ คือ *G. pentaphyllum* f. *pentaphyllum*,

*f. dasycarpum* (C.Y. Wu) W.J. de Wilde & Duyfjes, *f. grandiflorum* W.J. de Wilde & Duyfjes, *f. knemandrum* W.J. de Wilde & Duyfjes และ *f. pubescens* (Gagnep.) W.J. de Wilde & Duyfjes ซึ่ง forma ต่าง ๆ ของพืชชนิดเดียวกันนี้มีรูปร่าง ลักษณะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมที่พืชเหล่านี้ อาศัยอยู่ เรียกว่า แบบนิเวศ (ecotype) ซึ่งเป็นผลจาก การปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพท้องถิ่นนั้น ๆ และ พบว่า *f. grandiflorum* และ *f. knemandrum* เป็น พืชถิ่นเดียวที่พบเฉพาะทางภาคเหนือของประเทศไทย นอกจากนี้ De Wilde and Duyfjes (2007) ยังรายงาน พบ *f. simplicifolium* (Blume) W.J. de Wilde & Duyfjes และ *f. fasciculare* W.J. de Wilde & Duyfjes กระจายพันธุ์อยู่ในแถบเอเชีย แต่ยังไม่ มีรายงานพบในประเทศไทย ซึ่งให้เห็นว่า ปัญญาจันทร์ มีความผันแปรตามสภาพแวดล้อมสูงมาก ซึ่งอาจมี forma อื่น ๆ ที่กระจายพันธุ์อยู่แต่ยังสำรวจไม่พบ

มีงานศึกษาวิจัยข้อมูลดีเอ็นเอของพืชทั้ง จีโนม เพื่อใช้สนับสนุนการจำแนกพืชสกุลปัญญาจันทร์ (Zhao et al., 2015; Zhang et al., 2017; Wang et al., 2020) แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ทาง วิวัฒนาการด้วยข้อมูลดีเอ็นเอ สามารถใช้สนับสนุน การจำแนกพืชสกุลปัญญาจันทร์ในการยกชื่อในระดับ forma ขึ้นมาเป็นระดับ species ได้ นอกจากนี้ ยังมีการ วิจัยออกแบบพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอบริเวณ คลอโรพลาสต์ที่มีคุณสมบัติเฉพาะในการระบุชนิดพืช (species-specific chloroplast markers) โดยใช้ยีน acetyl-CoA carboxylase beta subunit (*accD*), cytochrome b6/F complex subunit IV (*petD*), photosystem II 47 kDa protein (*psbB*) และ photopsystem I assembly protein (*ycf3*) สำหรับ ระบุชนิดของสกุลปัญญาจันทร์ที่นิยมปลูกเป็นพืชสมุนไพร ได้แก่ *G. burmanicum* King ex Chakr., *G. longipes* C.Y.Wu ex C.Y.Wu & S.K.Chen, *G. pentaphyllum* และ *G. pubescens* (Gagnep.) C.Y.Wu (Abid et al.,

2019) ซึ่งชนิดพืชเหล่านี้มีฐานวิธานวิทยาใกล้เคียงกับปัญจชันพันธุ์พื้นเมืองของไทย ข้อมูลดีเอ็นเอจากยีนเหล่านี้ จึงมีความเหมาะสมในการตรวจสอบความแตกต่างของปัญจชันพันธุ์พื้นเมืองของไทยให้มีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น รวมถึงพันธุ์ลูกผสมที่มีความสม่ำเสมอของพันธุ์แล้ว เพื่อการศึกษาความสัมพันธ์ของปัญจชันพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ลูกผสมด้วยเครื่องหมายดีเอ็นเอบริเวณคลอโรพลาสต์ของยีน *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3* และระบุยืนยันชื่อวิทยาศาสตร์ของปัญจชันพันธุ์ที่ศึกษา

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. ตัวอย่างพืชที่ศึกษา

#### 1.1 ตัวอย่างพืชในกลุ่มที่ศึกษา (Ingroup taxa)

##### 1.1.1 ข้อมูลดีเอ็นเอที่ศึกษาใหม่

เก็บรวบรวมจากแปลงรวบรวมพันธุ์ ของศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย ระหว่างปี พ.ศ. 2563-2564 จำนวน 20 พันธุ์ แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มพันธุ์พื้นเมือง 10 พันธุ์ ได้แก่ ดอยตุง1 ดอยตุง2 แพร่1 วาวี2 วาวี4 เวียงแก่น1 เวียงแก่น2 สันกำแพง อ่างช้าง และเชียงของ 2) กลุ่มพันธุ์ลูกผสมที่มีลักษณะสม่ำเสมอ 2 พันธุ์ ได้แก่ เชียงราย1 และ 2 3) กลุ่มลูกผสมของพันธุ์สิบสองปันนา × พันธุ์พื้นเมือง ที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ 7 สายพันธุ์ ได้แก่ 1-7 1-9 1-11 1-13 1-19 2-10 และสายพันธุ์จีน-พื้นเมือง ใช้ศึกษาเพื่อเป็นพันธุ์เปรียบเทียบความใกล้ชิดของพันธุ์ลูกผสมด้วยกัน และความใกล้ชิดกับพันธุ์พ่อแม่พันธุ์แม่ 4) พันธุ์ต่างประเทศ 1 พันธุ์ คือ สิบสองปันนา เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากประเทศจีนเพื่อเป็นคู่ผสมพันธุ์ (ใช้เปรียบเทียบความใกล้ชิดกับพันธุ์ลูกผสมและพันธุ์พื้นเมืองของไทย) ทั้งนี้ทั้ง 20 พันธุ์ ได้ลงทะเบียนเก็บรักษาไว้ในพิพิธภัณฑ์พืชกรุงเทพ กรมวิชาการเกษตร

(Bangkok Herbarium, BK) ตามกรรมวิธีการจัดทำพรรณไม้แห้งของพิพิธภัณฑ์พืชกรุงเทพ

##### 1.1.2 ข้อมูลดีเอ็นเออ้างอิงของสกุลปัญจชัน

ตัวอย่างลำดับนิวคลีโอไทด์ของชนิดพืชสกุลปัญจชัน (*Gynostemma* spp.) ที่มีการเก็บบันทึกไว้บนเว็บไซต์ของ NCBI (National Center for Biotechnology Information) นำมาใช้เป็นดีเอ็นเออ้างอิงของชนิดพืชในกลุ่มที่ศึกษา ประกอบด้วย สกุลปัญจชัน 2 สกุลย่อย ได้แก่ *Gynostemma* 12 ตัวอย่าง และ *Triostellum* 5 ตัวอย่าง รวม 17 ตัวอย่าง (Table 1) โดยคัดเลือกจากชนิดพืชที่มีจีโนมคลอโรพลาสต์สมบูรณ์ และคัดเลือกศึกษาเฉพาะลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณคลอโรพลาสต์ 4 ยีน ได้แก่ *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3*

พืชสกุล *Gynostemma* ที่คัดเลือกมาใช้เปรียบเทียบความสัมพันธ์ จำนวน 11 ชนิด จาก 17 ตัวอย่าง เป็นชนิดพืชที่มีการกระจายพันธุ์ทั้งในประเทศไทย และใกล้เคียงซึ่งมีสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศคล้ายคลึงกัน สกุล *Gynostemma* ที่คัดเลือกมาเหล่านี้จึงใช้เป็นตัวแทนที่ช่วยพิสูจน์ความเป็นชนิดเดียวกันกับปัญจชันที่ศึกษาใหม่นี้

#### 1.2 ตัวอย่างพืชนอกกลุ่มที่ศึกษา (Outgroup taxa)

ตัวอย่างลำดับนิวคลีโอไทด์ของสกุลพืชที่มีความใกล้ชิดกับสกุล *Gynostemma* Blume และจัดอยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae ที่มีการเก็บบันทึกไว้บนเว็บไซต์ของ GenBank, NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>) ใช้ตัวอย่างพืชนอกกลุ่มที่ศึกษา 6 ตัวอย่าง (Table 1) โดยคัดเลือกจากชนิดพืชที่มีจีโนมคลอโรพลาสต์สมบูรณ์ และคัดเลือกศึกษาเฉพาะลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณคลอโรพลาสต์ 4 ยีน ได้แก่ *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3*

**Table 1** The nucleotide sequences of the *accD*, *petD*, *psbB* and *ycf3* genes downloaded from the GenBank, NCBI

| Name                                                                               | GenBank accession no. | Tribe                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| <b>Ingroup taxa</b>                                                                |                       |                           |
| <b>Subgenus <i>Gynostemma</i> Blume</b>                                            |                       |                           |
| <i>Gynostemma 'burmanicum'</i>                                                     | MF152731              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma 'burmanicum'</i>                                                     | NC036141              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma caulopterum</i> S.Z.He                                               | NC036135              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma compressum</i> X.X.Chen & D.R.Liang                                  | NC037179              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma longipes</i> C.Y.Wu ex C.Y.Wu & S.K.Chen                             | MF152730              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma longipes</i> C.Y.Wu ex C.Y.Wu & S.K.Chen                             | NC036140              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma pentaphyllum</i> (Thunb.) Makino                                     | KT695603              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma pentaphyllum</i> (Thunb.) Makino                                     | KX014626              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma pentaphyllum</i> (Thunb.) Makino                                     | KX852298              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma pentaphyllum</i> (Thunb.) Makino                                     | NC029484              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma pubescens</i> (Gagnep.) C.Y.Wu                                       | MF152732              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma pubescens</i> (Gagnep.) C.Y.Wu                                       | NC036142              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <b>Subgenus <i>Trirostellum</i> (Z.P.Wang &amp; Q.Z.Xie) C.Y.Wu &amp; S.K.Chen</b> |                       |                           |
| <i>Gynostemma cardiospermum</i> Cogn. ex Oliv.                                     | NC035959              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma laxiflorum</i> C.Y.Wu & S.K.Chen                                     | NC036134              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma microspermum</i> C.Y.Wu & S.K.Chen                                   | MZ286581              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma pentagynum</i> Z.P.Wang                                              | NC036136              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Gynostemma yixingense</i> (C.P.Wang & Q.Z.Xie) C.Y.Wu & S.K.Chen                | NC053537              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <b>Outgroup taxa</b>                                                               |                       |                           |
| <i>Coccinia grandis</i> (L.) Voigt                                                 | KX147312              | Tribe <i>Benincaseae</i>  |
| <i>Cucumis sativus</i> L.                                                          | DQ865975              | Tribe <i>Benincaseae</i>  |
| <i>Gomphogyne cissiformis</i> Griff.                                               | MH256801              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Hemsleya zhejiangensis</i> C.Z.Zheng                                            | NC056163              | Tribe <i>Gomphogyneae</i> |
| <i>Momordica charantia</i> L.                                                      | MT727082              | Tribe <i>Momordiceae</i>  |
| <i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim.                                              | NC041088              | Tribe <i>Sicyoeae</i>     |

## 2. การศึกษาข้อมูลดีเอ็นเอที่จำเพาะ

2.1 การสกัดดีเอ็นเอ โดยนำชิ้นส่วนใบทั้ง 20 พันธุ์ มาสกัดดีเอ็นเอ โดยใช้ชุดสกัดดีเอ็นเอสำเร็จรูป PureLink Plant Total DNA Purification Kit (Thermo Fisher Scientific, USA) ตามกรรมวิธีของบริษัท แล้วตรวจสอบความเข้มข้นของดีเอ็นเอ

ของปฏิกิริยาที่สกัดได้ด้วยวิธีอิเล็กโตรโฟรีซิส (electrophoresis) ในเจลอะกาโรส 0.5% ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 100 โวลต์ นาน 15 นาที ในสารละลาย 0.5X TBE บันทึกภาพดีเอ็นเอภายใต้แสง UV โดยใช้เครื่อง Azure 200 (Azure Biosystems, Inc., USA) และเก็บรักษาดีเอ็นเอไว้ที่อุณหภูมิ -20°C.

2.2 การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ โดยนำตัวอย่างดีเอ็นเอจากข้อ 2.1 เป็นดีเอ็นเอต้นแบบในปฏิกิริยา ลูกโซ่พอลิเมอเรสเพื่อเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ ซึ่งในแต่ละปฏิกิริยา ประกอบด้วยดีเอ็นเอความเข้มข้น 100 ng ปริมาตร 1-1.25  $\mu$ L คู่มือไพรเมอร์บริเวณคลอโรพลาสต์ *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3* (รายละเอียดตาม Abid et al., 2019) ความเข้มข้น 10  $\mu$ M ข้างละ 2.5  $\mu$ L ชุดน้ำยา 2X Phire Plant Direct PCR Master Mix (Thermo Fisher Scientific, USA) ปริมาตร 25  $\mu$ L และเติมน้ำให้มีปริมาตรรวม 50  $\mu$ L โดยใช้สภาวะเริ่มต้นในขั้นตอนการแยกสายดีเอ็นเอเกลียวคู่ออกจากกัน (initial denaturation) ที่ 95 °ซ. เป็นเวลา 5 นาที แล้วเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอใน 3 ขั้นตอน จำนวน 25 รอบ ประกอบด้วย ขั้นตอนการแยกสายดีเอ็นเอเกลียวคู่ออกจากกัน (denaturation) ที่ 95 °ซ. เป็นเวลา 30 วินาที ขั้นตอนการจับของไพรเมอร์กับดีเอ็นเอแม่แบบ (annealing) ที่ 58 °ซ. เป็นเวลา 30 วินาที และขั้นตอนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่ต่อจากไพรเมอร์ (extension) ที่ 72 °ซ. เป็นเวลา 45 วินาที ตามด้วยขั้นตอนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่ต่อจากไพรเมอร์รอบสุดท้าย (final extension) ที่ 72 °ซ. เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำผลผลิตที่ได้จากการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยปฏิกิริยา ลูกโซ่พอลิเมอเรสไปตรวจสอบแถบดีเอ็นเอด้วยวิธีอิเล็กโตรโฟรีซิสในเจลอะกาโรส 1.5% ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 100 โวลต์ นาน 15 นาที ในสารละลาย 0.5X TBE บันทึกภาพดีเอ็นเอภายใต้แสง UV โดยใช้เครื่อง Azure 200 (Azure Biosystems, Inc., USA)

2.3 วิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ ด้วยวิธี BTSeq™ (Barcode-Tagged Seq) (Celeomics, Inc., Korea) ตามกรรมวิธีของบริษัท แล้วนำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้ไปตรวจสอบความปนเปื้อนด้วย BlastN (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) บนฐานข้อมูลของ NCBI เมื่อพบว่าลำดับนิวคลีโอไทด์

นั้น ๆ มีเปอร์เซ็นต์ความใกล้เคียงกับพืชกลุ่มปญจันธุ์สูง จึงนำมาตรวจสอบความถูกต้องของลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วย BioEdit 7 (Hall, 1999) และเก็บบันทึกลำดับนิวคลีโอไทด์ของปญจันธุ์ทั้ง 20 พันธุ์ไว้ในระบบฐานข้อมูลของ GenBank, NCBI ตามรูปแบบและขั้นตอนของระบบฐานข้อมูลที่กำหนดไว้

### 3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปญจันธุ์ด้วยข้อมูลดีเอ็นเอบริเวณ *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3*

3.1 นำลำดับนิวคลีโอไทด์ไปจัดเรียงตำแหน่งลำดับนิวคลีโอไทด์ เปรียบเทียบกับของแต่ละยีนร่วมกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของสกุล *Gynostemma* 17 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวอย่างพืชในกลุ่มที่ศึกษา และตัวอย่างพืชนอกกลุ่มที่ศึกษา (Table 1) โดยใช้ ClustalW (Thompson et al., 1994) ด้วยวิธี multiple alignment และตรวจสอบความถูกต้องของการจัดเรียงด้วยตาเปล่าอีกครั้ง

3.2 การสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการด้วยข้อมูลดีเอ็นเอ นำเมตริกซ์ (matrix) ของลำดับนิวคลีโอไทด์จำเพาะบริเวณ *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3* ที่ได้จัดเรียงเปรียบเทียบตำแหน่งแล้วไปสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (phylogenetic tree) ด้วยวิธี maximum likelihood (ML), maximum parsimony (MP) และ minimum evolution (ME) ใน MEGA 7 (Kumar et al., 2016) โดยการวิเคราะห์แต่ละยีน หากความสัมพันธ์ของแต่ละยีนไม่ขัดแย้งกัน จึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของลำดับนิวคลีโอไทด์ทั้ง 4 ยีนร่วมกัน โดยกำหนดค่า bootstrap test ที่ 1,000 replicates (Felsenstein, 1985) ประเมินค่า bootstrap percentages (BPs) ที่ 85-100% เป็นค่าสนับสนุนความเชื่อมั่นระดับสูง 75-84% ระดับปานกลาง 50-74% ระดับต่ำ และ <50% เป็นค่าที่ไม่สนับสนุนความเชื่อมั่น (Wurdack et al., 2005)

#### 4. การศึกษาข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ของปัญจชัน 20 พันธุ์ และปัญจชันอ้างอิง

พิจารณาความสัมพันธ์ของปัญจชันทั้ง 20 พันธุ์ เปรียบเทียบกับสกุลปัญจชันอ้างอิง เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ว่ามีการแสดงออกถึงความแตกต่าง ได้แก่ ระดับ species, variety หรือ forma หรือไม่มีความแตกต่าง โดยใช้ข้อมูลดีเอ็นเอร่วมกับข้อมูลสัณฐานวิทยาในการพิจารณาเพื่อระบุชื่อวิทยาศาสตร์ที่ชัดเจนของปัญจชัน

#### ผลการทดลองและวิจารณ์

##### 1. ความสัมพันธ์ของปัญจชันด้วยข้อมูลดีเอ็นเอบริเวณ *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3*

ผลการศึกษาดีเอ็นเอบริเวณจำเพาะของยีน *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3* พบว่า มีความจำเพาะสูงกับปัญจชันที่ศึกษาใหม่นี้ โดยมีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของยีนทั้ง 4 ยีน ได้ทั้ง 20 พันธุ์ หรือ 100% และได้เก็บบันทึกไว้บนฐานข้อมูลของ GenBank, NCBI (Table 2)

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการด้วยข้อมูลดีเอ็นเอของยีน *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3* ของปัญจชันด้วยวิธี MP ML และ ME (Table 3) พบว่า เมื่อจัดเรียงลำดับเบสของชุดข้อมูลที่แยกวิเคราะห์แล้ว ยีน *petD* มีความยาวสูงสุด คือ 807 คู่เบส รองลงมา คือ *psbB* *accD* และ *ycf3* เป็น 608 454 และ 268 คู่เบสตามลำดับ แต่มีตำแหน่งนิวคลีโอไทด์ที่ให้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ไม่สอดคล้องกับลำดับความยาวของข้อมูลเรียงตามลำดับ ดังนี้ *petD* *ycf3* *psbB* และ *accD* มี 50 24 23 และ 15 คู่เบสแสดงให้เห็นว่า ตำแหน่งนิวคลีโอไทด์ที่ให้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความยาวของลำดับนิวคลีโอไทด์ และชุดข้อมูลที่วิเคราะห์ร่วมกันของทั้ง 4 ยีน ซึ่งมีความยาวของการจัดเรียง 2,137

คู่เบส แสดงตำแหน่งนิวคลีโอไทด์ที่ให้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ของชุดข้อมูลแยกรวมกันเป็น 112 คู่เบส ซึ่งข้อมูลนี้จะส่งผลต่อรูปร่างและค่าสนับสนุนความเชื่อมั่นบนแผนภูมิความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของตัวอย่างที่ศึกษา

แผนภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 3 กรรมวิธีสอดคล้องกัน ผลการวิเคราะห์ด้วยข้อมูลดีเอ็นเอของยีน *accD* และ *ycf3* แสดงความสัมพันธ์ในการจัดกลุ่มของชนิดพืชในสกุลปัญจชัน (*Gynostemma* clade) ไว้ด้วยกัน แต่ไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ที่มีค่าสนับสนุนความเชื่อมั่นของกลุ่มพันธุ์ปัญจชันกับสกุลปัญจชันอ้างอิงได้ในขณะที่ข้อมูลดีเอ็นเอของยีน *petD* และ *psbB* สามารถจัดกลุ่มที่มีค่าสนับสนุนความเชื่อมั่นของชนิดปัญจชันในระดับ subgenus *Gynostemma* ได้ และยังแสดงความสัมพันธ์ใกล้ชิดของกลุ่มพันธุ์ปัญจชันกับสกุลปัญจชันอ้างอิงได้อีกด้วย ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความยาวนิวคลีโอไทด์และตำแหน่งนิวคลีโอไทด์ พบว่า มีความสอดคล้องกับการแสดงผลความสัมพันธ์ของตัวอย่างบนแผนภูมิกล่าวคือ เมื่อตัวแปรดังกล่าวข้างต้นมีค่าสูง จะแสดงความสัมพันธ์ของตัวอย่างที่ศึกษาบนแผนภูมิได้ชัดเจนขึ้น ในการอธิบายความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของปัญจชัน จึงเลือกใช้แผนภูมิการวิเคราะห์ด้วยข้อมูลดีเอ็นเอรวมของยีนทั้ง 4 ยีน (Figure 1) เพื่อยืนยันให้เห็นความสัมพันธ์ใกล้ชิดของปัญจชันที่ศึกษาทั้ง 20 พันธุ์ กับสกุลปัญจชันอ้างอิง ซึ่งเป็นสมาชิกใน subgenus *Gynostemma*

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการด้วยข้อมูลดีเอ็นเอรวมของยีน *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3* แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกันของสกุล *Gynostemma* และปัญจชันที่ศึกษาทั้ง 20 พันธุ์ ซึ่งรวมกลุ่มอยู่ด้วยกันด้วยค่าสนับสนุนความเชื่อมั่นสูง (Clade A) (Figure 1) โดยพบว่า ทั้ง 20 พันธุ์นี้จัดกลุ่ม

**Table 2** Voucher specimens of native Panchakhan varieties and hybrids deposited at Bangkok Herbarium (BK) and the new nucleotide sequences generated in the present study

| Name                    | Collector no.              | BK no.    | GenBank accession no. |             |             |             |
|-------------------------|----------------------------|-----------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
|                         |                            |           | <i>accD</i>           | <i>petD</i> | <i>psbB</i> | <i>ycf3</i> |
| 'Jiaogulan Chiangrai 1' | Pruesapan et al. KP2020-1  | BK 071525 | OQ093516              | OQ093536    | OQ093556    | OQ093576    |
| 'Jiaogulan Chiangrai 2' | Pruesapan et al. KP2020-2  | BK 071526 | OQ093517              | OQ093537    | OQ093557    | OQ093577    |
| Isolate Chiangrai 1-7   | Pruesapan et al. KP2020-3  | BK 071527 | OQ093518              | OQ093538    | OQ093558    | OQ093578    |
| Isolate Chiangrai 1-9   | Pruesapan et al. KP2020-4  | BK 071528 | OQ093519              | OQ093539    | OQ093559    | OQ093579    |
| Isolate Chiangrai 1-11  | Pruesapan et al. KP2020-5  | BK 071529 | OQ093520              | OQ093540    | OQ093560    | OQ093580    |
| Isolate Chiangrai 1-13  | Pruesapan et al. KP2020-6  | BK 071530 | OQ093521              | OQ093541    | OQ093561    | OQ093581    |
| Isolate Chiangrai 1-19  | Pruesapan et al. KP2020-7  | BK 071531 | OQ093522              | OQ093542    | OQ093562    | OQ093582    |
| Isolate Chiangrai 2-10  | Pruesapan et al. KP2020-8  | BK 071532 | OQ093523              | OQ093543    | OQ093563    | OQ093583    |
| Isolate Chinese-Local   | Pruesapan et al. KP2020-9  | BK 071533 | OQ093524              | OQ093544    | OQ093564    | OQ093584    |
| Ecotype Sibsongpanna    | Pruesapan et al. KP2020-10 | BK 071534 | OQ093525              | OQ093545    | OQ093565    | OQ093585    |
| Ecotype Angkhang        | Pruesapan et al. KP2020-11 | BK 071534 | OQ093526              | OQ093546    | OQ093566    | OQ093586    |
| Ecotype Sankampaeng     | Pruesapan et al. KP2020-12 | BK 071536 | OQ093527              | OQ093547    | OQ093567    | OQ093587    |
| Ecotype Doitung 1       | Pruesapan et al. KP2020-13 | BK 071537 | OQ093528              | OQ093548    | OQ093568    | OQ093588    |
| Ecotype Doitung 2       | Pruesapan et al. KP2020-14 | BK 071538 | OQ093529              | OQ093549    | OQ093569    | OQ093589    |
| Ecotype Wiangkaen 1     | Pruesapan et al. KP2020-15 | BK 071539 | OQ093530              | OQ093550    | OQ093570    | OQ093590    |
| Ecotype Wiangkaen 2     | Pruesapan et al. KP2020-16 | BK 071540 | OQ093531              | OQ093551    | OQ093571    | OQ093591    |
| Ecotype Wawi 2          | Pruesapan et al. KP2020-17 | BK 071541 | OQ093532              | OQ093552    | OQ093572    | OQ093592    |
| Ecotype Wawi 4          | Pruesapan et al. KP2020-18 | BK 071542 | OQ093533              | OQ093553    | OQ093573    | OQ093593    |
| Ecotype Chiangkhong     | Pruesapan et al. KP2020-19 | BK 071543 | OQ093534              | OQ093554    | OQ093574    | OQ093594    |
| Ecotype Phrae 1         | Pruesapan et al. KP2020-20 | BK 071544 | OQ093535              | OQ093555    | OQ093575    | OQ093595    |

**Table 3** Nucleotide data of *accD*, *petD*, *psbB* and *ycf3* genes used for maximum likelihood, maximum parsimony and minimum evolution analyses

| Characteristics/Gene               | <i>accD</i> | <i>petD</i> | <i>psbB</i> | <i>ycf3</i> | Combined data  |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| No. of taxa                        | 43          | 43          | 43          | 43          | 43             |
| No. of accessions (ingroups)       | 37          | 37          | 37          | 37          | 37             |
| Length of sequences (bp)           | 439-454     | 772-794     | 608         | 242-261     | Not determined |
| Length of alignment (bp)           | 454         | 807         | 608         | 268         | 2137           |
| No. of variable characters         | 46          | 96          | 47          | 38          | 226            |
| No. of potential informative sites | 15          | 50          | 23          | 24          | 112            |

อยู่ด้วยกันด้วยค่าสนับสนุนความเชื่อมั่นสูง (Clade A) (Figure 1) โดยพบว่า ทั้ง 20 พันธุ์นี้จัดกลุ่มอยู่ กับปญจพันธ์อ้างอิง *G. burmanicum* 2 ตัวอย่าง *G. pubescens* 2 ตัวอย่าง *G. longipes* 2 ตัวอย่าง และ *G. pentaphyllum* 4 ตัวอย่าง โดยรวมกลุ่มอยู่

ด้วยกันด้วยค่าสนับสนุนความเชื่อมั่นสูง (Clade B) โดยภายใต้ Clade B พบปญจพันธ์ทั้ง 20 พันธุ์ แสดง ความใกล้ชิดกับปญจพันธ์อ้างอิงแยกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ พันธุ์สันกำแพง และเชียงราย 2 จัดกลุ่มอยู่ ร่วมกับปญจพันธ์อ้างอิง *G. longipes* 2 ตัวอย่าง และ

*G. pentaphyllum* 4 ตัวอย่าง ด้วยค่าสนับสนุนความเชื่อมั่นต่ำ (Clade C) ส่วนปญจชันธุ์อื่น ๆ อีก 18 พันธุ์ จัดกลุ่มอยู่ร่วมกับปญจชันธุ์อ้างอิง *G. burmanicum* 2 ตัวอย่าง และ *G. pubescens* 2 ตัวอย่าง ด้วยค่าสนับสนุนความเชื่อมั่นสูงใน MP และ ME และต่ำใน ML (Clade D) แต่ปญจชันธุ์อ้างอิงทั้ง 4 ตัวอย่าง กลับจัดกลุ่มแยกออกมาด้วยค่าสนับสนุนความเชื่อมั่นต่ำใน MP และ ML และสูงใน ME อีกทั้งยังจัดค้ำยืนยันความใกล้ชิดของ *G. burmanicum* ทั้ง 2 ตัวอย่าง และของ *G. pubescens* ทั้ง 2 ตัวอย่าง ด้วยค่าสนับสนุนความเชื่อมั่นสูง และต่ำ ตามลำดับ ในขณะที่ปญจชันธุ์อีก 18 พันธุ์ ไม่แสดงความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการที่สามารถแยกแยะให้ชัดเจนได้ (polytomy)

## 2. การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ด้วยข้อมูลดีเอ็นเอ

### 2.1 ความสัมพันธ์ในระดับสกุลย่อยของ *Gynostemma* spp.

ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของพืชสกุล *Gynostemma* (Figure 1) แสดงให้เห็นความสอดคล้องของการจำแนกกลุ่มชนิดของ *Gynostemma* ด้วยลักษณะประเภทของผล (De Wilde and Duyfjes, 2007) พบว่า *G. microspermum*, *G. laxiflorum* และ *G. yixingense* แยกตัวอยู่ใกล้ชิดกันที่ฐานของแผนภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับการจัดจำแนกทางอนุกรมวิธาน ที่จำแนก 3 ชนิดนี้ไว้ในสกุลย่อย *Trirostellum* ด้วยลักษณะของผลแบบผลแห้งแตก (Chen, 1995) ขณะที่ *G. pentagynum* สมาชิกอีกชนิดของสกุลย่อยนี้ จับกลุ่มอยู่กับ *G. caulopterum* และ *G. compressum* ซึ่งเป็นสมาชิกของสกุลย่อย *Gynostemma* ที่มีผลแบบผลแห้งมีเนื้อหลายเมล็ด (Figure 2C-D) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Zhang et al. (2017) และ Wang et al. (2020) แต่พืชชนิดนี้จำแนกไว้ต่างหากในสกุลย่อย *Trirostellum* หมู่

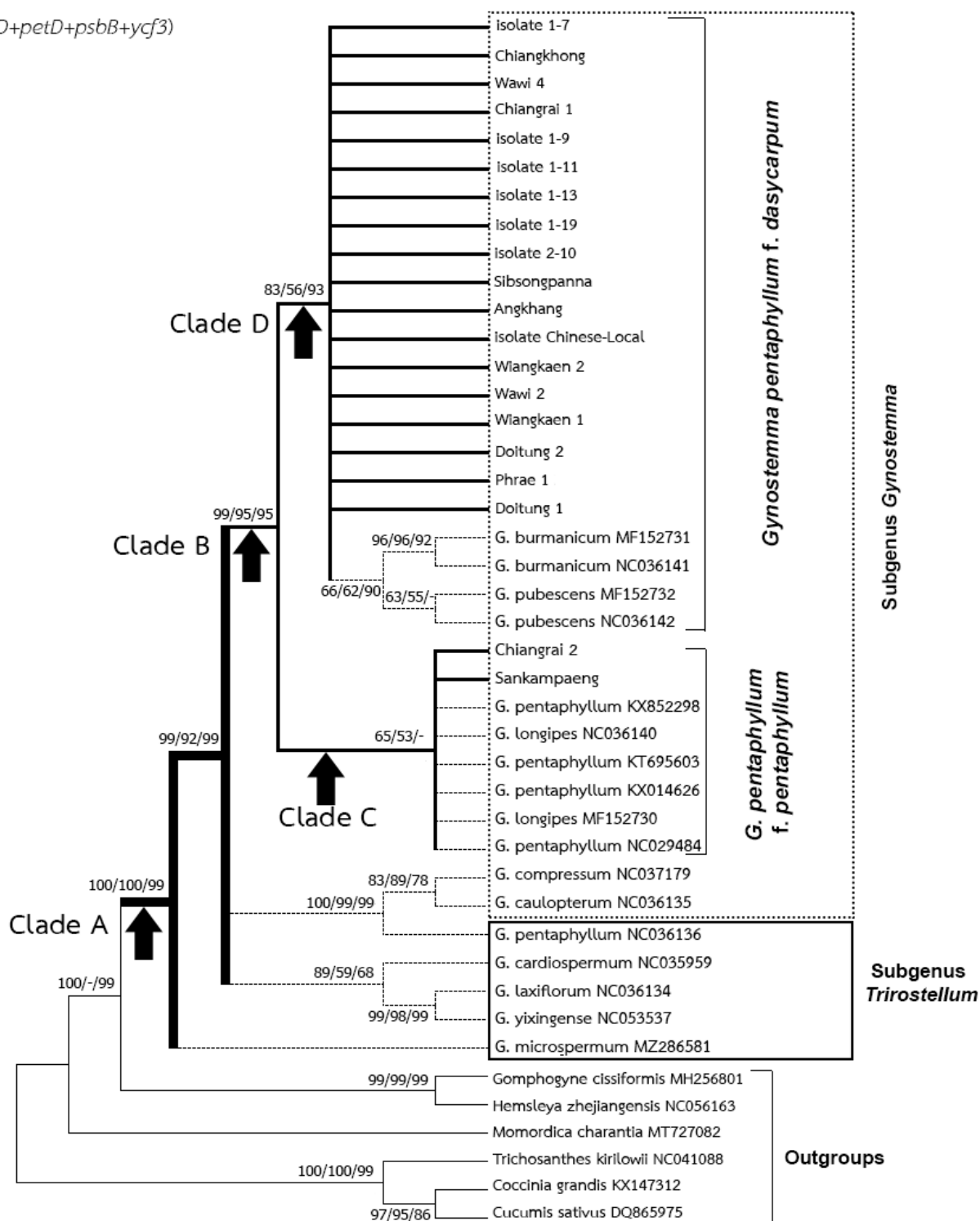
*Pentastylus* ด้วยลักษณะเด่นของการมีก้านชูเกสรเพศเมีย 5 อัน และมียอดเกสรเพศเมีย 2 แฉก (Chen, 1995) ซึ่งการมียอดเกสรเพศเมีย 2 แฉก (Figure 2A-B) มีความคล้ายคลึงกับชนิดพืชในสกุลย่อย *Gynostemma* จึงอาจเป็นสาเหตุของการจับกลุ่มแสดงความใกล้ชิดกับชนิดพืชที่อยู่ต่างกลุ่มนี้ ส่วนสมาชิกอื่นของสกุลย่อย *Gynostemma* แสดงความใกล้ชิดกับปญจชันธุ์ที่ศึกษาใหม่ทั้ง 20 พันธุ์ (Clade B) ซึ่งพิสูจน์ให้เห็นว่าพืชที่มีผลแบบผลแห้งมีเนื้อหลายเมล็ดนี้ (Figure 2C-D) แสดงความใกล้ชิดทางพันธุกรรมสอดคล้องกับข้อมูลหลักฐานวิทยา และยืนยันการจำแนกกลุ่มปญจชันธุ์ทั้ง 20 พันธุ์นี้ อยู่ในสกุลย่อย *Gynostemma*

### 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ของปญจชันธุ์ 20 พันธุ์

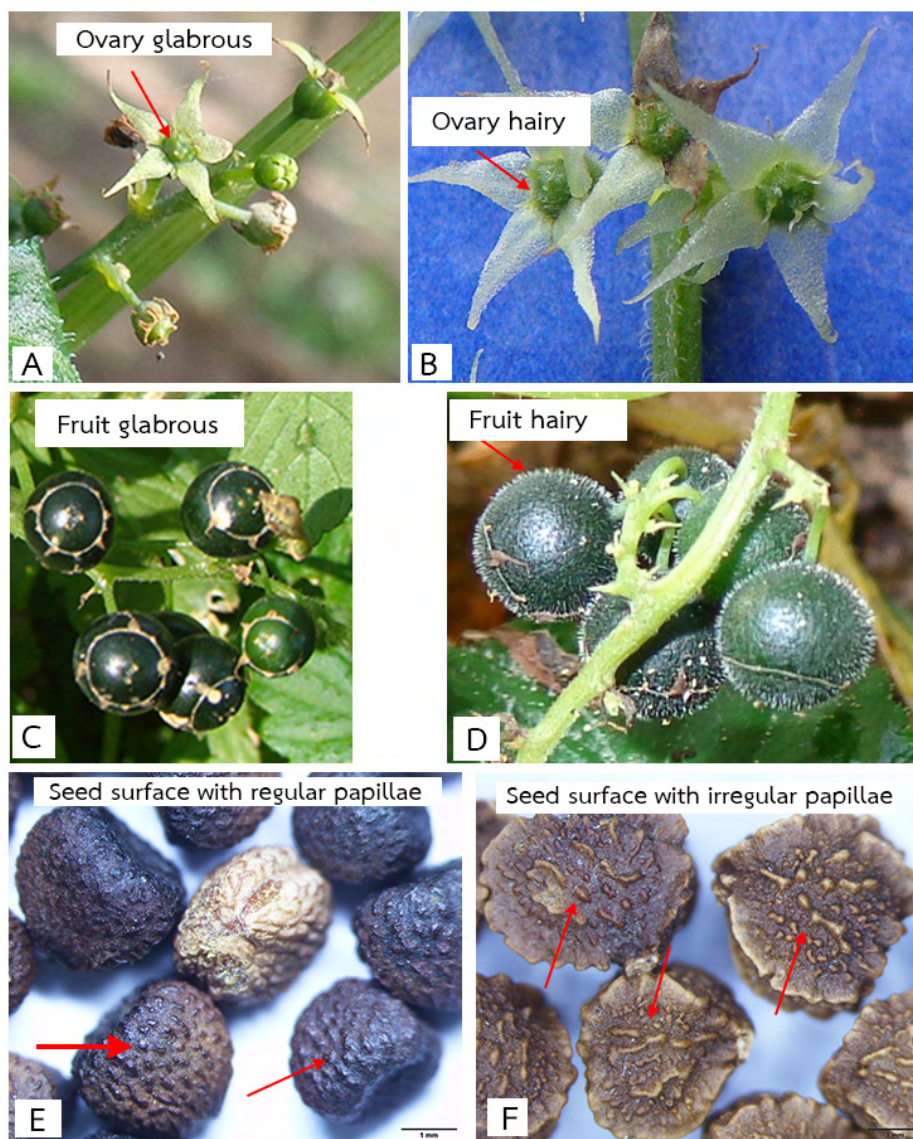
เมื่อพิจารณาความใกล้ชิดกันด้วยข้อมูลดีเอ็นเอจาก Figure 1 พบว่า ใน Clade B ปญจชันธุ์อ้างอิงแบ่งเป็น 2 กลุ่ม อยู่ทั้งใน Clade C และ Clade D เช่นเดียวกับปญจชันธุ์ที่ศึกษาใหม่ทั้ง 20 พันธุ์

ภายใน Clade C แสดงให้เห็นว่าพันธุ์สันกำแพง และเชียงราย 2 มีความใกล้ชิดกับปญจชันธุ์อ้างอิง *G. longipes* และ *G. pentaphyllum* มากกว่าพันธุ์อื่น ๆ เมื่อตรวจสอบประวัติพันธุ์ พบว่า พันธุ์เชียงราย 2 เป็นลูกผสมจากแม่พันธุ์สันกำแพง กับพ่อพันธุ์สิบสองปันนา เนื่องจาก ยีน *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3* เป็นยีนบริเวณคลอโรพลาสต์ ซึ่งแสดงลักษณะดีเอ็นเอของแม่ เมื่อพิจารณาลักษณะทางสัณฐานวิทยาประกอบความใกล้ชิดกับปญจชันธุ์อ้างอิง *G. longipes* และ *G. pentaphyllum* ตามการจำแนกพรรณพฤกษชาติของเขตประเทศจีน (Chen et al., 2011) พบว่า พันธุ์สันกำแพงมีลักษณะรังไข่และผลเกลี้ยง (Figure 2A, C) และมีเมล็ดทรงกลมเป็นรูปไข่ ผิวเมล็ดเป็นตุ่มรูปร่างค่อนข้างสามเหลี่ยม (Figure 2E)

Combined datasets  
(*accD*+*petD*+*psbB*+*ycf3*)



**Figure 1** Maximum parsimony cladogram of *Gynostemma* spp. based on the combined chloroplast DNA of *accD*, *petD*, *psbB* and *ycf3*. The value indicated for branches are bootstrap percentages (BPs) of maximum parsimony, maximum likelihood and minimum evolution, respectively



**Figure 2** *Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino; ovary (A-B); fruits (C-D); seeds spherical, ovate shape with regular papillae on surfaces (E); seeds flat, subtriangular to hearth shape with irregular papillae on surfaces (F)

คล้ายกับ *G. pentaphyllum* var. *pentaphyllum* แต่มีขนปกคลุมทั้งแผ่นใบด้านบนและด้านล่าง ในขณะที่พันธุ์สันกำแพงมีขนปกคลุมแผ่นใบด้านบน แต่แผ่นใบด้านล่างเกลี้ยง มีขนปกคลุมเฉพาะส่วนของเส้นใบเท่านั้น เช่นเดียวกับพันธุ์เชียงใหม่ 2 โดย Chen et al. (2011) ได้รวบรวม *G. pubescens* ไว้ภายใต้ *G. pentaphyllum* var. *pentaphyllum* แต่คำอธิบายไม่ชัดเจนเพียงพอและมีความคาบเกี่ยว

กับปัญจชันชานิอื่น สำหรับลักษณะทางสัณฐานของ *G. longipes* นั้น แผ่นใบด้านล่างไม่มีขนปกคลุม และ รังไข่/ผลมีผิวเกลี้ยง คล้ายพันธุ์สันกำแพง แต่รูปร่าง เมล็ดแตกต่าง แต่ Jeffrey หนึ่งในผู้เขียนมีความเห็น ต่างว่า *G. longipes* ควรถูกยุบเป็นชื่อพ้องของ *G. pentaphyllum* var. *pentaphyllum* ซึ่งเมื่อ เปรียบเทียบกับการจำแนก *Gynostemma* ของเขต ประเทศไทยและภูมิภาคมาเลเซียแล้ว พบว่า พันธุ์

สันกำแพงมีลักษณะใกล้เคียงกับ *G. pentaphyllum* f. *pentaphyllum* (De Wilde and Duyfjes, 2007; 2008; 2010)

ภายใน Clade D ปัญจพันธ์ที่ศึกษาใหม่ที่เหลือจับกลุ่มกับปัญจพันธ์อ้างอิง *G. burmanicum* และ *G. pubescens* แต่ปัญจพันธ์อ้างอิงทั้งสองชนิดกลับแยกมาจับกลุ่มกัน เมื่อพิจารณาการจำแนก *Gynostemma* ของเขตพรรณพฤกษชาติประเทศจีนพบว่า *G. pubescens* ยุบเป็นชื่อพ้องของ *G. pentaphyllum* var. *pentaphyllum* ซึ่งทั้ง *G. burmanicum* และ *G. pentaphyllum* var. *pentaphyllum* มีลักษณะเด่นที่มีขนปกคลุมแผ่นใบทั้งสองด้าน และรังไข่/ผลมีผิวเกลี้ยง สำหรับปัญจพันธ์ที่ศึกษาใหม่นี้ทั้ง 18 พันธุ์พบว่า มีขนปกคลุมเฉพาะแผ่นใบด้านบน ส่วนด้านล่างมีขนปกคลุมเฉพาะเส้นใบเท่านั้น นอกจากนี้ เวียงแก่น อ่างาง สิบสองปันนา และเชียงราย1 แสดงลักษณะของรังไข่/ผลมีขนนุ่มปกคลุม (Figure 2B, D) แสดงให้เห็นว่า ทั้ง 18 พันธุ์ ไม่ใช่ *G. burmanicum* หรือ *G. pentaphyllum* var. *pentaphyllum* แต่แสดงลักษณะทางสัณฐานที่คล้ายคลึงกับ *G. pentaphyllum* var. *dasycarpum* ตามการจำแนกพรรณพฤกษชาติของเขตประเทศจีน และคล้ายคลึงกับ *G. pentaphyllum* f. *dasycarpum* ตามการจำแนกพรรณพฤกษชาติของเขตประเทศไทยและภูมิภาคมาเลเซีย (De Wilde and Duyfjes, 2007; 2008, 2010) ด้วยลักษณะของผลที่มีขนปกคลุม (Figure 2D) แต่ไม่มีข้อมูลดีเอ็นเอของปัญจพันธ์อ้างอิงของ var./f. *dasycarpum* มาช่วยยืนยันบน Clade D พบความสัมพันธ์ของเมล็ดทรงแบนค่อนข้างรูปสามเหลี่ยมไปจนถึงรูปหัวใจ ผิวเมล็ดมีตุ่มรูปร่างไม่สม่ำเสมอ (Figure 2F) ของพันธุ์อ่างาง ดอยตุง1 สิบสองปันนา เชียงราย1 และสายพันธุ์1-7 สำหรับพันธุ์เชียงของ แพร่1 วาวี2 และวาวี4 แม้ไม่มีรังไข่/ผล และเมล็ดในการศึกษา แต่ข้อมูลดีเอ็นเอแสดงว่ามีความใกล้ชิดกับพันธุ์อื่น ๆ โดยเฉพาะพันธุ์ลูกผสม

ทั้ง 7 สายพันธุ์ ที่แสดงลักษณะดีเอ็นเอของแม่หรือพันธุ์สิบสองปันนา ดังเห็นได้จากพันธุ์ตัวแทนที่มีพ่อแม่เดียวกัน คือ พันธุ์เชียงราย1 และสายพันธุ์1-7 ที่แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาาร่วมของรังไข่/ผล และเมล็ดกับปัญจพันธ์พันธุ์สิบสองปันนาดังกล่าวมาข้างต้น

การแสดงตำแหน่งบนแผนภูมิความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของ *G. burmanicum* *G. longipes* *G. pentaphyllum* และ *G. pubescens* ในงานวิจัยนี้ ยืนยันความใกล้ชิดทางพันธุกรรมกับปัญจพันธ์ทั้ง 20 พันธุ์ แต่เมื่อพิจารณารายงานวิจัยข้อมูลดีเอ็นเอที่สมบูรณ์ทั้งจีโนมคลอโรพลาสต์ของพืชสกุล *Gynostemma* (Zhang et al., 2017; Wang et al., 2020) พบว่า ทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างทางพันธุกรรมในระดับชนิดอย่างชัดเจน และยืนยันความใกล้ชิดกันของ *G. burmanicum* กับ *G. pubescens* และ *G. longipes* กับ *G. pentaphyllum* ซึ่งสอดคล้องกัน โดยลำดับดีเอ็นเอของจีโนมของพืชสกุล *Gynostemma* ที่สมบูรณ์นี้ยืนยันความต่างชนิดกันของ *G. burmanicum* *G. longipes* และ *G. pubescens* และ *G. pentaphyllum* ผลการศึกษาความใกล้ชิดกันของพืชสกุล *Gynostemma* ด้วยข้อมูลโมเลกุลจึงเห็นแย้งกับการยุบรวมชื่อชนิดของ *G. burmanicum* *G. longipes* และ *G. pubescens* ไว้ภายใต้ *G. pentaphyllum* ตามความเห็นของนักพฤกษอนุกรมวิธานด้วยข้อมูลทางสัณฐานวิทยาเพียงอย่างเดียว (ความเห็นของ C. Jeffrey ใน De Wilde and Duyfjes, 2007; 2008; 2010; Chen et al., 2011) แต่เห็นด้วยกับการยกชื่อเหล่านี้เป็นระดับชนิด (Wu and Chen, 1983; Chen, 1995; Chen et al., 2011) ซึ่งต้องรอพิสูจน์ด้วยข้อมูลดีเอ็นเอตามที่ Zhang et al. (2017) ได้วางแผนจะเพิ่มเติมการศึกษาข้อมูลดีเอ็นเอที่สมบูรณ์ทั้งจีโนมคลอโรพลาสต์ของพืชสกุล *Gynostemma* ให้ครบถ้วนในอนาคต

## 2.3 การระบุชื่อวิทยาศาสตร์

เมื่อพิจารณาการศึกษาวิจัยของ Suntaranond et al. (2008) เกี่ยวกับความผันแปรทางพันธุกรรมด้วยเครื่องหมายโมเลกุล ISSR และ RAPD ของปัญญาชนพันธุ์สิบสองปันนาที่นำมาปลูกในประเทศไทย พบว่า มีความผันแปรทางพันธุกรรมในระดับดีเอ็นเอภายในพันธุ์สูงมาก และความผันแปรเหล่านี้ส่งผลต่อปริมาณสารซาโปนินที่พบด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาในกลุ่มประชากรพันธุ์ป่าของ *G. pentaphyllum* จำนวน 72 กลุ่มในประเทศจีน พบว่า มีความหลากหลายทางพันธุกรรมในระดับต่ำ แต่มีความผันแปรในระดับสูงในหมู่ประชากร เนื่องจากการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศที่แพร่หลาย การเบี่ยงเบนทางพันธุกรรม และการแยกที่อยู่อาศัยในระยะยาว (Zhang et al., 2019) ซึ่งด้วยความผันแปรที่สูงเช่นนี้ อาจนำไปสู่การแปลผลการวิเคราะห์ว่ามีความแตกต่างในระดับชนิดดังที่กล่าวมาข้างต้นก็เป็นไปได้ ซึ่งเมื่ออาศัยทฤษฎีนี้ในการวิเคราะห์ผล อีกทั้งความคาบเกี่ยวทางสัณฐานวิทยาของพืชในกลุ่มที่ไม่สามารถบ่งชี้การจำแนกในระดับชนิดได้ ผลการวิจัยนี้จึงสนับสนุนการยุบรวม *Gynostemma* ทั้ง 4 ชนิดข้างต้น ลงเป็นระดับ *forma* อยู่ภายใต้ *G. pentaphyllum* ตามทฤษฎีการจำแนกพืชในเขตประเทศไทยและเขตภูมิภาคมาเลเซีย โดยสามารถสรุปได้ในเบื้องต้นว่า ปัญญาชนพันธุ์พื้นเมืองที่กรมวิชาการเกษตรเก็บรวบรวมไว้มีความหลากหลายจำแนกได้เป็น 2 *forma* (f.) ดังนี้

1) *Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino) f. *pentaphyllum* คือ พันธุ์สันกำแพง และมีการรวมกลุ่มแสดงความใกล้ชิดตามพันธุ์แม่ของพันธุ์เชียงราย2

2) *Gynostemma pentaphyllum* f. *dasycarpum* (C.Y.Wu) W.J.De Wild. & Duyfjes ประกอบด้วย 9 พันธุ์ คือ พันธุ์ดอยตุง1 ดอยตุง2 เชียงของ แพร่1 วาวี2 วาวี4 เวียงแก่น1 เวียงแก่น

2 และอ่างช้าง และมีการรวมกลุ่มแสดงความใกล้ชิดตามลักษณะพันธุกรรมร่วมของพันธุ์แม่สิบสองปันนา กับพันธุ์เชียงราย1 สายพันธุ์1-7 1-9 1-11 1-13 1-19 2-10 และสายพันธุ์จีน-พื้นเมือง

ข้อมูลดีเอ็นเอที่ได้จากยีน *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3* ของปัญญาชนทั้ง 20 พันธุ์ ที่ศึกษานี้ มีความสอดคล้องกับพืชสกุล *Gynostemma* ที่กระจายพันธุ์อยู่ในคาบสมุทรเกาหลี (Abid et al., 2019) ขนาดความยาวของลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นต้นแบบในการคัดเลือกดีเอ็นเอบาร์โค้ด เพื่อใช้ในการตรวจสอบพันธุ์ของปัญญาชนได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในการระบุชนิดสมุนไพรอื่น ๆ ได้อย่างไรก็ตาม การจำแนกความแตกต่างของพืชสมุนไพรที่มีความใกล้ชิดกันมากอาจเป็นเรื่องยาก ซึ่งสามารถใช้เครื่องหมายลำดับดีเอ็นเออื่น ๆ เข้ามาช่วยเสริม (Wang et al., 2001) หรือศึกษาปัญญาชนทั้งจีโนม (Gan et al., 2023) ช่วยอำนวยความสะดวกในการระบุชนิดสมุนไพร และตรวจสอบการปลอมปนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Li et al., 2011) เพื่อนำพันธุ์ปัญญาชนที่เหมาะสมไปพัฒนาปรับปรุงพันธุ์ให้มีคุณสมบัติตามที่ภาคการเกษตรและภาคเศรษฐกิจต้องการ เช่น การศึกษายีนที่ให้รสหวานของปัญญาชนเพิ่มขึ้น หรือยีนที่ส่งเสริมการสร้างสารซาโปนินให้มีปริมาณสูงขึ้น เป็นต้น

## สรุปผลการทดลอง

ข้อมูลดีเอ็นเอบริเวณคลอโรพลาสต์ของยีน *accD* *petD* *psbB* และ *ycf3* มีประสิทธิภาพในการแบ่งกลุ่มพันธุ์ของปัญญาชนพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ลูกผสมของไทยได้ และมีความสอดคล้องกับข้อมูลสัณฐานวิทยา สามารถระบุชื่อของปัญญาชนพันธุ์พื้นเมืองได้ในระดับ *forma* (f.) ได้แก่ *Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino) f. *pentaphyllum*

และ f. *dasycarpum* (C.Y.Wu) W.J. De Wild. & Duyfjes โดยมีพันธุ์ลูกผสมอยู่รวมกลุ่มภายใต้แต่ละ forma ตามพันธุ์แม่ เก็บบันทึกข้อมูลดีเอ็นเอใหม่ของ พันธุ์ปญจันธุ์ไว้บนระบบออนไลน์สากล (NCBI) เพื่อใช้ ประโยชน์ในการตรวจสอบยืนยันความเป็นเจ้าของ พันธุ์กรรมพืช และใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์พืช สมุนไพรปญจันธุ์ได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็ว เป็นประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพสมุนไพรและ ผลิตภัณฑ์จากสมุนไพร อีกทั้งยังสามารถนำงานวิจัยไป ต่อยอดในการคัดเลือกพันธุ์ปญจันธุ์จากข้อมูล ที่ศึกษาไว้ได้

### คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากมูลนิธิ งบประมาณ พ.ศ. 2563-2564 จากกองทุนส่งเสริม วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

### เอกสารอ้างอิง

ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย. 2562ก. ปญจันธุ์ลูกผสมสายพันธุ์ เชียงราย 2-20. ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย สถาบันวิจัย พืชสวน กรมวิชาการเกษตร. 22 หน้า.

ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย. 2562ข. ปญจันธุ์ลูกผสมสายพันธุ์ เชียงราย 7 ใบ. ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย สถาบันวิจัย พืชสวน กรมวิชาการเกษตร. 21 หน้า.

ศศิธร วรปิตังสี วีระ วรปิตังสี จริญญา ดิษฐไชยวงศ์ และ แสงมณี ชิงดวง. 2556. การทดสอบปญจันธุ์ใน แหล่งปลูกเพื่อการค้า. รายงานผลงานเรื่องเต็มการ ทดลองที่สิ้นสุด ปี 2556. ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวง เกษตรและสหกรณ์.

Abid, S., P. Mohanan, L. Kaliraj, J.K. Park, J.C. Ahn and D.C. Yang. 2019. Development of species-specific chloroplast markers for the authentication of *Gynostemma pentaphyllum* and their distribution in the Korean peninsula. *Fitoterapia*. 138: 104295.

Chen, S.K. 1995. A classificatory system and geographical distribution of the genus *Gynostemma* Bl. (Cucurbitaceae). *Acta Phytotaxonomica Sinica*. 33(4): 403-410.

Chen, S.K., A. Lu and C. Jeffrey. 2011. *Gynostemma* Blume. pp. 11-15. In: *Flora of China* Vol. 19 (Cucurbitaceae through Valerianaceae, with Annonaceae and Berberidaceae). Science Press, Beijing and Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.

De Wilde, W.J.J.O. and B.E.E. Duyfjes. 2007. *Gynostemma* (Cucurbitaceae) in Thailand and Malesia. *Blumea*. 52(2): 263-280.

De Wilde, W.J.J.O. and B.E.E. Duyfjes. 2008. *Gynostemma*. pp. 447-454. In: *Flora of Thailand* Vol. 9 Part 4, Cucurbitaceae. The Forest Herbarium, National Park, Wildlife and Plant Conservation Department, Bangkok.

De Wilde, W.J.J.O. and B.E.E. Duyfjes. 2010. Cucurbitaceae. pp. 78-86. In: *Flora of Malesiana*, Series I-Seed Plants vol. 19, H.P. Nooteboom (ed.). Netherlands Centre for Biodiversity Naturalis, Leiden.

Felsenstein, J. 1985. Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. *Evolution*. 39(4): 783-791.

Gan, J., Y. Li, D. Tang, B. Guo, D. Li, F. Cao, C. Sun, L. Yu and Z. Yan. 2023. The complete chloroplast genomes of *Gynostemma* reveal the phylogenetic relationships of species within the genus. *Genes*. 14(4): 929.

Hall, T.A. 1999. BioEdit: A user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*. 41(41): 95-98.

Kumar, S., G. Stecher and K. Tamura. 2016. MEGA7: Molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution*. 33: 1870-1874.

- Li, M., H. Cao, P.P.H. But and P.C. Shaw. 2011. Identification of herbal medicinal materials using DNA barcodes. *Journal of Systematics and Evolution*. 49(3): 271–283.
- Suntaranond, S., S. Srijakval and J. Ditchaiwong. 2008. Genetic variation of Jiaogulan (*Gynostemma pentaphyllum*) cultivar ‘Sibsongpunna 1’ revealed by RAPD and ISSR markers. *Acta Horticulturae*. 786: 279-282.
- Thompson, J.D., D.G. Higgins and T.J. Gibson. 1994. CLUSTAL W: Improving the sentivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position specific gap panalties and weight metix choice. *Nucleic Acids Research*. 22(22): 4673-4680.
- Wang, J., W.Y. Ha, F.N. Ngan, P.P.H. But and P.C. Shaw. 2001. Application of sequence characterized amplified region (SCAR) analysis to authenticate *Panax* species and their adulterants. *Planta Medica*. 67: 781–783.
- Wang, L., G.Y. Lu, H. Liu, L.J. Huang, W.M. Jiang, P. Li and X. Lu. 2020. The complete chloroplast genome sequence of *Gynostemma yixingense* and comparative analysis with congeneric species. *Genetics and Molecular Biology*. 43(4): e20200092.
- Wu, C.Y. and S.K. Chen. 1983. A study of the genus *Gynostemma* Bl. (Cucurbitaceae) from China. *Journal of Systematics and Evolution*. 21(4): 355–369.
- Wurdack, K.J., P. Hoffmann and M.W. Chase. 2005. Molecular phylogenetic analysis of uniovulate Euphorbiaceae (Euphorbiaceae sensu stricto) using plastid *RBCL* and *TRNL-F* DNA sequences. *American Journal of Botany*. 92(8): 1397-1420.
- Zhang, X., T. Zhou, N.Z. Kanwai, Y.M. Zhao, G.Q. Bai and G.F. Zhao. 2017. Completion of eight *Gynostemma* Bl. (Cucurbitaceae) chloroplast genomes: Characterization, comparative analysis, and phylogenetic relationships. *Frontiers in Plant Science*. 8: 1583.
- Zhang, X., H Su, J. Yang, L. Feng, Z. Li and G. Zhao. 2019. Population genetic structure, migration, and polyploidy origin of a medicinal species *Gynostemma pentaphyllum* (Cucurbitaceae). *Ecology and Evolution*. 9(19): 11145–11170.
- Zhao, Y.M., Y. Zhao, Z.H. Li and G.F. Zhao. 2015. Characterization of global transcriptome using illumina paired-end sequencing and development of EST-SSR markers in two species of *Gynostemma* (Cucurbitaceae). *Molecules*. 20(12): 21214–21231.

การปรับปรุงสายพันธุ์เห็ดเป๋าฮื้อโดยวิธี Di-mon Mating  
Strain Improvement of Abalone Mushroom (*Pleurotus cystidiosus*)  
Using Di-mon Mating

รัชฎาภรณ์ ทองเหม<sup>1/\*</sup> วิภาวี ชื่นโรจน์<sup>1/</sup> ภรณ์ สว่างศรี<sup>1/</sup> จิตรา กิตติโมรากุล<sup>1/</sup>  
Ratchadaporn Thonghem<sup>1/\*</sup> Vipavee Chanroj<sup>1/</sup> Paranee Sawangsri<sup>1/</sup> Jittra Kittimorakul<sup>1/</sup>

Received 29 Jul. 2024/Revised 2 Oct. 2024/Accepted 7 Oct. 2024

**ABSTRACT**

Abalone mushroom (*Pleurotus cystidiosus* O.K. Mill.) is an economically important mushroom. The improvement of better hybrid strains is necessary for commercial production. The objective of this research was to improve Abalone mushroom hybrid strains with high yield and better features using the di-mon mating technique, which is the interspecific crossing between the dikaryotic mycelium of Hed Pao-hue 3 (PC3) used as the mother strain and the monokaryotic mycelium from 13 strains used as father strains, to obtain 14 Abalone mushroom hybrid strains. These hybrid strains were cultivated in 800 g sawdust substrate bags to observe their yield performance for 3 months compared with that of Hed Pao-hue 3 which is a commercial strain. The results showed that the Abalone mushroom hybrid strain PC3×SPC21-1 gave the highest yield of 150.7 g/bag, which was not significantly different from that of Pao-hue 3, which gave a yield of 126.3 g/bag. Furthermore, the days required for PC3×SPC21-1 to complete spawn running were 55.4 days, and primordial initiation were 14.9 days, while Hed Pao-hue 3 required longer days as 58.9 and 20.2 days, respectively. In addition, some of the Abalone mushroom hybrid strains had some features better than those of Hed Pao-hue 3 such as high content of protein and carbohydrates but low content of fat. From the results, 4 Abalone mushroom hybrid strains that had high yield and better features, PC3×SPC21-1, PC3×SPC14-24, PC3×SPC23-17 and PC3×SPC11-4, were selected for cultivation testing under farmer's farm conditions to distinguish the best potential Abalone hybrid strain for commercial production.

**Keywords:** strain improvement; *Pleurotus cystidiosus*; monokaryon; dikaryon; di-mon mating

---

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

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

\* Corresponding author: anneratcha@gmail.com

## บทคัดย่อ

เห็ดเป่าฮื้อ (*Pleurotus cystidiosus* O.K. Mill.) เป็นเห็ดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ จึงต้องมีการพัฒนาปรับปรุงสายพันธุ์เพื่อให้มีสายพันธุ์ใหม่ ๆ ที่ดีกว่าและเหมาะสมเพื่อใช้ผลิตเป็นการค้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงพันธุ์เห็ดเป่าฮื้อให้ได้ลูกผสมสายพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูงและมีคุณลักษณะดี โดยใช้วิธีการผสมพันธุ์แบบ di-mon mating ซึ่งเป็นการผสมพันธุ์ระหว่างเส้นใยนิวเคลียสคู่ของเห็ดเป่าฮื้อ 3 (PC3) สายพันธุ์แม่กับเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวที่ได้จากเบสิดิโอสปอร์ของเห็ดเป่าฮื้อสายพันธุ์พ่อ 13 สายพันธุ์ ได้เห็ดเป่าฮื้อลูกผสม 14 คู่ผสม ลูกผสมที่ได้ไปเพาะทดสอบการให้ผลผลิตในอาหารเพาะเชื้อเฉลี่ย 800 ก. และทำการเก็บผลผลิตเป็นเวลา 3 เดือน เปรียบเทียบกับเห็ดเป่าฮื้อ 3 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ทางการค้า ผลการทดลองพบว่า เห็ดเป่าฮื้อลูกผสม PC3×SPC21-1 ให้ผลผลิตสูงที่สุด 150.7 ก./ถุง ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับเห็ดเป่าฮื้อ 3 ที่ให้ผลผลิต 126.3 ก./ถุง นอกจากนี้เห็ดเป่าฮื้อลูกผสม PC3×SPC21-1 เส้นใยเจริญเต็มถุงอาหารเพาะใช้เวลา 55.4 วัน และออกดอกภายใน 14.9 วัน เร็วกว่าเห็ดเป่าฮื้อ 3 ที่ใช้เวลา 58.9 และ 20.2 วัน ตามลำดับ และยังพบอีกว่า เห็ดเป่าฮื้อลูกผสมบางสายพันธุ์มีสมบัติบางประการดีกว่าเห็ดเป่าฮื้อ 3 เช่น มีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูง ไขมันต่ำ ผลการทดลองที่ได้ทำให้สามารถคัดเลือกเห็ดเป่าฮื้อลูกผสมที่ผลผลิตสูงและมีคุณลักษณะดีได้ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ PC3×SPC21-1 PC3×SPC14-24 PC3×SPC23-17 และ PC3×SPC11-4 เพื่อนำไปเพาะทดสอบในฟาร์มเกษตรกรและคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีศักยภาพดีที่สุดในการผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไป

**คำสำคัญ:** การปรับปรุงสายพันธุ์; เห็ดเป่าฮื้อ; นิวเคลียสเดี่ยว; นิวเคลียสคู่; การผสมพันธุ์ระหว่างเส้นใยนิวเคลียสคู่กับเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยว

## บทนำ

เห็ดเป่าฮื้อ (*Pleurotus cystidiosus* O.K. Mill.) เป็นเห็ดเศรษฐกิจที่มีราคาแพงกว่าเห็ดสกุลนางรมอื่น ๆ สามารถนำมาแปรรูปเป็นเห็ดกระป๋อง มีรสชาติอร่อย ดอกเห็ดสดเก็บในตู้เย็นได้นานกว่าหนึ่งสัปดาห์ มีคุณค่าทางโภชนาการและมีปริมาณสารที่มีสรรพคุณทางยาสูง เช่น บีต้า-กลูแคน ( $\beta$ -glucan) ที่ช่วยเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้ร่างกาย (ธนภักษ์ และคณะ, 2554) และมีโปรตีนที่สามารถทำปฏิกิริยายับยั้งเอนไซม์เอซีอี (angiotensin I-converting enzyme, ACE) ในระดับสูง ช่วยลดความดันโลหิตสูง (Ching et al., 2011) จากคุณสมบัติที่ดีดังกล่าวทำให้เห็ดเป่าฮื้อเป็นที่นิยม

เห็ดเป่าฮื้อมีแหล่งกำเนิดในประเทศจีนและไต้หวัน ประเทศไทยมีการเพาะเห็ดเป่าฮื้อมานานกว่า 40 ปี เห็ดเป่าฮื้อที่เพาะมีหลากหลายสายพันธุ์ ทั้งสายพันธุ์ดอกสีเทาดำและสายพันธุ์ดอกสีครีม บางสายพันธุ์ก้านดอกสั้น บางสายพันธุ์ก้านดอกยาว (อนุสรณ์ และคณะ, 2564) ในระยะแรกสายพันธุ์เห็ดเป่าฮื้อที่เกษตรกรใช้เพาะกันเป็นพันธุ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศผ่านการคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ที่ปรับตัวและเพาะได้ดีในประเทศไทย แต่ด้วยสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปและเห็ดมีอัตราการเจริญเร็ว เกิดการกลายพันธุ์และผันแปรทางพันธุกรรมได้ง่ายเมื่อเพาะขยายเชื้อเป็นเวลานาน ส่งผลให้การเจริญของเส้นใยช้าลง ผลผลิตเห็ดลดลง ลักษณะดอกไม่ตรงตามความต้องการของตลาด เช่น ดอกเห็ดมีสีครีมปนดำ ขอบดอกม้วนงอหรือดอกมีสีเทาดำ ลักษณะดังกล่าวไม่เป็นที่ต้องการของตลาดที่ต้องการดอกเห็ดสีครีม ก้านดอกอวบและยาว ส่งผลให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนน้อย ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน เกษตรกรจึงต้องการเห็ดสายพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูง เพาะเลี้ยงง่ายในสภาพอากาศปัจจุบันและมีลักษณะดอกหลากหลายเพื่อเพิ่มช่องทางในการตลาด ดังนั้น การวิจัยเพื่อปรับปรุงสายพันธุ์เห็ดให้ดีขึ้นเป็นหนทางที่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้

การปรับปรุงสายพันธุ์เห็ดเพื่อให้ได้เห็ด  
ลูกผสมสายพันธุ์ใหม่ ๆ ที่มีสมบัติตามความต้องการ  
มีหลายวิธี การปรับปรุงพันธุ์เห็ดโดยวิธี di-mon  
mating เป็นการปรับปรุงพันธุ์โดยการผสมข้ามวิธี  
หนึ่ง โดยอาศัยการใช้เส้นใยนิวเคลียสคู่ (dikaryotic  
mycelium) ซึ่งเป็นเส้นใยระยะที่ 2 ผสมกับเส้นใย  
นิวเคลียสเดี่ยว (monokaryotic mycelium) ซึ่งเป็น  
เส้นใยระยะที่ 1 การผสมพันธุ์ด้วยวิธีการนี้ทำให้  
นิวเคลียสไดนิวเคลียสหนึ่งของเส้นใยนิวเคลียสคู่ที่เข้า  
กันได้กับเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยว เคลื่อนตัวเข้าไปอยู่  
รวมกันที่ปลายเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวทำให้ได้เส้นใย  
นิวเคลียสคู่ โดยเส้นใยนิวเคลียสคู่ที่เกิดขึ้นนี้จะมี  
นิวเคลียสใหม่ของเส้นใยนิวเคลียสคู่กับนิวเคลียสเดิม  
ของเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยว (สัญชัย, 2521; นันทวุฒิ,  
2549) ดังนั้นวิธีการนี้จึงเหมาะสมสำหรับการปรับปรุง  
พันธุ์เห็ดเป่าฮื้อซึ่งมีวงจรชีวิตแบบผสมข้าม หรือต่าง  
เพศต่างแทลลัส (heterothallic) ทำให้ได้ลูกผสมที่มี  
ลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิม

มีรายงานการใช้วิธี di-mon mating ในการ  
ปรับปรุงพันธุ์เห็ดต่าง ๆ เช่น ภัทรภรณ์ และวิเชียร  
(2540) ได้ปรับปรุงพันธุ์เห็ดนางรมเทาด้วยวิธี  
di-mon mating โดยนำเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวของ  
Q1 ไปผสมกับเส้นใยนิวเคลียสคู่ Q1-Q6 และพันธุ์พ่อ  
แม่อื่นอีก 5 สายพันธุ์ คัดเลือกลูกผสมได้ 9 สายพันธุ์  
ที่มีลักษณะและคุณภาพดี ในขณะที่รัชฎาภรณ์ และ  
คณะ (2560) ปรับปรุงพันธุ์เห็ดภูฏานด้วยวิธี di-mon  
mating ระหว่างเส้นใยนิวเคลียสคู่ของเห็ดภูฏาน  
หมายเลข 3 (P3) กับเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวของเห็ด  
ภูฏาน จำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ A B C D E F G  
และ H พบว่ามี 18 คู่ผสมที่เข้าคู่กันได้ เมื่อนำไปเพาะ  
ทดสอบในถุงอาหารเพาะเชื้อเลื่อย 800 ก. 3 รอบการ  
ผลิต พบว่า มีเห็ดภูฏานลูกผสม 7 สายพันธุ์ ที่ให้  
ผลผลิตสม่ำเสมอ โดยเห็ดภูฏานลูกผสม 3 สายพันธุ์  
ได้แก่ P3×SE5 P3×SA6 และ P3×SB24 ให้ผลผลิตสูง  
กว่าสายพันธุ์อื่น ๆ นอกจากนี้ Carrillo et al. (2011)

ได้ปรับปรุงพันธุ์เห็ดด้วยวิธี di-mon mating ระหว่าง  
เส้นใยนิวเคลียสคู่ของ *Pleurotus* spp. กับเส้นใย  
นิวเคลียสเดี่ยวของ *P. eryngii* คัดเลือกลูกผสม 19  
สายพันธุ์ มาเพาะเลี้ยงในวัสดุเพาะ พบว่ามี 16 สายพันธุ์  
ให้ค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิต (% biological  
efficiency: BE) สูงกว่า 100% ลูกผสมที่เกิดขึ้นมี  
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่หลากหลาย เช่น สี ขนาด  
ของก้านและรูปร่างมีขนาดใหญ่ ก้านมีความเหนียว  
มีความเหมาะสมเพื่อผลิตเป็นการค้า ดังนั้นการ  
ปรับปรุงพันธุ์เห็ดโดยใช้วิธีการผสมพันธุ์แบบ di-mon  
mating จึงน่าสนใจ ในประเทศไทยยังไม่มีรายงาน  
การปรับปรุงพันธุ์เห็ดเป่าฮื้อด้วยวิธีการผสมพันธุ์ มี  
เพียงการคัดเลือกสายพันธุ์เนื่องจากทำได้ง่าย สะดวก  
 และได้พันธุ์ใหม่เร็ว แต่วิธีการคัดเลือกเพียงอย่างเดียว  
ไม่ก่อให้เกิดการรวมกันของลักษณะทางพันธุกรรม  
และผู้ปรับปรุงพันธุ์ไม่สามารถเลือกควบคุมหรือบังคับ  
ลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ไม่ให้เห็นได้ เนื่องจากดอก  
เห็ดที่เกิดตามธรรมชาติจะมีทั้งลักษณะที่ดีและไม่ดี  
ปนอยู่ (สัญชัย, 2521) การปรับปรุงพันธุ์เห็ดเป่าฮื้อ  
โดยวิธี di-mon mating น่าจะเป็นหนทางหนึ่งในการ  
ทำให้ได้ลูกผสมใหม่ ๆ ที่มีลักษณะดีเพิ่มขึ้นและ  
แตกต่างไปจากเดิม เกษตรกรมีความต้องการเห็ด  
เป่าฮื้อสายพันธุ์ใหม่ ๆ เพื่อเป็นทางเลือกในการผลิต  
เป็นการค้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ  
ปรับปรุงพันธุ์เห็ดเป่าฮื้อด้วยวิธี di-mon mating  
เพื่อให้ได้ลูกผสมสายพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูงและมี  
คุณลักษณะดี ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมการผลิตเห็ด  
เป่าฮื้อพันธุ์ดีเพื่อการค้าให้มากขึ้นในอนาคต

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การแยกและคัดเลือกเส้นใยสปอร์เดี่ยว

นำสปอร์ของเห็ดเป่าฮื้อสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง  
(150.31-210.42 ก./ถุง) และสายพันธุ์ที่มีลักษณะเด่น  
ทางสัณฐานวิทยา (ดอกเห็ดสีครีม ขอบหมวกดอก

เรียบ ก้านดอกอบ) จำนวน 13 สายพันธุ์ ได้แก่ PC1 PC4 PC10 PC11 PC14 PC15 PC16 PC20 PC21 PC23 PC24 PC25 และ PC26 ซึ่งได้จากการคัดเลือกสายพันธุ์เห็ดเป๋าฮื้อของรัชฎาภรณ์ และคณะ (2565) มาคัดแยกเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยว (monokaryon) โดยการทำสารแขวนลอยสปอร์ (spore suspension) ในน้ำกลั่นที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้วและนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ water agar หลังจากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 °ซ. เป็นเวลา 10-14 วัน ตรวจสอบการงอกของสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (stereo light microscope) โดยใช้เลนส์กำลังขยาย 400 เท่า และตัดสปอร์ที่งอกเดี่ยว ๆ มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar (PDA) ในหลอดทดลอง นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 °ซ. เพื่อให้เส้นใยเจริญแล้วนำมาตรวจสอบยืนยันว่าเป็นเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ (compound light microscope) ใช้เลนส์กำลังขยายสูง 1,000 เท่า คัดเลือกเส้นใยที่ไม่พบเส้นใยเชื่อม (clamp connection) แยกเก็บไว้สายพันธุ์ละอย่างน้อย 20 สปอร์

## 2. การผสมพันธุ์แบบ di-mon mating

เลี้ยงเชื้อเห็ดที่มีเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวที่คัดเลือกได้จากข้อ 1 ของแต่ละสายพันธุ์ในอาหาร PDA ในจานเลี้ยงเชื้อ รวมทั้งเชื้อเห็ดที่มีเส้นใยนิวเคลียสคู่สายพันธุ์เห็ดเป๋าฮื้อ3 ซึ่งเป็นสายพันธุ์การค้าที่ให้บริการของกรมวิชาการเกษตรจนเชื้อเห็ดทั้งสองชนิดมีอายุ 14 วัน ตัดชิ้นวันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม.จากบริเวณปลายของโคโลนี แล้วนำชิ้นวันมาจับคู่กันโดยวางบริเวณกลางจานอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ห่างกัน 2 ซม. แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 °ซ. เป็นเวลา 7-10 วัน ปล่อยให้เส้นใยเจริญมาพบกันนำไปตรวจดูการสร้างเส้นใยเชื่อมทางด้านของสายพันธุ์ เส้นใยนิวเคลียสเดี่ยว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง 1,000 เท่า เมื่อพบเส้นใยเชื่อม

ตัดเส้นใยไปเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA หลอดใหม่ เพื่อนำไปใช้ในการเพาะทดสอบผลผลิตในโรงเรือน บันทึก จำนวนสายพันธุ์ของเห็ดเป๋าฮื้อที่ไม่พบเส้นใยเชื่อม และสายพันธุ์ของเห็ดเป๋าฮื้อที่มีการผสมข้ามเส้นใยกับเห็ดเป๋าฮื้อ3

## 3. การศึกษาการให้ผลผลิตและคุณลักษณะของเห็ดเป๋าฮื้อลูกผสม

นำเห็ดเป๋าฮื้อลูกผสมสายพันธุ์ใหม่ที่ได้จากข้อ 2 มาเพาะทดสอบการให้ผลผลิต โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) มี 4 ซ้ำ ขนาดหน่วยทดลอง 50 ถังอาหารเพาะ กรรมวิธีประกอบด้วย เห็ดเป๋าฮื้อลูกผสมที่ได้ และเห็ดเป๋าฮื้อ3 เป็นสายพันธุ์เปรียบเทียบ เพาะทดสอบในโรงเรือนเพาะเห็ดกรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 1 รอบการผลิต ตั้งแต่เดือน มิ.ย.-ธ.ค. 2566 โดยอาหารเพาะดัดแปลงจากพิมพ์กานต์ (2544) ประกอบด้วยขี้เลื่อย 100 กก. : รำละเอียด 10 กก. : ปูนขาว 1 กก. : ดีเกลือ 200 ก. ปรับความชื้นด้วยน้ำให้อาหารเพาะมีความชื้น 55-60% บรรจุในถุงพลาสติกทนร้อนน้ำหนัก 800 ก./ถุง นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 °ซ. นาน 3 ชั่วโมง ใส่เชื้อเห็ดสายพันธุ์ที่เตรียมไว้บนเมล็ดข้าวฟ่าง บ่มก้อนเชื้อไว้ในโรงเรือนสภาพไม่ควบคุมอุณหภูมิ เมื่อเส้นใยเจริญเต็มวัสดุเพาะนำไปเปิดดอกในโรงเรือน เก็บผลผลิตเป็นเวลา 3 เดือนหลังเปิดดอก บันทึกข้อมูลช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มใส่เชื้อจนเส้นใยเจริญเต็มวัสดุเพาะ ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดถุงจนเก็บดอกครั้งแรก (ระยะเก็บผลผลิต) น้ำหนักสดของผลผลิต (ก./ถุง) และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดอกเห็ด ได้แก่ สี รูปร่างของดอก ก้านดอก ขนาดหมวกดอกและก้านดอก นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

#### 4. การวิเคราะห์คุณภาพของดอกเห็ดเป่าฮือลูกผสม

4.1 วัดความแน่นเนื้อของดอกเห็ดเป่าฮือด้วยเครื่องวัดความแน่นเนื้อ TR Turoni ดัดแปลงจาก Suhaili et al. (2021) โดยใช้หัววัดแทงทะลุ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. วัดบริเวณหมวกดอกและก้าน โดยดอกเห็ดวัดบริเวณกึ่งกลางดอก กดหัววัดจมลงในเนื้อดอก 1 ซม. ก้านเห็ดวัดบริเวณกึ่งกลางระหว่างโคนและปลายก้าน กดหัววัดจมลงในก้าน 1.5 ซม. วัดค่าออกมาเป็นนิวตัน (N)

4.2 วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของดอกเห็ดเป่าฮือ ได้แก่ เถ้า ความชื้น พลังงาน พลังงานจากไขมัน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน โดยส่งวิเคราะห์ที่ บ. ห้องปฏิบัติการ (ประเทศไทย) จำกัด กรุงเทพมหานคร

#### ผลการทดลองและวิจารณ์

##### 1. การแยกและคัดเลือกเส้นใยสปอร์เดี่ยว

ผลการคัดแยกเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวจากสปอร์ของเห็ดเป่าฮือ 13 สายพันธุ์ ได้แก่ PC1 PC4 PC10 PC11 PC14 PC15 PC16 PC20 PC21 PC23 PC24 PC25 และ PC26 บนอาหาร water agar ได้เส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวเพื่อนำใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ รวมทั้งสิ้น 285 เส้นใยนิวเคลียสเดี่ยว โดยให้รหัสในการทดลองดังแสดงใน Table 1 ทั้งนี้จำนวนเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวที่แยกได้จากสปอร์ของเห็ดเป่าฮือ แต่สายพันธุ์มีจำนวนไม่เท่ากัน เนื่องจากสปอร์ของเห็ดเป่าฮือแต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการงอกที่แตกต่างกัน

วิธีการผสมพันธุ์แบบ di-mon mating ระหว่างเส้นใยนิวเคลียสคู่ของเห็ดเป่าฮือ 3 (สายพันธุ์แม่) กับเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวของเห็ดเป่าฮือ 13 สายพันธุ์ (สายพันธุ์พ่อ) จำนวน 285 เส้นใยนิวเคลียส โดยการจับคู่ผสมทีละคู่บนจานอาหาร PDA รวม 285 คู่ผสม เมื่อเส้นใยทั้งสองเจริญมาพบกัน ใช้เวลา 7–10 วัน

(Figure 1A) ตรวจสอบการสร้างเส้นใยเชื่อมทางด้านของเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Figure 1B) พบว่า มี 14 คู่ผสมที่เข้าคู่กันได้หรือความเข้ากันได้ (compatible) ได้แก่ PC3×SPC11-4 PC3×SPC11-9 PC3×SPC14-21 PC3×SPC14-24 PC3×SPC15-2 PC3×SPC15-7 PC3×SPC15-14 PC3×SPC21-1 PC3×SPC21-4 PC3×SPC21-14 PC3×SPC23-6 PC3×SPC23-14 PC3×SPC23-17 และ PC3×SPC23-18 ซึ่งเส้นใยเชื่อมถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นโครงสร้างสำหรับการเคลื่อนย้ายผ่านของนิวเคลียส (nuclear migration) ไซโทพลาสซึม (cytoplasm) และไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ไปยังเซลล์เส้นใยถัดไปได้ อีกทั้งยังแสดงถึงความเข้ากันได้ของคู่ผสมและยังเป็นการบ่งบอกถึงการเป็นเส้นใยนิวเคลียสคู่ที่สมบูรณ์ โดยการผสมพันธุ์แบบ di-mon mating นี้ นิวเคลียสไดนิวเคลียสหนึ่งของเส้นใยนิวเคลียสคู่จะเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวอันเป็นวิธีการที่รวมลักษณะทางพันธุกรรม (Eger, 1978; Rizzo and May, 1994; Kues, 2000; Srivilai and Loutchanwoot, 2009) ทั้งนี้ Srivilai et al. (2012) กล่าวว่า เส้นใยนิวเคลียสคู่ที่มีเส้นใยเชื่อมที่สมบูรณ์ (fused clamp cell) เชื่อว่าจะส่งผลต่อการสร้างและเพิ่มปริมาณของตุ่มดอก (primordia) และพัฒนาเป็นดอกเห็ดที่สมบูรณ์ได้ ทั้งนี้ ยังไม่พบรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน เส้นใยเชื่อมต่อปริมาณการสร้างดอกเห็ด

##### 2. การผสมพันธุ์แบบ di-mon mating

ผลการปรับปรุงพันธุ์เห็ดเป่าฮือด้วยวิธีการผสมพันธุ์แบบ di-mon mating ระหว่างเส้นใยนิวเคลียสคู่ของเห็ดเป่าฮือ 3 (สายพันธุ์แม่) กับเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวของเห็ดเป่าฮือ 13 สายพันธุ์ (สายพันธุ์พ่อ) จำนวน 285 เส้นใยนิวเคลียส โดยการจับคู่ผสมทีละคู่บนจานอาหาร PDA รวม 285 คู่ผสม เมื่อเส้นใยทั้งสองเจริญมาพบกัน ใช้เวลา 7–10 วัน (Figure 1A)

**Table 1** Monokaryotic mycelium of Abalone mushroom (father strains) 13 strains

| Abalone<br>mushroom strains | Number of the selected<br>monokaryotic mycelia | Codes for experiment           |
|-----------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|
| PC1                         | 20                                             | SPC1-1, SPC1-2..... SPC1-20    |
| PC4                         | 20                                             | SPC4-1, SPC4-2..... SPC4-20    |
| PC10                        | 20                                             | SPC10-1, SPC10-2..... SPC10-20 |
| PC11                        | 20                                             | SPC11-1, SPC11-2..... SPC11-20 |
| PC14                        | 30                                             | SPC14-1, SPC14-2..... SPC14-30 |
| PC15                        | 30                                             | SPC15-1, SPC15-2..... SPC15-30 |
| PC16                        | 20                                             | SPC16-1, SPC16-2..... SPC16-20 |
| PC20                        | 20                                             | SPC20-1, SPC20-2..... SPC20-20 |
| PC21                        | 20                                             | SPC21-1, SPC21-2..... SPC21-20 |
| PC23                        | 25                                             | SPC23-1, SPC23-2..... SPC23-25 |
| PC24                        | 20                                             | SPC24-1, SPC24-2..... SPC24-20 |
| PC25                        | 20                                             | SPC25-1, SPC25-2..... SPC25-20 |
| PC26                        | 20                                             | SPC26-1, SPC26-2..... SPC26-20 |
| Total                       | 285                                            |                                |

Noted: PC is *Pleurotus cystidiosus*; SPC is single spore of *Pleurotus cystidiosus*

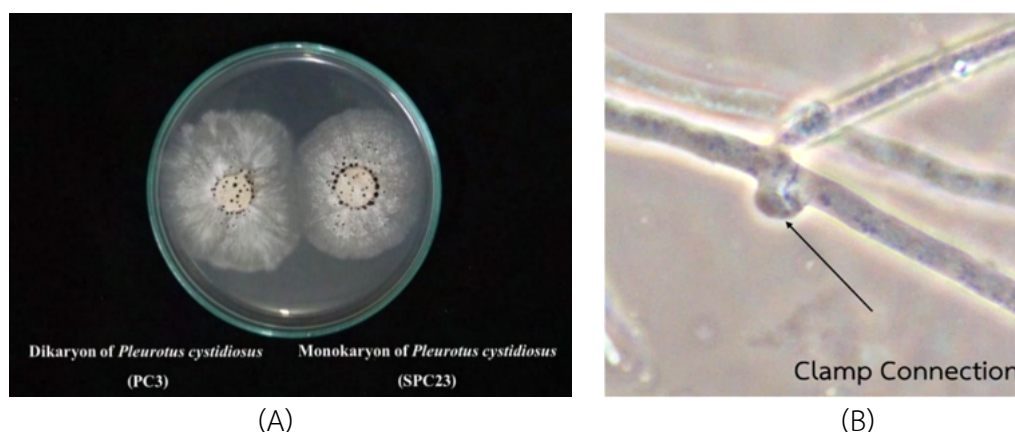
ตรวจสอบการสร้างเส้นใยเชื่อมทางด้านของเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Figure 1B) พบว่า มี 14 คู่ผสมที่เข้าคู่กันได้หรือความเข้ากันได้ (compatible) ได้แก่ PC3×SPC11-4 PC3×SPC11-9 PC3×SPC14- 21 PC3×SPC14- 24 PC3×SPC15- 2 PC3×SPC15-7 PC3×SPC15-14 PC3×SPC21-1 PC3×SPC21-4 PC3×SPC21-14 PC3×SPC23-6 PC3×SPC23-14 PC3×SPC23-17 และ PC3×SPC23-18

### 3. การให้ผลผลิตและคุณลักษณะของลูกผสม

ผลการนำเห็ดเป๋าฮื้อลูกผสมไปเพาะทดสอบเปรียบเทียบผลผลิตและลักษณะทางสัณฐานวิทยากับเห็ดเป๋าฮื้อ3 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ให้บริการของกรมวิชาการเกษตร พบว่า เห็ดเป๋าฮื้อทุกคู่ผสมสามารถเจริญในถุงอาหารเพาะเชื้อเลี้ยงได้ โดยเห็ดเป๋าฮื้อลูกผสม P3×SPC21-1 P3×SPC15-7 และ P3×SPC23-6 ใช้เวลาเฉลี่ยในการเจริญจนเต็มถุงอาหารเพาะเร็วที่สุดเฉลี่ย 55.4–57.2 วัน ซึ่งเร็วกว่าเห็ดเป๋าฮื้อ3

ที่ใช้เวลาเฉลี่ย 58.9 วัน โดยมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 2) ทั้งนี้การที่เส้นใยเห็ดเจริญได้เร็วเป็นคุณลักษณะอย่างหนึ่งของเห็ดสายพันธุ์ดีเนื่องจากสามารถปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี การที่เส้นใยเห็ดเจริญเร็วทำให้แข่งขันกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้ ส่งผลให้ลดการปนเปื้อนในระยะเส้นใย (สัณชัย, 2521)

หลังจากเส้นใยเห็ดเจริญเต็มถุงอาหารเพาะแล้วนำไปเปิดดอกในโรงเรือนเปิดดอก อุณหภูมิเฉลี่ย 28.5–32.7 °ซ. ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 62.6–75.8% พบว่า เห็ดเป๋าฮื้อลูกผสมทั้ง 14 สายพันธุ์ออกดอก 100% ของลูกผสมที่ได้ (Figure 2) ผลที่ได้สอดคล้องกับเห็ดภูฏานที่ใช้วิธีการผสมพันธุ์แบบเดียวกันเกิดดอก 100% ของลูกผสมที่ได้ (รัชฎาภรณ์ และคณะ, 2560) ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการออกดอกครั้งแรก พบว่า เห็ดเป๋าฮื้อลูกผสม PC3×SPC21-1 และ PC3×SPC21-4 ใช้เวลาเฉลี่ยในการออกดอกเร็วที่สุด 14.9 และ 15.1 วัน ตามลำดับ ซึ่งใช้ระยะเวลา



**Figure 1** Dikaryon-monokaryon mating of *Pleurotus cystidiosus* (A) with combination between dikaryon mycelium (*Pleurotus cystidiosus*, PC3 mother strain) and monokaryon mycelium (*Pleurotus cystidiosus*, father strain); and clamp connection (B) indicating a compatible interaction and formation of secondary mycelium (Noted: PC is *Pleurotus cystidiosus*; SPC is single spore of *Pleurotus cystidiosus*)

**Table 2** The mycelial colonization time, day of primordia formation, fresh weight yield, and biological efficiency (% BE) of 14 Abalone mushroom hybrid strains compared with PC3; cultivation period was from September to December 2023

| Strain        | Spawn run (days)      | Fruit bodies primordia formation after bag opening (days) | Average fresh weight yield (g/bag) | %BE      |
|---------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------|----------|
| PC3×SPC11-4   | 59.1 <sup>1/</sup> de | 21.0 bcd                                                  | 129.2 ab                           | 31.9 ab  |
| PC3×SPC11-9   | 77.8 g                | - <sup>2/</sup>                                           | -                                  | -        |
| PC3×SPC14-21  | 59.1 de               | 20.0 bcd                                                  | 113.5 b-f                          | 28.0 b-f |
| PC3×SPC14-24  | 58.5 cde              | 19.3 abc                                                  | 125.3 a-d                          | 30.9 a-d |
| PC3×SPC15-2   | 59.9 e                | 24.8 de                                                   | 97.7 c-f                           | 21.1 c-f |
| PC3×SPC15-7   | 56.6 ab               | 23.8 cde                                                  | 102.4 b-f                          | 25.2 b-f |
| PC3×SPC15-14  | 58.7 de               | 18.4 ab                                                   | 99.1 b-f                           | 24.5 b-f |
| PC3×SPC21-1   | 55.4 a                | 14.9 a                                                    | 150.7 a                            | 37.2 a   |
| PC3×SPC21-4   | 59.2 de               | 15.1 a                                                    | 149.9 a                            | 37.0 a   |
| PC3×SPC21-14  | 59.0 de               | 21.0 bcd                                                  | 118.9 b-e                          | 29.3 b-e |
| PC3×SPC23-6   | 57.2 bc               | 22.4 b-e                                                  | 89.7 e-f                           | 22.1 ef  |
| PC3×SPC23-14  | 61.8 f                | 23.6 cde                                                  | 95.2 def                           | 23.5 def |
| PC3×SPC23-17  | 57.9 bcd              | 17.5 ab                                                   | 118.9 b-e                          | 29.4 b-e |
| PC3×SPC23-18  | 59.9 e                | 26.5 e                                                    | 84.7 f                             | 20.9 f   |
| PC3 (control) | 58.9 de <sup>1/</sup> | 20.2 bcd                                                  | 126.3 abc                          | 31.2 abc |
| CV (%)        | 1.5                   | 19.7                                                      | 16.0                               | 16.0     |

<sup>1/</sup> Means in the same column, followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

<sup>2/</sup> (-) PC3×SPC11-9's productivity was erratic and was excluded from statistical analysis

(Noted: PC is *Pleurotus cystidiosus*; SPC is single spore of *Pleurotus cystidiosus*)

ในการออกดอกครั้งแรกเร็วกว่าเห็ดเป่าฮือ3 ที่ใช้เวลาในการออกดอกครั้งแรก 20.2 วัน โดยมีความแตกต่างทางสถิติ (Table 2) ทั้งนี้การเห็ดออกดอกเร็วส่งผลดีต่อเกษตรกรเนื่องจากลดระยะเวลาในการดูแลและสามารถเก็บผลผลิตได้เร็วขึ้น (สัจชัย, 2521)

ผลการเปรียบเทียบการให้ผลผลิตหลังการเปิดดอกและประสิทธิภาพการผลิต พบว่า เห็ดเป่าฮือลูกผสม PC3×SPC21-1 และ PC3×SPC21-4 ให้ผลผลิตสูงสุดที่ 150.7 ก./ถุง (ประสิทธิภาพการผลิต 37.2%) และ 149.9 ก./ถุง (ประสิทธิภาพการผลิต 37.0%) ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับเห็ดเป่าฮือ3 ซึ่งให้ผลผลิต 126.3 ก./ถุง (ประสิทธิภาพการผลิต 31.2%) (Table 2) ผลที่ได้สอดคล้องกับ ศิริพร และวิเชียร (2544) ที่ปรับปรุงพันธุ์เห็ดหอมโดยวิธีการ di-mon mating พบว่าลูกผสม H18 (ได้จากการผสมระหว่าง mono L2×diL1) ให้ผลผลิตหลังการตัดแต่งซึ่งเป็นน้ำหนักทางการค้า 57.0 ก./ถุง สูงกว่าลูกผสมสายพันธุ์อื่นและเห็ดหอมสายพันธุ์ L2 (สายพันธุ์แม่) ที่ให้ผลผลิต 49.7 ก./ถุง แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ อาจกล่าวได้ว่าการที่ลูกผสม H18 มีผลผลิตมากขึ้นอาจเกิดจากการได้รับยีนใหม่ซึ่งเกิดจากการผสมข้ามตนเอง ในขณะที่ ภัทรารณ และวิเชียร (2540) ปรับปรุงพันธุ์เห็ดนางรมสีเทาโดยนำเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยวของ Q1 ผสมกับเส้นใยนิวเคลียสคู่ Q1-Q6 และพันธุ์พ่อแม่อื่นอีกห้าสายพันธุ์คัดลูกผสมได้ 9 สายพันธุ์ที่มีลักษณะและคุณภาพดีนำมาเปรียบเทียบผลผลิตกับพันธุ์พ่อแม่ที่เป็นเห็ดนางรมสีเทาพันธุ์ CM5 กับเห็ดนางรมสีขาวหรือชนิดฟลอริดา CM1 ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า เห็ดนางรมชนิดฟลอริดาให้ผลผลิตสูงกว่าลูกผสม แต่เมื่อเพาะในห้อยเย็นเห็ดลูกผสมให้ผลผลิตระดับเดียวกับเห็ดนางรมสีเทาพันธุ์ CM5

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดอกเห็ดเป่าฮือลูกผสมที่ได้ทั้ง 14 สายพันธุ์ พบว่าสามารถจัดกลุ่มดอกเห็ดลูกผสมเป็น 3 กลุ่ม โดย

พิจารณาจากลักษณะหมวกดอก สีของหมวกดอก ก้านดอกและลักษณะการเกิดดอก ดังนี้

1. ลักษณะหมวกดอกรูปร่างคล้ายพัด สีครีม น้ำตาล น้ำตาลอ่อน น้ำตาลเทา และเทา เนื้อหนา มีความแน่น กลางหมวกเว้าตื้น ขอบหมวกดอกเรียบถึงค่อนข้างเรียบ ครีบสีขาวนวล ยาวเรียงไปตามก้าน ก้านอวบ ก้านดอกสั้นจนถึงยาว ติดกับขอบหมวกดอกด้านใดด้านหนึ่ง ออกดอกเป็นช่อ ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.65–12.28 ซม. ก้านดอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.05–3.31 ซม. ก้านยาว 3.80–6.50 ซม. ลักษณะดังกล่าวพบจำนวน 10 สายพันธุ์ ได้แก่ PC3×SPC11-4 PC3×SPC11-9 PC3×SPC14-21 PC3×SPC14-24 PC3×SPC21-1 PC3×SPC21-4 PC3×SPC21-14 PC3×SPC23-6 PC3×SPC23-14 และ PC3×SPC23-17 (Figure 3) ลักษณะหมวกดอกดังกล่าวเป็นไปตามความต้องการของตลาดที่นิยมบริโภคเห็ดเป่าฮือสีครีมหรือสีเทามากกว่าสีดำ (อนุสรณ์และคณะ, 2564) โดยเห็ดเป่าฮือสีครีมได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าเห็ดเป่าฮือลูกผสมในกลุ่มนี้มีขนาดดอกตรงตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง เห็ดสกุลนางรม (มกษ. 1514–2555) โดยมีขนาดดอกเห็ดอยู่ในรหัสขนาด 1 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 7 ซม. รหัสและขนาด 2 เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.60–7.00 ซม. (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555)

2. ลักษณะหมวกดอกรูปทรงกรวย สีเทาอ่อน เนื้อหนา แต่ไม่แน่น มีความนุ่ม ขอบหมวกดอกเรียบถึงไม่เรียบ ครีบสี ยาวเรียงไปตามก้าน ก้านสั้น อวบ ติดตรงกลางหมวกดอก ออกดอกเป็นช่อ ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.67–7.08 ซม. ก้านดอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77–2.41 ซม. ก้านยาว 2.45–3.47 ซม. ลักษณะดังกล่าวพบจำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ PC3×SPC15-2 PC3×SPC15-7 และ PC3×SPC15-14 (Figure 4) รูปทรงดอกเห็ดลักษณะดังกล่าวยังไม่เคยพบในรายงานวิจัยและในท้องตลาด

ทั้งนี้เห็ดเป่าฮื้อลูกผสมทั้ง 3 สายพันธุ์นี้เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างเส้นใยนิวเคลียสคู่ของเห็ดเป่าฮื้อ3 (PC3) ซึ่งเป็นสายพันธุ์แม่กับเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยว SPC 15 (สายพันธุ์พ่อ) โดยลักษณะดอกเห็ดที่ปรากฏดังกล่าวอาจได้รับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมมาจากสายพันธุ์พ่อเนื่องจากเห็ดลูกผสมที่เกิดจากสายพันธุ์พ่ออื่น ๆ ไม่พบลักษณะดังกล่าว

3. ลักษณะดอกเห็ดค่อนข้างแบน ทรงยาวรี มีลักษณะคล้ายหอยเป่าฮื้อ บางครั้งมีลักษณะรูปกรวย ดอกเห็ดมีสีน้ำตาล น้ำตาลเทา จนถึงสีเทา กลางหมวกเว้าตื้น เนื้อหนา แต่ไม่แน่น ขอบเรียบถึงไม่เรียบก้านสั้น อวบ ติดกับขอบหมวกดอกด้านใดด้านหนึ่ง ดอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.15–6.44 ซม. ก้านดอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.56–2.85 ซม. ก้านยาว 1.21–2.07 ซม. ลักษณะดังกล่าวพบจำนวน 1 สายพันธุ์ ได้แก่ PC3×SPC23-18 (Figure 5)

#### 4. คุณภาพของดอกเห็ดเป่าฮื้อลูกผสม

ผลการวิเคราะห์ความแน่นเนื้อของดอกเห็ดเป่าฮื้อลูกผสมทั้ง 14 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับเห็ดเป่าฮื้อ3 พบว่าเห็ดเป่าฮื้อลูกผสม 8 สายพันธุ์ ได้แก่ PC3×SPC23-6 PC3×SPC23-14 PC3×SPC14-21 PC3×SPC11-4 PC3×SPC14-24 PC3×SPC21-14 PC3×SPC21-1 และ PC3×SPC23-1 มีความแน่นเนื้อเฉลี่ย 5.65–8.84 นิวตัน ซึ่งมีความแน่นเนื้อมากกว่าเห็ดเป่าฮื้อ3 ที่มีความแน่นเนื้อของดอกเห็ด 5.63 นิวตัน โดยสายพันธุ์เห็ดเป่าฮื้อลูกผสม 3 ลำดับแรกที่มีความแน่นเนื้อของดอกมากที่สุด คือ PC3×SPC23-6 มีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุด 8.84 นิวตัน รองลงมา คือ PC3×SPC23-14 และ PC3×SPC14-21 มีค่าความแน่นเนื้อ 6.68 และ 6.29 นิวตัน ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบความแน่นเนื้อของก้านเห็ดเป่าฮื้อลูกผสมกับเห็ดเป่าฮื้อ3 พบว่าเห็ดเป่าฮื้อลูกผสม 6 สายพันธุ์ ได้แก่ PC3×SPC23-6 PC3×SPC21-14

PC3×SPC23-17 PC3×SPC23-14 PC3×SPC14-24 และ PC3×SPC14-21 มีความแน่นเนื้อเฉลี่ย 13.79–16.45 นิวตัน ซึ่งมีความแน่นเนื้อมากกว่าเห็ดเป่าฮื้อ3 (ความแน่นเนื้อของก้านดอก 13.58 นิวตัน) โดยสายพันธุ์เห็ดเป่าฮื้อลูกผสม 3 ลำดับแรกที่มีความแน่นเนื้อของก้านมากที่สุด คือ PC3×SPC23-6 มีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุด 16.45 นิวตัน รองลงมา คือ PC3×SPC11-9 และ PC3×SPC23-17 มีค่าความแน่นเนื้อ 15.58 และ 15.47 นิวตัน ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ความแน่นเนื้อของดอกและก้านเห็ดเป่าฮื้อลูกผสมดังกล่าว พบว่ามีความแน่นเนื้อสูงกว่าเห็ดเป่าฮื้อ ทั้ง 17 สายพันธุ์ที่ อนุสรณ์ และคณะ (2561) คัดเลือกสายพันธุ์ (ความแน่นเนื้อ 4.22-8.83 นิวตัน) ทั้งนี้การที่ดอกเห็ดมีความแน่นเนื้อสูงจะทำให้มีอายุการเก็บรักษาดอกเห็ดได้นานขึ้น

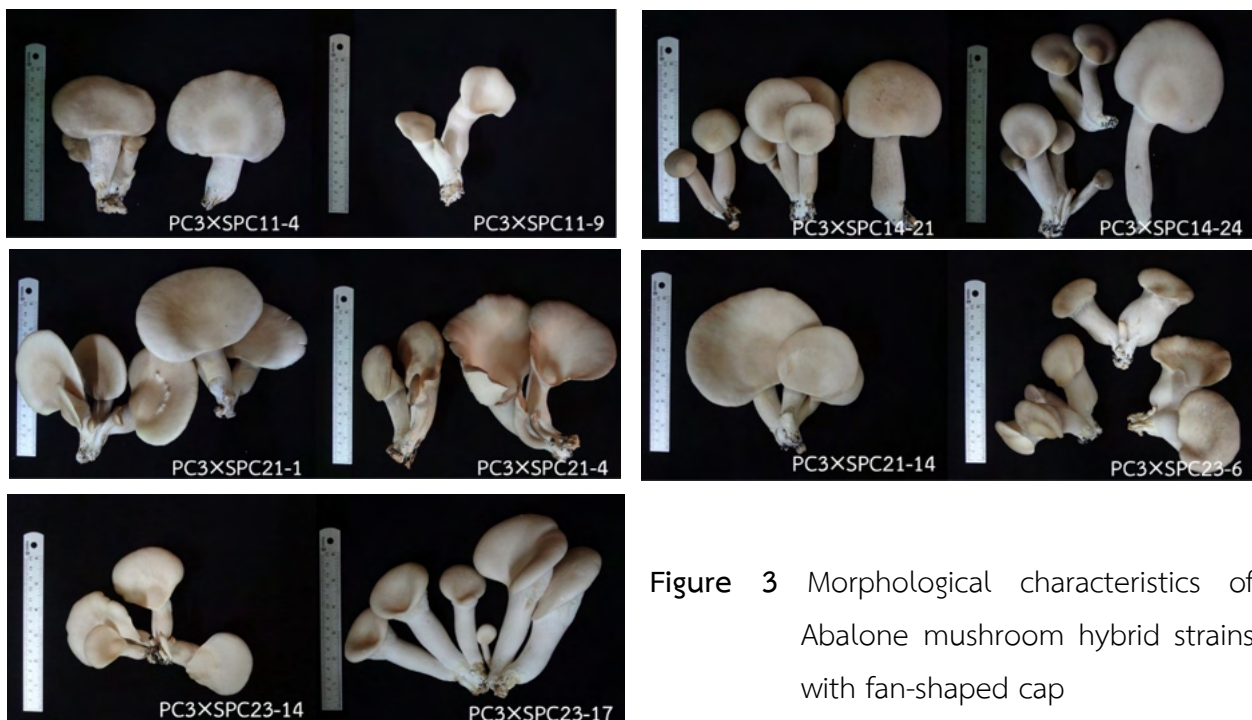
ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเห็ดสดเปรียบเทียบกับเห็ดเป่าฮื้อ3 พบว่าเห็ดเป่าฮื้อลูกผสม จำนวน 8 สายพันธุ์ มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเห็ดเป่าฮื้อ3 ที่มีปริมาณโปรตีน 2.04 ก./100 ก. โดยเห็ดลูกผสมดังกล่าวมีปริมาณโปรตีน 2.08–2.81 ก./100 ก. (Table 3) เห็ดเป่าฮื้อลูกผสมดังกล่าวมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเห็ดเป่าฮื้อทั่วไปที่มีปริมาณโปรตีน 1.60 ก./100 ก. (สดศรี และคณะ, 2556) จึงมีประโยชน์ต่อผู้บริโภคสูง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน พบว่าเห็ดเป่าฮื้อลูกผสม จำนวน 8 สายพันธุ์ มีปริมาณไขมัน 0.09–0.18 ก./100 กรัม ซึ่งต่ำกว่าเห็ดเป่าฮื้อ3 ซึ่งมีปริมาณไขมัน 0.19 ก./100 ก. (Table 3) ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่าเห็ดลูกผสม จำนวน 7 สายพันธุ์ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 7.56–10.88 ก./100 ก. ซึ่งสูงกว่าเห็ดเป่าฮื้อ3 ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 7.15 ก./100 ก. (Table 3)



**Figure 2** Morphological characteristics of 14 Abalone mushroom hybrid strains compared with PC3; cultivation period from September to December 2023

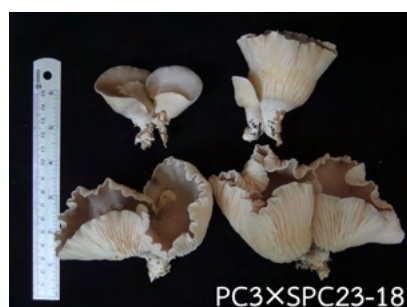
(Note: PC is *Pleurotus cystidiosus*; SPC is single spore of *Pleurotus cystidiosus*)



**Figure 3** Morphological characteristics of Abalone mushroom hybrid strains with fan-shaped cap



**Figure 4** Morphological characteristics of Abalone mushroom hybrid strains with funnel-shaped cap (Note: PC is *Pleurotus cystidiosus*; SPC is single spore of *Pleurotus cystidiosus*)



**Figure 5** Morphological characteristics of Abalone mushroom hybrid strains with bivalve shell-shaped and funnel-shaped caps (Note: PC is *Pleurotus cystidiosus*; SPC is single spore of *Pleurotus cystidiosus*)

**Table 3** Proximate content of abalone mushroom hybrid strains and Abalone mushroom compared with PC3

| Strain        | Ash<br>(g/100g) | Calories<br>(Kcal/100g) | Calories from fat<br>(Kcal/100g) | Carbohydrate<br>(g/100g) | Fat<br>(g/100g) | Moisture<br>(g/100g) | Protein<br>(g/100g) |
|---------------|-----------------|-------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|
| PC3×SPC11-4   | 1.21            | 39.81                   | 1.89                             | 7.56                     | 0.21            | 89.10                | 1.92                |
| PC3×SPC11-9   | 1.00            | 55.57                   | 0.81                             | 10.88                    | 0.09            | 85.22                | 2.81                |
| PC3×SPC14-21  | 0.95            | 41.85                   | 1.53                             | 8.19                     | 0.17            | 88.80                | 1.89                |
| PC3×SPC14-24  | 1.04            | 38.60                   | 1.80                             | 7.02                     | 0.20            | 89.56                | 2.18                |
| PC3×SPC15-2   | 0.66            | 36.75                   | 1.71                             | 6.68                     | 0.19            | 90.39                | 2.08                |
| PC3×SPC15-7   | 0.73            | 36.91                   | 1.71                             | 6.69                     | 0.19            | 90.28                | 2.11                |
| PC3×SPC15-14  | 0.73            | 34.66                   | 1.62                             | 6.80                     | 0.18            | 90.83                | 1.46                |
| PC3×SPC21-1   | 0.79            | 34.72                   | 1.80                             | 6.48                     | 0.20            | 90.78                | 1.75                |
| PC3×SPC21-4   | 0.93            | 35.18                   | 1.62                             | 6.66                     | 0.18            | 90.50                | 1.73                |
| PC3×SPC21-14  | 1.51            | 36.72                   | 1.44                             | 6.97                     | 0.16            | 89.51                | 1.85                |
| PC3×SPC23-6   | 0.96            | 44.30                   | 1.62                             | 8.28                     | 0.18            | 88.19                | 2.39                |
| PC3×SPC23-14  | 0.87            | 44.33                   | 1.89                             | 7.92                     | 0.21            | 88.31                | 2.69                |
| PC3×SPC23-17  | 0.78            | 43.25                   | 1.17                             | 8.02                     | 0.13            | 88.57                | 2.50                |
| PC3×SPC23-18  | 0.78            | 39.90                   | 1.26                             | 7.55                     | 0.14            | 89.42                | 2.11                |
| PC3 (Control) | 0.87            | 38.47                   | 1.71                             | 7.15                     | 0.19            | 89.75                | 2.04                |

Source: Central Laboratory (Thailand) Company Limited

(Noted: PC is *Pleurotus cystidiosus*; SPC is single spore of *Pleurotus cystidiosus*)

Protein = %N x 6.25

จากผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และผลผลิตของเห็ดเป๋าฮื้อลูกผสมทั้ง 14 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับเห็ดเป๋าฮื้อ3 ทำการคัดเลือกเห็ดเป๋าฮื้อลูกผสมที่เกิดจากสายพันธุ์พ่อกลุ่มละ 1 สายพันธุ์ ที่มีลักษณะดีเพื่อไปเพาะทดสอบในฟาร์มเกษตรกรต่อไป โดยใช้เกณฑ์ 1) ความสามารถในการให้ผลผลิต 2) การออกดอกเร็วและออกดอกพร้อมกัน 3) ระยะเวลาการบ่มเส้นใยในถุงอาหารเพาะ และ 4) ดอกมีขนาดและสีตรงตามความต้องการของตลาด (สัญญาชัย, 2521) พบว่า เห็ดเป๋าฮื้อลูกผสม PC3×PC21-1 มีคุณลักษณะเป็นเห็ดสายพันธุ์ดีมากที่สุด เนื่องจากตรงตามเกณฑ์พิจารณาครบทุกเกณฑ์ รองลงมา คือ เห็ดเป๋าฮื้อลูกผสม PC3×SPC14-24 และ PC3×SPC23-17 ให้ผลผลิตและระยะเวลาในการออกดอกครั้งแรกไม่แตกต่างจากเห็ดเป๋าฮื้อ3 แต่เส้นใยเจริญในถุงอาหารเพาะเร็วกว่าเห็ดเป๋าฮื้อ3 ดอกเห็ดมีสีครีม ก้านดอกอวบและมีความแน่นเนื้อมากกว่าเห็ดเป๋าฮื้อ3 ซึ่งเป็นลักษณะที่ตรงตามความต้องการของตลาดในกลุ่มที่นิยมบริโภคเห็ดเป๋าฮื้อสายพันธุ์ก้าน ในขณะที่เห็ดลูกผสม PC3×SPC11-4 ความสามารถในการให้ผลผลิต ระยะเวลาในการออกดอกครั้งแรก การเจริญของเส้นใยในถุงอาหารเพาะ ไม่มีความแตกต่างจากเห็ดเป๋าฮื้อ3 แต่ดอกเห็ดมีลักษณะเด่น คือ ออกดอกเป็นกลุ่มหลายดอก ดอกเล็กและก้านสั้นซึ่งตรงตามความต้องการของตลาดในกลุ่มที่นิยมบริโภคเห็ดเป๋าฮื้อสายพันธุ์ดอก ดังนั้นจึงได้คัดเลือกเห็ดเป๋าฮื้อลูกผสมทั้ง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ PC3×SPC21-1 PC3×SPC14-24 PC3×SPC23-17 และ PC3×SPC11-4 ซึ่งมีแนวโน้มเป็นเห็ดสายพันธุ์ดีไปเพาะทดสอบคุณภาพและผลผลิตในฟาร์มเกษตรกรในพื้นที่อื่น ๆ เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีศักยภาพในการขยายผลเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคตต่อไป อย่างไรก็ตาม การทดลองนี้ได้ทดสอบเพียงรอบการผลิตเดียวในช่วงเวลาเดียว ดังนั้นจึงควรทดสอบการให้ผลผลิตเพิ่มเติมในแต่ละช่วงเวลาและพื้นที่อื่นเพิ่มเติมเพื่อดูความแปรปรวน

และการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม ซึ่งเมื่อการทดสอบเสร็จสิ้นจะทำให้ได้เห็ดเป๋าฮื้อสายพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูงและมีคุณลักษณะดีและเหมาะสมเพื่อใช้ผลิตเป็นการค้าเพื่อแนะนำเกษตรกรในอนาคต ซึ่งจะทำให้เห็ดเป๋าฮื้อของประเทศไทยมีคุณภาพดีและให้ผลผลิตสูง

### สรุปผลการทดลอง

การปรับปรุงพันธุ์เห็ดเป๋าฮื้อด้วยวิธีการผสมพันธุ์แบบ di-mon mating เพื่อให้ได้ลูกผสมสายพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูงและมีคุณลักษณะดี ได้ลูกผสม 14 คู่ผสม พบว่า เห็ดเป๋าฮื้อลูกผสม P3×SPC21-1 P3×SPC15-7 และ P3×SPC23-6 ใช้เวลาในการเจริญจนเต็มถุงอาหารเพาะเร็วที่สุดเฉลี่ย 55.4–57.2 วัน ซึ่งเร็วกว่าเห็ดเป๋าฮื้อ3 เห็ดเป๋าฮื้อลูกผสม PC3×SPC21-1 และ PC3×SPC21-4 ใช้เวลาเฉลี่ยในการออกดอกเร็วที่สุด 14.9 และ 15.1 วัน ตามลำดับ ซึ่งเร็วกว่าเห็ดเป๋าฮื้อ3 การให้ผลผลิตหลังการเปิดดอกเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า เห็ดเป๋าฮื้อลูกผสม PC3×SPC21-1 และ PC3×SPC21-4 ให้ผลผลิตสูงที่สุด 150.7 และ 149.9 ก./ถุง ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกับเห็ดเป๋าฮื้อ3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดอกเห็ดเป๋าฮื้อลูกผสมที่ได้ทั้ง 14 สายพันธุ์ จัดตามลักษณะดอกเห็ดได้ 3 กลุ่ม 1) ลักษณะหมวกดอกรูปร่างคล้ายพัด 2) ลักษณะหมวกดอกรูปทรงกรวย 3) ลักษณะดอกค่อนข้างแบน ทรงยาวรี ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเห็ดสด พบว่า เห็ดเป๋าฮื้อลูกผสมจำนวน 8 สายพันธุ์ มีปริมาณโปรตีน 2.08–2.81 ก./100 ก. สูงกว่าเห็ดเป๋าฮื้อ3 และจากผลการทดลองได้ทำการคัดเลือกเห็ดเป๋าฮื้อลูกผสมมีคุณลักษณะดีโดยใช้เกณฑ์ 1) ความสามารถในการให้ผลผลิต 2) การออกดอกเร็วและออกดอกพร้อมกัน 3) ระยะเวลาการบ่มเส้นใยในถุงอาหารเพาะ และ 4) ดอกมีขนาดและสีตรงตามความต้องการของตลาด คัดเลือกได้ 4

สายพันธุ์ ได้แก่ PC3×SPC21-1 PC3×SPC14-24 PC3×SPC23-17 และ PC3×SPC11-4 เพื่อนำไปเพาะทดสอบผลผลิตและคุณลักษณะในฟาร์มเกษตรกรในพื้นที่ และคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีศักยภาพในการขยายผลเชิงพาณิชย์เพื่อนำเกษตรกรต่อไป

### คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) เพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (fundamental fund: FF) ผ่านการจัดสรรงบประมาณจากกรมวิชาการเกษตร ขอขอบคุณคุณอนุสรณ์ วัฒนกุล ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อเห็ดเป่าฮื้อรหัสการทดลอง PC 15 และขอขอบคุณสำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร ที่อำนวยความสะดวกด้านวัสดุอุปกรณ์ บุคลากร และสถานที่ทำวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

ธนภักษ์ อินยอด สุพัตรา เปี่ยมวารี สรวีศ แจ่มจรรยา วันทนา สะสมทรัพย์ สาวิตรี วีระเสถียร และสุริวิภา สังขาร. 2554. สาร  $\beta$ -glucan ในเห็ดเป่าฮื้อชนิดก้านสั้นและก้านยาว เห็ดนางฟ้าภูฐาน และเห็ดหูหนู. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42(พิเศษ 2): 650-652.

นันทวดี คำสงฆ์. 2549. การสร้างและตรวจลูกผสมระหว่างเห็ดหอม เห็ดขอนขาว และเห็ดบดโดยวิธี Mon-mon Mating และ Di-mon Mating. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 139 หน้า.

พิมพ์กานต์ อารัมพงษ์พันธ์. 2544. การเพาะเห็ดสกุลนางรม เห็ดหูหนู เห็ดตีนแรด และเห็ดยานางิ. กองโรคพืชและจุลชีววิทยา กรมวิชาการเกษตร. หน้า 13-18. ใน: การเพาะเห็ดเศรษฐกิจ. ศุภนิติย์ หิรัญประดิษฐ์ และอภิญา สุราษฎร์. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด. กรุงเทพฯ.

ภัทรารณ อีระทะ และวิเชียร ภู่ว่าง. 2540. การปรับปรุงพันธุ์เห็ดนางรมสีเทาโดยการผสมพันธุ์. วารสารเกษตร. 13(1): 9-18

รัชฎาภรณ์ ทองเหม สุวลักษณ์ ชัยชูโชติ ธาณี สุโกมล อุบลัมภ์ อุ๋นใจ ฉันทชนก นาใต้ ศรีรัตน์ บุพโต และพัทยา เทพเดช. 2560. การปรับปรุงพันธุ์เห็ดภูฐานลูกผสมสายพันธุ์ใหม่โดยวิธี Di-mon mating. วารสารวิชาการเกษตร. 35(3): 257-269.

รัชฎาภรณ์ ทองเหม จิตรา กิตติโมรากุล วิภาวี ชื่นโรจน์ และภรณ์ สว่างศรี. 2565. โครงการวิจัยการปรับปรุงพันธุ์เห็ดเป่าฮื้อและเห็ดยานางิเพื่อขยายผลเชิงพาณิชย์. ใน: รายงานผลสัมฤทธิ์สำหรับทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ปี 2565. กรมวิชาการเกษตร.

ศิริพร เดชะอุป และวิเชียร ภู่ว่าง. 2544. การปรับปรุงพันธุ์เห็ดหอมโดยการผสมพันธุ์ระหว่างเส้นใยนิวเคลียสคู่กับเส้นใยนิวเคลียสเดี่ยว. วารสารเกษตร. 17(1): 50-58.

สดศรี เนียมเปรม สุภาวดี ชนะพาล กุศล เอี่ยมทรัพย์ มนทิณี กมลธรรม จุติณัฐ ธนกิจวนิชกุล และชนะ พรหมทอง. 2556. การพัฒนากรรมวิธีการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบเห็ดภายหลังการเก็บเกี่ยว. ใน: รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์). สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปทุมธานี.

สัณชัย ตันตยาภรณ์. 2521. แนวทางการปรับปรุงพันธุ์เห็ด. สมาคมนักวิจัยและเพาะเห็ดแห่งประเทศไทย. หน้า 31-39. ใน: ที่ระลึกในพิธีเปิดป้ายสมาคมนักวิจัยและเพาะเห็ดแห่งประเทศไทย. สมาคมนักวิจัยและเพาะเห็ดแห่งประเทศไทย.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2555. มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 1514-2555 เห็ดสกุลนางรม. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 15 หน้า.

อนุสรณ์ วัฒนกุล กรกช จันทร และวราพร ไชยมา. 2561. การคัดเลือกและประเมินสายพันธุ์เห็ดเป่าฮื้อเพื่อการใช้ประโยชน์. ใน: รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด โครงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเห็ด. กรมวิชาการเกษตร.

- อนุสรณ์ วัฒนกุล กรกช จันทร รัชฎาภรณ์ ทองเหม สุวลักษณ์ ชัยชูโชติ. 2564. ศึกษาประสิทธิภาพการให้ผลผลิต และคุณภาพของเห็ดเป๋าฮื้อสายพันธุ์ดีในฟาร์ม เกษตรกร. ใน: รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลอง ที่สิ้นสุด ปีงบประมาณ 2563. แผนงานวิจัย: การวิจัย และพัฒนาการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์จากความ หลากหลายทางชีวภาพของพืชและจุลินทรีย์เพื่อเพิ่ม มูลค่าและพัฒนานวัตกรรม. โครงการวิจัย: การเพิ่ม ประสิทธิภาพการผลิตเห็ดเศรษฐกิจ. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/plan/wp-content/uploads/2023/08/2817.pdf>. สืบค้น: 23 มกราคม 2568.
- Carrillo, R.R., C.M. Carona and H. Leal. 2011. Strain improvement of edible fungi with *Pleurotus eryngii* Neohaplonts. pp 62–70. In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP7), Section: Genomics, Genetics and Breeding. France.
- Ching, L.C., N. Abdullah and A.S. Shuib. 2011. Characterization of antihypertensive peptides from *Pleurotus cystidiosus* O.K. Miller (Abalone Mushroom). pp. 314-323. In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products.
- Eger, G. 1978. Biology and breeding of *Pleurotus ostreatus* pp. 497–517. In: The Biology and Cultivation of Edible Mushroom. Academic Press, New York.
- Rizzo, D.M. and G. May. 1994. Nuclear replacement during mating in *Armillaria ostoyae* (Basidiomycotina). Microbiology. 140(8): 2115-2124.
- Kues, U. 2000. Life history and developmental processes in the basiomycete *Coprinus cinereus*. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 64(2): 316-353.
- Srivilai, P. and P., Loutchanwoot. 2009. *Coprinopsis cinerea* as a model fungus to evaluate genes underlying sexual development in basidiomycetes. Pakistan Journal of Biological Sciences. 12(11): 821–835.
- Srivilai, P., A. Prommetta and P. Loutchanwoot. 2012. Nuclear migration behavior of *Coprinopsis cinerea*, during the mono-karyotic mating and the relationship between the clamp cell number and fruiting body formation. Genomics and Genetics. 5(1): 34-49.
- Suhaili, M., M.A.R. Nor-Khaizura, Z.A. Nur Hanani, N.I.P. Samsudin and N.N. Jambari. 2021. Assessment of microbiological safety and physicochemical changes of Grey Oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) during storage at 4 °C and 25 °C. Sains Malaysiana. 50(10): 2993-3002.

การพัฒนาเครื่องลำเลียงและสับเหง้ามันสำปะหลังต่อพ่วงสามจุดกับรถแทรกเตอร์  
Development of Cassava Root Cluster Conveyor and Root Cutting Machine  
Connected to the Three Point Free Link Attachment of Farm Tractor

ทยาวิทย์ หนูบุญ<sup>1/</sup> จันทนา สันตพัฒน์<sup>1/</sup> อนุชิต ฉ่ำสิงห์<sup>2/</sup> ยงยุทธ์ เสี่ยงดัง<sup>1/\*</sup>

Thayawee Nuboon<sup>1/</sup> Jantana Suntudprom<sup>1/</sup> Anuchit Chamsing<sup>2/</sup> Yongyuth Siangdang<sup>1/\*</sup>

*Received 31 May 2024/Revised 2 Oct. 2024/Accepted 2 Oct. 2024*

## ABSTRACT

In harvesting cassava, the process of transporting and cutting tubers from root clusters has no labor-saving machine. The objective of this research was to develop a conveyor and cutting machine attached to a tractor for use in the harvesting process of cassava root clusters in the field. Cassava variety Kasetsart50 was used for machine testing. The average width of cassava tubers with stumps was 56.5 cm, the average diameter of the stumps was 5.9 cm, the maximum distance of the tuber attached to the stump was 6 cm and the minimum height from the bottom of the root cluster to the handheld position was 10 cm. Results from the laboratory performance test, which machine was run by attaching the conveyor and cutting section to the three-point hitch of a tractor, showed that the steel mesh conveyor plate at a conveying inclination angle of 20 degrees had a conveying efficiency of 97%, with a maximum conveying capacity of 1,870 kg/hr. The blade diameter of 5.6 cm at a rotational speed of 800 rpm had the highest cutting efficiency of 72.9%. The lowest adulterated root cluster was 27.1%, the percentage of loss was 0.04%, and the cutting capacity was 660 kg/hr or 263 root clusters/hr. Results from the machine performance test in the field showed that the average conveying efficiency was 95.3% or a conveying rate of 2,634 kg/hr. The average fuel consumption was 2.42 l/hr. The average cutting efficiency was 85.4%. The average adulterated cassava root cluster fraction was 12.9%. The average loss was 1.65%. The cutting capacity was 481 kg/hr or 276 root clusters/hr. The cassava root cluster conveyor and root cutting machine connected to the three-point free link attachment of the farm tractor can operate efficiently.

**Keywords:** cassava-root clusters; chopper; three-point hitch

---

<sup>1/</sup> สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา 30000

<sup>1/</sup> Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

<sup>2/</sup> สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>2/</sup> Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Phahonyothin Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

\* Corresponding author: yongyuth@rmuti.ac.th

## บทคัดย่อ

การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังมีการลำเลียงและการสับเหง้าเป็นขั้นตอนที่ยังไม่มีเครื่องทุ่นแรงมาทดแทน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดลำเลียงและตัดเหง้ามันสำปะหลังติดท้ายรถแทรกเตอร์ โดยใช้ในแปลงกับกองมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ซึ่งมีความกว้างของการกระจายตัวหัวมันเฉลี่ย 56.5 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางเหง้าเฉลี่ย 5.9 ซม. ค่าสูงสุดของระยะของหัวมันที่ติดกับเหง้า 6 ซม. ระยะจากตำแหน่งล่างสุดของเหง้าถึงตำแหน่งมือจับต่ำสุด 10 ซม. ผลการทดสอบประสิทธิภาพในโรงงานปฏิบัติการในการลำเลียงและตัดของเครื่องมือเมื่อทำงานโดยการติดท้ายรถแทรกเตอร์ พบว่า แผ่นลำเลียงแบบตะแกรงเหล็กฉีกที่มุมเอียงการลำเลียง 20° มีประสิทธิภาพในการลำเลียง 97% มีอัตราการลำเลียงสูงสุด 1,870 กก./ชม. เส้นผ่านศูนย์กลางใบเลื่อยขนาด 5.6 ซม. ที่ 800 รอบ/นาที มีประสิทธิภาพการตัดสูงสุด 72.9% มีส่วนของเหง้าปนน้อยที่สุด 27.1% มีการสูญเสีย 0.04% มีความสามารถในการตัด 660 กก./ชม. หรือ 263 เหง้า/ชม. ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพในแปลงทดสอบพบว่า มีประสิทธิภาพในการลำเลียงเฉลี่ย 95.3% มีอัตราการลำเลียงเฉลี่ย 2,634 กก./ชม. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 2.42 ล./ชม. มีประสิทธิภาพในการตัดเฉลี่ย 85.4% มีเหง้ามันเจือปนเฉลี่ย 12.9% มีการสูญเสียเฉลี่ย 1.65% มีความสามารถในการตัด 481 กก./ชม. หรือ 276 เหง้า/ชม. เครื่องลำเลียงและสับเหง้ามันสำปะหลังต่อพ่วงสามจุดกับรถแทรกเตอร์นี้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ:** เหง้ามันสำปะหลัง; เครื่องตัด; จุดต่อพ่วงสามจุด

## บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตมันสำปะหลังที่สำคัญมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังประมาณ 10 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, มปป.) ในการผลิตมันสำปะหลังหลังนั้น การเก็บเกี่ยวเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญ ประกอบด้วย การตัดยอดและต้น การขุดและรวบรวมเหง้ามันเป็นกอง ๆ ในแปลง การสับเหง้าและการรวบรวมหัวมันลำเลียงขึ้นรถ แต่ละขั้นตอนใช้แรงงานมาก การขุดหัวมันเป็นขั้นตอนที่นักวิจัยทำการวิจัยมากที่สุด (เสรี, 2550 และ 2551; อนุชิต, 2552; Amponsah, 2011; Yulan et al., 2012; Akinwonmi and Andoh, 2013; Adebija et al., 2018) การวิจัยด้านอื่นมีค่อนข้างน้อย เช่น การขุดและรวบรวมเหง้ามันเป็นกองในแปลง (ธนวัศ, 2554) และการถอนหัวมันขึ้นโดยตรง (วิชา และคณะ, 2554) ซึ่งยังใช้แรงงานคนเป็นหลัก

การรวบรวมเหง้ามันที่ขุดวางเป็นกอง ๆ แล้วทำการสับ แยกหัวมันออกจากต้นมันสำปะหลัง ยังไม่มีเครื่องทุ่นแรงเข้ามาช่วย เนื่องจากมีความซับซ้อนในการเลือกตำแหน่งที่ต้องสับเพื่อแยกหัวมันสำปะหลังออกจากส่วนเหง้าของมันสำปะหลัง นักวิจัยหลายท่านจึงพยายามทำเครื่องสับหรือปลดเหง้ามันสำปะหลัง (อนุชิต, 2553; จตุรงค์ และคณะ, 2555; พยุงศักดิ์ และคณะ, 2557; ศักดิ์ชัย และคณะ, 2559) ในการสับหรือปลดหัวมันออกจากส่วนเหง้า ซึ่งใช้ใบเลื่อยอยู่ 2 แบบคือ ใบเลื่อยวงเดือนกับใบเลื่อยทรงกระบอก แต่พบว่าใบเลื่อยแบบวงเดือนเลื่อยตัดเข้าไปทำให้หัวมันที่อยู่ใกล้เคียงได้รับความเสียหายมากกว่า จึงแก้ปัญหาโดยเลือกใช้ใบเลื่อยแบบทรงกระบอก และเมื่อสับหรือปลดหัวมันสำปะหลังออกเหง้าแล้วจึงทำการรวบรวมเพื่อลำเลียงขึ้นรถเพื่อส่งโรงงาน (เอกภาพ และชัยยันต์, 2556; วุฒิพล และคณะ, 2558) ซึ่งเป็นการลำเลียงเฉพาะหัวมันที่สับแล้วเท่านั้น แต่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องสำหรับลำเลียงเหง้ามันหลังการขุดที่วางเป็นกอง ๆ ในแปลง เพื่อส่งไปยังส่วนเครื่องสับที่สร้างขึ้น

ใหม่โดยใช้ใบเลื่อยแบบทรงกระบอก เพื่อแยกหัวมัน  
สำหรับหลังจากออกจากเหง้า แล้วรวบรวมหัวลำเลียงขึ้นรถ  
เพื่อส่งโรงงานต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. ศึกษาข้อมูลที่เป็นต้องใช้ในการออกแบบ

ใช้มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 อายุ  
เก็บเกี่ยว 1 ปี ศึกษาข้อมูลที่เป็นต้องใช้ในการ  
ออกแบบ ได้แก่

1.1 ความกว้างของการกระจายตัวหัว  
มันสำปะหลัง เพื่อใช้ในการออกแบบความกว้างของ  
ชุดลำเลียงเหง้ามันสำปะหลังจากพื้นในแปลง

1.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหง้า  
มันสำปะหลัง เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบเส้นผ่าน  
ศูนย์กลางของใบเลื่อยหมุนรูปทรงกระบอก

1.3 ระยะความสูงของหัวมันที่ติดกับเหง้า  
มันสำปะหลัง เพื่อใช้ในการออกแบบความสูงของใบ  
เลื่อยหมุนรูปทรงกระบอกและระยะการเคลื่อนที่ของ  
ใบเลื่อย

1.4 ความสูงของเหง้ามันสำปะหลังถึง  
ตำแหน่งมือจับ เพื่อใช้ในการออกแบบชุดป้องกัน  
ความปลอดภัย

### 2. การออกแบบและสร้าง

ระบบมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่

#### 2.1 ชุดลำเลียง

ชุดลำเลียงออกแบบให้อยู่ทางด้านขวาของ  
เครื่อง สามารถหมุนไปด้านหลังเพื่อเก็บ เมื่อต้องการ  
เคลื่อนย้ายหรือไม่ใช้งาน กลไกการลำเลียงใช้โซ่  
ลำเลียง 2 เส้น คล้องบนเฟืองโซ่เบอร์ 60 จำนวน 18 ฟัน  
ที่ติดตั้งบนเพลานขนาด 20 มม. ทั้งด้านบนและ  
ด้านล่างห่างกัน 2 ม. จึงเกิดการเคลื่อนที่พร้อมกันได้  
ระหว่างโซ่ 2 เส้น ติดตั้งแผ่นตะแกรงเหล็กฉีกขนาด  
ตา 2 นิ้ว ตามข้อโซ่เพื่อการยึดหยุ่นในการเคลื่อนที่  
และให้ดินหลุดออกในขณะที่ลำเลียง (Figure 1)



Figure 1 Cassava-root cluster conveyor drawing

#### 2.2 ชุดตัดหัวมันออกจากเหง้ามัน

##### 2.2.1 ชุดตัด

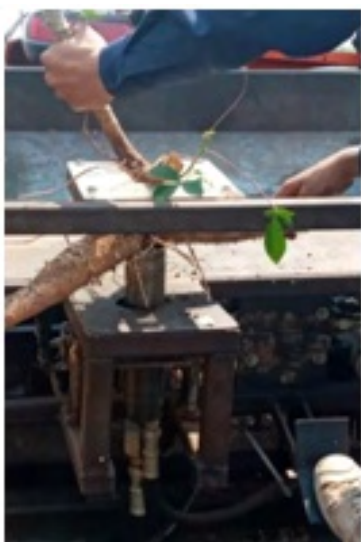
ออกแบบให้มีลักษณะเป็นใบเลื่อย  
ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของใบ  
เลื่อยได้มาจากการคำนวณในข้อ 1 ปลายด้านบนของ  
ทรงกระบอกมีพื้นเหมือนพื้นใบเลื่อยโดยรอบเพื่อใช้  
สำหรับหมุนตัดเหง้ามัน ด้านล่างจับยึดกับแกน  
มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ที่สามารถถอดเปลี่ยนใบเลื่อยได้  
(Figure 2)



Figure 2 Cylindrical blade for cutting

##### 2.2.2 กลไกการเคลื่อนที่ขึ้นลง

ใบเลื่อยจะหมุนในตำแหน่งเคลื่อนที่ลง  
ต่ำสุด เมื่อใช้เท้าเหยียบแป้นควบคุมใบเลื่อยจะ  
เคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนทำการตัดหัวมันออกจากเหง้า  
มันสำปะหลังตามผลการศึกษาข้อ 1 ความเร็วในการ  
หมุนและการเคลื่อนที่ของใบเลื่อยสามารถปรับได้ด้วย  
วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Figure 3)



**Figure 3** Cassava root cutting using hole saw set for cutting

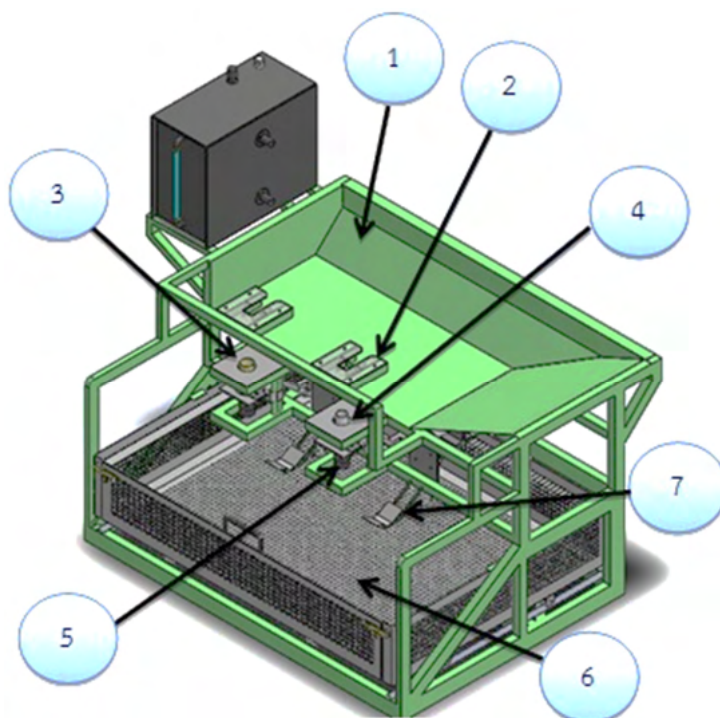
### 2.2.3 อุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัย

ใบเลื่อยหมุนซ่อนไว้ในช่องของแผ่นวางเหง้ามันสำปะหลังเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ใบเลื่อยจะเคลื่อนที่ขึ้นมาได้เมื่อผู้ใช้งานเหยียบแป้น

ควบคุม ด้านบนของใบเลื่อยติดตั้งแผ่นอะคริลิกใสเพื่อมองเห็นการทำงาน และป้องกันเศษการตัดกระเด็น ตรงกลางของแผ่นอะคริลิกเซาะเป็นร่องเพื่อจับเหง้าให้ตรงกับใบเลื่อยตัด ขณะเดียวกันเพื่อป้องกันมือของผู้ใช้งานที่จับเหง้าลงไปต่ำเกินไป (Figure 4)

### 2.2.4 ถาดวางและกระบะรองรับหัวมันสำปะหลัง

เหง้ามันสำปะหลังที่ลำเลียงขึ้นมาสไลด์ลงบนถาดวางด้านหน้าของผู้ทำหน้าที่ในการตัด และเมื่อตัดเสร็จแล้วสิ่งที่ตัดได้จะตกลงสู่กระบะรองรับด้านล่าง โครงสร้างหลักของกระบะรองรับสร้างมาจากเหล็กฉากบุด้วยแผ่นเหล็กฉีกเพื่อให้ดินทรายและเศษการตัดทะลุออกไปได้ กระบะรองรับสามารถเปิดขอบด้านหลังเพื่อกวาดลงสู่ภาชนะหรือใช้รถยกทั้งกระบะไปเทหัวมันสำปะหลังใส่รถบรรทุกได้ (Figure 4)



**Figure 4** A set for cutting cassava tubers from stump showing supporting tray (1), safety protection device (2), blade diameter of 5.6 cm (3), blade diameter of 4.7 cm (4), hydraulic motor (5), cassava pickup tray (6), control pedal (7)

## 2.3 ชุดส่งกำลัง

ปั๊มไฮดรอลิกส์ขนาด 55 มล. ทดรอบ  
เพิ่มด้วยเกียร์ทดรับกำลังขับมาจากเพลาลำเลียงกำลัง  
ของรถแทรกเตอร์ มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ขนาด 50 มล.  
ตัวหนึ่งทำหน้าที่ขับโซ่ของระบบลำเลียง มอเตอร์  
ไฮดรอลิกส์ขนาด 20 มล. อีก 2 ตัวทำหน้าที่หมุนขับ  
ใบเลื่อยตัดสองชุด กระบอกลำเลียงขนาดแกน 25 มม.  
ระยะชัก 125 มม. อีก 2 ตัว (เป็นกระบอกลำเลียง  
ดัดแปลง) ทำหน้าที่เลื่อนกลไกใบเลื่อยให้เคลื่อนที่ขึ้น  
ลง อุปกรณ์ทำงานทุกตัวควบคุมความเร็วได้ด้วยวาล์ว  
ควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ แต่ในการ  
ใช้งานเป็นเวลานานน้ำมันไฮดรอลิกส์จะเกิดความ  
ร้อนถึงแม้ว่าจะใช้น้ำมันไฮดรอลิกส์ที่มีขนาดใหญ่  
แล้วก็ตาม จึงติดตั้งแผงระบายความร้อนด้วยพัดลม  
ไฟฟ้าดีซีเพิ่มเติม (Figure 4)

การใช้งานขั้วรถแทรกเตอร์ที่ต่อพ่วง  
เครื่องลำเลียงและสับเหง้ามันสำปะหลังไปจอด  
บริเวณด้านข้างของกองเหง้ามันสำปะหลัง หมุนปรับ  
ชุดลำเลียงให้ตรงกับกองเหง้ามันสำปะหลัง ใช้  
แรงงาน 1-2 คน กวาดเหง้ามันสำปะหลังจากกองที่  
พื้นแปลงขึ้นชุดลำเลียง เหง้าถูกชุดลำเลียงส่งขึ้นมา  
วางไว้บนถาดรองรับ แรงงานอีก 2 คนทำหน้าที่สับ  
เหง้ามันสำปะหลัง โดยการจับที่ด้านบนของเหง้ามัน  
สำปะหลัง ป้อนเข้าสู่ชุดตัด หัวมันสำปะหลังที่ตัดได้  
จะตกลงสู่กระบะรองรับ ส่วนที่เหลือจะถูกโยนออก  
นอกตัวเครื่อง (Figure 5)



Figure 5 Testing conveyor and cutting machine attached to a tractor for harvesting cassava in the field

## 3. การทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงาน

### 3.1 การทดสอบในโรงงานปฏิบัติการ

#### 3.1.1 การทดสอบชุดลำเลียง

แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

##### 3.1.1.1 การทดสอบแผ่นลำเลียง

เป็นการทดสอบความสามารถ  
ลำเลียงเหง้ามันสำปะหลังจากพื้นไปวางไว้บนถาด  
รองรับของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นพื้น 2 ชนิด ได้แก่  
แผ่นเหล็กฉีก และแผ่นเหล็กฉีกติดแผ่นฟองน้ำ  
ด้วยค่าซึ่ผล ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพในการลำเลียง (\%)} = ((\text{นน.เหง้ามันสำปะหลังที่ลำเลียงได้ (กก.)} / \text{นน.เหง้ามันสำปะหลังที่ใช้ในการลำเลียงทั้งหมด (กก.)}) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{การลำเลียงไม่ได้ (\%)} = ((\text{นน.เหง้ามันสำปะหลังที่ลำเลียงไม่ได้ (กก.)} / \text{นน.เหง้ามันสำปะหลังที่ใช้ในการลำเลียงทั้งหมด (กก.)}) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{อัตราการลำเลียง (kg/hr)} = \text{นน.เหง้ามันสำปะหลังที่ใช้ในการลำเลียงทั้งหมด (กก.)} / \text{เวลาที่ใช้ในการลำเลียง (ชม.)} \quad (3)$$

3.1.1.2 การทดสอบมุมเอียงในการลำเลียง  
เป็นการทดสอบมุมที่เหมาะสมในการ  
ลำเลียงเห้งน้ำมันสำปะหลังจากพื้นไปวางไว้บนถาด  
รองรับโดยใช้แผ่นลำเลียงที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ  
3.1.1.1 ทดลองที่มุมเอียง 20 30 และ 40° ใช้ค่าชี้ผล  
เดียวกันกับข้อ 3.1.1.1

3.1.2 การทดสอบชุดตัด  
ใช้ใบเลื่อยตัดรูปทรงกระบอกที่มีเส้น  
ผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน 2 ขนาด ได้แก่ 4.7 และ  
5.6 ซม. ซึ่งได้มาจากการคำนวณข้อ 1 แยกเห้งน้ำมัน  
คละกันเป็นกอง ๆ ประมาณ 10 กก. ทดสอบการตัด  
ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ จำนวน 3 ชั่วโมง มีค่าชี้ผล ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการตัด (\%)} = ((\text{นน.เห้งน้ำมันสำปะหลังที่ตัดได้ (กก.)} / \text{นน.เห้งน้ำมันสำปะหลังที่ใช้ในการตัดทั้งหมด (กก.)}) \times 100) \quad (4)$$

$$\text{เศษเห้งน้ำมันสำปะหลังเจือปน (\%)} = ((\text{นน.เศษเห้งน้ำมันสำปะหลังเจือปน (กก.)} / \text{นน.เห้งน้ำมันสำปะหลังที่ใช้ในการตัดทั้งหมด (กก.)}) \times 100) \quad (5)$$

$$\text{การสูญเสีย (\%)} = ((\text{เห้งน้ำมันสำปะหลังที่ตัดไม่หมด (กก.)} / \text{นน.เห้งน้ำมันสำปะหลังที่ใช้ในการตัดทั้งหมด (กก.)}) \times 100) \quad (6)$$

$$\text{ความสามารถในการทำงาน (เห้ง/ชม.)} = \text{จำนวนเห้ง/เวลาที่ใช้ในการตัด (ชม.)} \quad (7)$$

$$\text{ความสามารถในการทำงาน (กก./ชม.)} = \text{นน.เห้งน้ำมันสำปะหลังที่ตัดได้ (กก.)} / \text{เวลาที่ใช้ในการตัด (ชม.)} \quad (8)$$

### 3.2 การทดสอบในแปลงมันสำปะหลัง

แยกการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนและใช้ค่า  
ชี้ผลเช่นเดียวกับการทดสอบในโรงงานปฏิบัติการ  
ได้แก่ การทดสอบระบบลำเลียง กับ การทดสอบชุดตัด  
โดยใช้ตัวแปรที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดสอบในโรงงาน  
ปฏิบัติการ

5.9 ซม. (Table 1) จึงแบ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของ  
ใบเลื่อยออกเป็น 2 ขนาด ได้แก่ขนาดเส้นผ่าน  
ศูนย์กลาง 4.7 กับ 5.6 ซม.

1.3 ระยะของเห้งน้ำมันที่ติดกับเห้ง  
มันสำปะหลัง

ค่าสูงสุดของระยะของเห้งน้ำมันที่ติดกับ  
เห้งมันสำปะหลัง 6 ซม. ต่ำสุด 3 ซม. และเฉลี่ย 4.1  
ซม. (Table 1) จึงออกแบบให้กลไกการเคลื่อนที่ขึ้น  
ลงเคลื่อนได้สูงสุด 8 ซม.

1.4 ความสูงจากตำแหน่งล่างสุดของเห้ง  
มันสำปะหลังถึงตำแหน่งมือจับ

ค่าสูงสุดของความสูงจากตำแหน่ง  
ล่างสุดของเห้งมันสำปะหลังถึงตำแหน่งมือจับ 20  
ซม. ต่ำสุด 10 ซม. และเฉลี่ย 14.7 ซม. (Table 1) จึง  
ออกแบบให้แผ่นอะคริลิกใสอยู่สูงกว่าแผ่นวางเห้ง  
มันสำปะหลัง 20 ซม.

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 1. ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบ

1.1 ความกว้างของการกระจายเห้งมันสำปะหลัง  
จากการศึกษาความกว้างของการ  
กระจายเห้งมันสำปะหลังที่มีผลต่อการลำเลียง จำนวน  
60 เห้ง พบว่า มีความกว้างสูงสุด 98 ซม. สั้นสุด 26 ซม.  
และเฉลี่ย 56.5 ซม. (Table 1) จึงออกแบบให้ชุด  
ลำเลียงมีความกว้าง 60 ซม.

1.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเห้งมันสำปะหลัง  
ค่าสูงสุดของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  
เห้งมันสำปะหลัง 5.11 ซม. ต่ำสุด 3.8 ซม. และเฉลี่ย

**Table 1** Physical characteristics of cassava variety Kasetart50 that affected conveyor and cutting machine

| Size    | Width of cassava-root clusters (cm) | Diameter of stump (cm) | Distance of the tuber attached to the stump (cm) | Height from the bottom of the cassava-root clusters to the handle (cm) |
|---------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Max.    | 98                                  | 5.11                   | 6                                                | 20                                                                     |
| Min.    | 26                                  | 3.8                    | 3                                                | 10                                                                     |
| Average | 56.5                                | 5.9                    | 4.1                                              | 14.7                                                                   |
| SD      | 15                                  | 0.61                   | 1.1                                              | 2.95                                                                   |

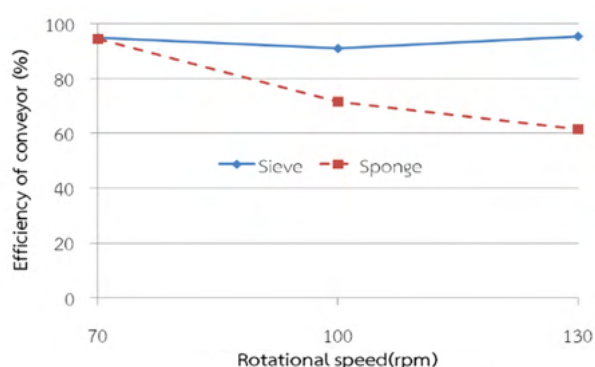
## 2. ผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงาน

### 2.1 การทดสอบในโรงงานปฏิบัติการ

#### 2.1.1 การทดสอบชุดลำเลียง

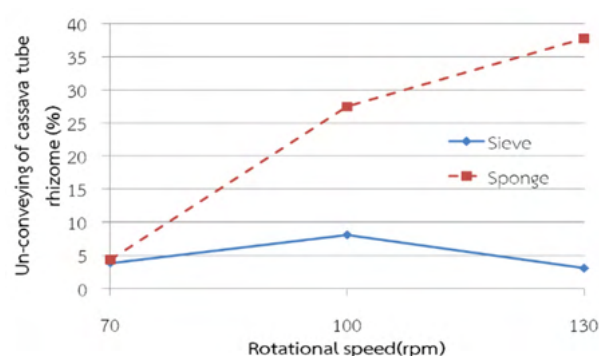
##### 2.1.1.1 การทดสอบแผ่นลำเลียง

ประสิทธิภาพในการลำเลียงของแผ่นตะแกรงฉีกไม้แตกต่างกันทั้งสามความเร็วรอบ มีประสิทธิภาพในการลำเลียงสูงสุด 97% ที่ 130 รอบ/นาที แต่การลำเลียงของแผ่นเหล็กฉีกติดแผ่นฟองน้ำมีประสิทธิภาพสูงเมื่อมีความเร็วรอบต่ำ และประสิทธิภาพจะลดลงตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น (Figure 6) เนื่องจากการสั่นไหวจากการสั่นสะเทือนที่มากขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้น



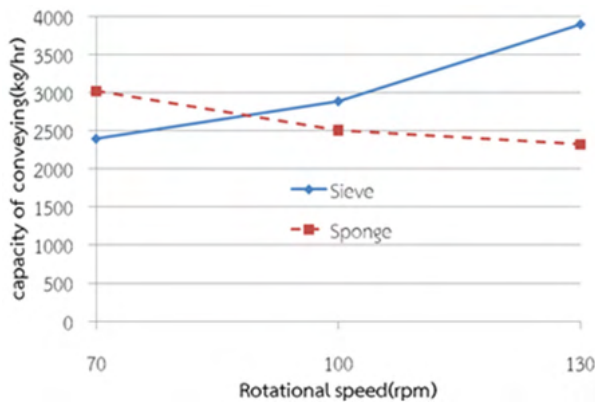
**Figure 6** Conveying efficiency of conveyor plate tests in a workshop

การลำเลียงไม่ได้ของแผ่นตะแกรงฉีกไม้แตกต่างกันทั้งสามความเร็วรอบ การลำเลียงไม่น้อยสุด 3% ที่ 130 รอบ/นาที ขณะที่แผ่นเหล็กฉีกติดแผ่นฟองน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น (Figure 7) เนื่องจากการสั่นสะเทือนส่งผลให้แรงเสียดทานระหว่างเหง้ามันสำปะหลังกับแผ่นฟองน้ำลดลง



**Figure 7** Un-conveying of cassava-root clusters at varies rotational speed of the conveyor plate test in the operating plant

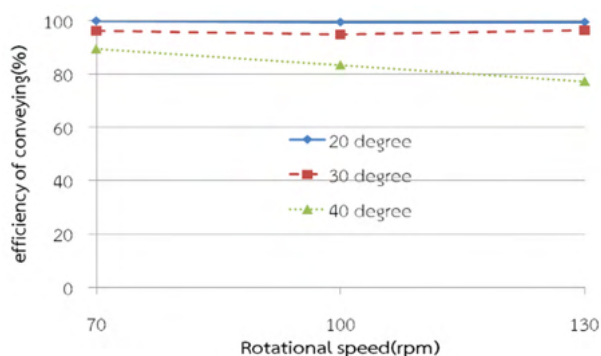
การลำเลียงของแผ่นตะแกรงเหล็กฉีกเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นมีอัตราการลำเลียงสูงสุด 3,900 กก./ชม. ที่ 130 รอบ/นาที เนื่องจากแผ่นตะแกรงฉีกมีร่องให้ยึดเกาะได้มากกว่า ขณะที่แผ่นเหล็กฉีกติดแผ่นฟองน้ำลดลงตามความเร็วที่เพิ่มขึ้น (Figure 8) เนื่องจากที่ความเร็วมากขึ้นจะเกิดการสั่นสะเทือนที่มากตามไปด้วย



**Figure 8** Conveying capacity of the conveyor plate test in the operating plant

#### 2.1.1.2 การทดสอบมุมเอียงในการลำเลียง

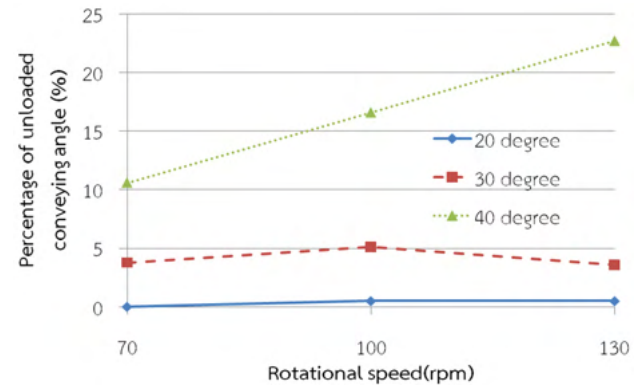
ผลการทดสอบมุมลำเลียงที่ 20° ที่ความเร็วรอบการลำเลียงแตกต่างกันทั้งสามค่า ประสิทธิภาพในการลำเลียงมีค่าไม่แตกต่างกัน สูงสุด 100% ที่ 70 รอบ/นาที เช่นเดียวกับการทดสอบมุมลำเลียงที่ 30° แต่ที่มุมลำเลียง 40° กลับพบว่า ประสิทธิภาพในการลำเลียงลดลงตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลมาจากการสั่นสะเทือนของชุดลำเลียง แต่ประสิทธิภาพในการลำเลียงลดลงตามมุมเอียงที่เพิ่มขึ้น (Figure 9)



**Figure 9** Conveying efficiency of the conveying tilt angle test in the operating plant

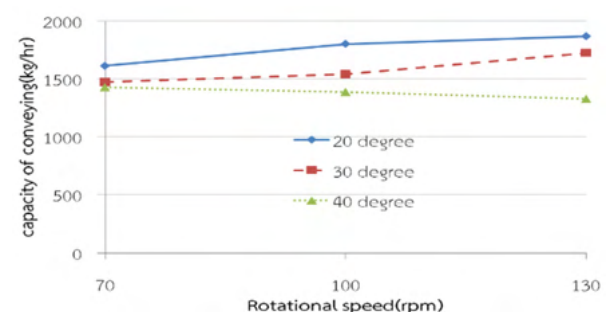
การลำเลียงไม่ได้ ไม่แตกต่างกันที่มุมลำเลียง 20 และ 30° แต่ความเร็วในการลำเลียงแตกต่างกัน ยกเว้นการลำเลียงไม่ได้ที่มุมลำเลียง 40°

เพิ่มขึ้นตามความเร็วในการลำเลียงที่เพิ่มขึ้น (Figure 10) เนื่องจากมีความชันที่มากและความเร็วรอบที่สูงขึ้น



**Figure 10** Percentage of unloaded conveying angle tests in an operating plant

การลำเลียงเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นที่มุมลำเลียง 20 และ 30° มีความสามารถในการลำเลียงสูงสุด 1,870 กก./ชม. ที่ 130 รอบ/นาที ที่มุมลำเลียง 20° แต่ที่มุมลำเลียง 40° ความสามารถในการลำเลียงลดลงตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลการสั่นสะเทือนของระบบลำเลียงรวมกับมุมเอียงที่เพิ่มขึ้น เห็นได้ความสามารถในการลำเลียงลดลงตามมุมเอียงและความชันที่เพิ่มขึ้น (Figure 11) ความสามารถในการลำเลียงของงานวิจัยนี้สูงกว่าของ ดนุวัศ (2554) และ เอกภาพ และชัยยันต์ (2556) ที่ใช้ชุดลำเลียงแบบกระพ้อ



**Figure 11** Capacity of conveying at varies speed and incline angle of conveyor in the operating plant

### 2.1.2 การทดสอบชุดการตัด

ใบเลื่อยเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5.6 ซม. มีประสิทธิภาพการตัดสูงกว่าใบเลื่อยขนาด 4.7 ซม. ที่ทุกความเร็วรอบ โดยที่ความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที มีประสิทธิภาพการตัดสูงสุด 72.9% (Figure 12) เนื่องจากมีขนาดใกล้เคียงกับเส้นผ่านศูนย์กลางเหง้ามันสำปะหลังเฉลี่ยอยู่ที่ 5.9 ซม. มากกว่า

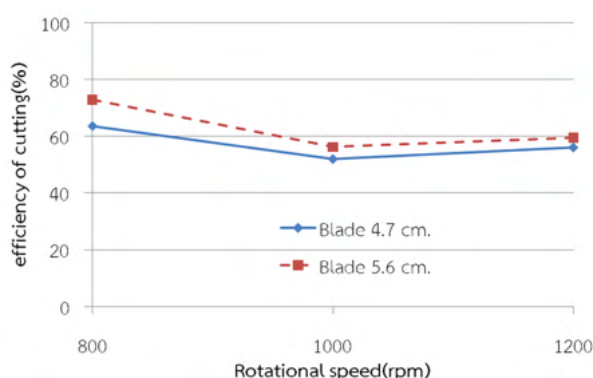


Figure 12 Cutting performance of cutting system tests in the workshop

ใบเลื่อยเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4.7 ซม. มีเศษเหง้ามันสำปะหลังเจือปนสูงกว่าใบเลื่อยเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5.6 ซม. ที่ทุกความเร็วรอบ การใช้ใบเลื่อยเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5.6 ซม. มีเศษเหง้ามันสำปะหลังเจือปนน้อยที่สุด 27.1% (Figure 13)

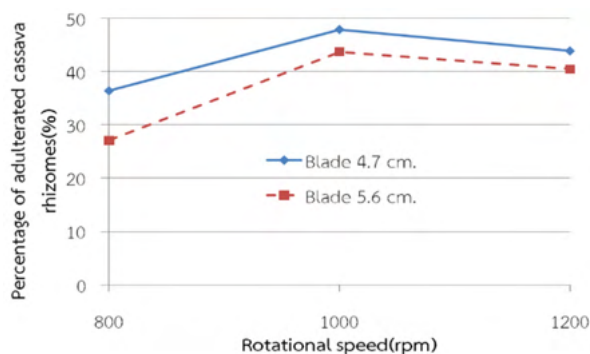


Figure 13 Percentage of adulterated cassava root cluster fraction of the cutting system test in the operating plant

ใบเลื่อยเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4.7 ซม. ที่ 1,200 รอบ/นาที มีการสูญเสียน้อยที่สุด 0.02% และใบเลื่อยเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5.6 ซม. ที่ 1,000 รอบ/นาที มีการสูญเสียน้อยที่สุด 0.03% (Figure 14) ซึ่งการสูญเสียต่ำกว่าของ ศักดิ์ชัย และคณะ (2559) ที่ใช้ใบเลื่อยตัดเป็นแบบใบวงเดือน และน้อยกว่างานวิจัยของ พยุงศักดิ์ และคณะ (2557) ส่วนที่ความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที มีการสูญเสีย 0.04%

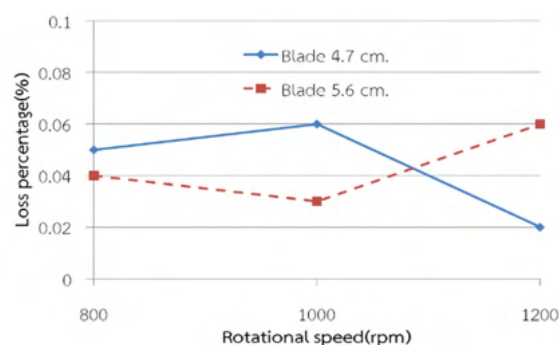


Figure 14 Loss percentage of cutting system tests in operating plants

ใบเลื่อยเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4.7 ซม. ที่ 1,000 รอบ/นาที มีความสามารถในการทำงานสูงสุด 540 กก./ชม. หรือ 215 เหง้า/ชม. และใบเลื่อยเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5.6 ซม. ที่ความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที มีความสามารถในการทำงานสูงสุด 660 กก./ชม. หรือ 263 เหง้า/ชั่วโมง (Figure 15) ไม่มีแนวโน้มแน่นอน ทั้งนี้ อาจเนื่องจากเหง้ามันแต่ละเหง้ามีลักษณะการกระจายตัวแตกต่างกันส่งผลทำให้ใช้เวลาในการตัดแต่ละเหง้าไม่แน่นอน

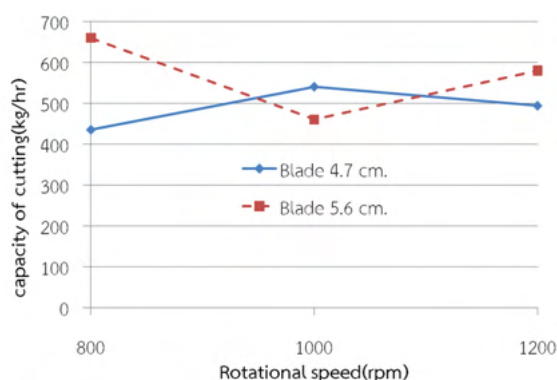


Figure 15 Cutting capacity of cutting system tests in the workshop

## 2.2 การทดสอบในแปลงมันสำปะหลัง

### 2.2.1 การทดสอบชุดลำเลียง

จากการทดสอบชุดลำเลียงในแปลง พบว่า มีประสิทธิภาพในการลำเลียงเฉลี่ย 95.3% การลำเลียงไม่ได้เฉลี่ย 4.7% อัตราการลำเลียงเฉลี่ย 2,634 กก./ชม. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 2.42 ล./ชม. หรือ 1,118 กก./ล. (Table 2) ซึ่งอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่างานวิจัยของจตุรงค์และคณะ (2555)

Table 2 Results from conveyor test in the field

| Parameter             | Average value | Unit  |
|-----------------------|---------------|-------|
| Conveying efficiency  | 95.3          | %     |
| Un-conveying          | 4.7           | %     |
| Capacity of conveying | 2,634         | kg/hr |
| Fuel consumption      | 2.42          | l/hr  |

### 2.2.2 การทดสอบชุดตัด

ผลการทดสอบชุดตัดในแปลงมันสำปะหลัง พบว่า มีประสิทธิภาพในการตัดเฉลี่ย 85.4% มีเศษเหง้ามันเจือปนเฉลี่ย 12.9% การสูญเสียเฉลี่ย 1.7% ความสามารถในการทำงานทั้งสองชุด 276 เหง้า/ชม. หรือ 481 กก./ชม. (Table 3) ความสามารถในการทำงานมากกว่าของจตุรงค์และคณะ (2555)

Table 3 Results from cutting test in the field

| Parameter                                         | Value | Unit  |
|---------------------------------------------------|-------|-------|
| Average cutting performance                       | 85.4  | %     |
| Average adulterated cassava root cluster fraction | 12.9  | %     |
| Average loss                                      | 1.7   | %     |
| Cutting capacity                                  | 481   | kg/hr |

กลไกการลำเลียงและกลไกการตัดของเครื่องที่ทำวิจัยนี้เหมาะสมสำหรับเกษตรกรที่นิยมเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังแบบชุดด้วยเครื่องชุดติดรถแทรกเตอร์ แล้วรวบรวมเหง้ามันเป็นกอง ๆ ก่อนสับใส่เข่งขนขึ้นรถซื้อที่ควรปรับปรุงของเครื่องนี้ คือ ความสามารถในการตัดที่น้อยกว่าการลำเลียงมากเกินไป

## สรุปผลการทดลอง

การทดสอบชุดลำเลียงและตัดเหง้ามันสำปะหลังติดท้ายรถแทรกเตอร์ในโรงงานปฏิบัติการ พบว่า เครื่องทำงานได้ดี โดยใช้แผ่นลำเลียงแบบตะแกรงเหล็กฉีกที่มุมเอียงการลำเลียง 20° มีประสิทธิภาพในการลำเลียง 97% อัตราการลำเลียง 1,870 กก./ชม. ใบเลื่อยเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 5.6 ซม. ที่ 800 รอบ/นาที มีประสิทธิภาพการตัดสูงสุด 72.9% มีเศษเหง้ามันสำปะหลังปนน้อยสุด 27.1% มีการสูญเสีย 0.04% มีความสามารถในการตัด 660 กก./ชม. หรือ 263 เหง้า/ชม. ส่วนการทดสอบในสภาพแปลงมันสำปะหลังพบว่า เครื่องสามารถทำงานได้เป็นที่น่าพอใจ ประสิทธิภาพในการทำงานทั้งสูงและต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับในโรงงานปฏิบัติการ ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องความสม่ำเสมอของพื้นที่ ความสั้นและความยาวของแปลงปลูก โดยมีประสิทธิภาพในการลำเลียงเฉลี่ย 95.3% อัตราการลำเลียงเฉลี่ย 2,634 กก./ชม. การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 2.42 ล./ชม. หรือ 1,118 กก./ล. มีประสิทธิภาพในการตัดเฉลี่ย 85.4% มีเศษเหง้ามันปนเฉลี่ย 12.9% มีการสูญเสียเฉลี่ย 1.7% มีความสามารถในการตัด 481 กก./ชม. หรือ 276 เหง้า/ชม. สามารถต่อพ่วงสามจุดกับรถแทรกเตอร์ที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

## เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. มปป. มันสำปะหลังโรงงาน :  
 เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่  
 ระดับประเทศ ภาค และจังหวัด ปี 2565. แหล่งข้อมูล:  
<https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/cacava%2065.pdf>. สืบค้น: 16  
 พฤษภาคม 2567.
- อนุชิต ฉ่ำสิงห์. 2552. วิจัยและพัฒนาเครื่องขุดมันสำปะหลัง  
 แบบไถหัวหมู. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม  
 กรมวิชาการเกษตร.
- อนุชิต ฉ่ำสิงห์. 2553. วิจัยและพัฒนาเครื่องมือปลิดหัว  
 มันสำปะหลังออกจากเหง้า. สถาบันวิจัยเกษตร  
 วิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.
- เอกภาพ ป้านภูมิ และชัยยันต์ จันทศิริ. 2556. การศึกษา  
 แนวทางการใช้อุปกรณ์ขนย้ายมันสำปะหลังแบบติดตั้ง  
 บนรถบรรทุกภายหลังการเก็บเกี่ยว. วารสาร  
 วิทยาศาสตร์เกษตร. 44(3): 442-445.
- Adebija J.A., A.J. Farounbi and F. Ajaga. 2018. Energy  
 use in cassava tuber harvesting using a semi-  
 automatic cassava harvester. Global Scientific  
 Journals. 6(4): 230-242.
- Akinwonmi A.S. and F. Andoh. 2013. Design of a  
 cassava uprooting device. Research Journal of  
 Applied Sciences, Engineering and Technology.  
 5(2): 411-420.
- Amponsah S.K. 2011. Performance Evolution of the  
 TEK Mechanical Cassava Harvester in Three  
 Selected Locations of Ghana. Master's thesis,  
 Kwame Nkrumah University.
- Yulan, L., S. Youpan, L. Shihao, C. Danping and W.  
 Gaoping. 2012. Development and prototype  
 trial of digging pulling style cassava harvester.  
 Transactions of the Chinese Society of  
 Agricultural Engineering. 28(2): 29-34

การใช้แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวที่มีแป้งต้านทานการย่อยสูงทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย

## Wheat Flour Substitution by the Application of *Dioscorea alata* L. Flour

### Consisting High Resistant Starch in Butter Cookies

กฤษฎาพร พลวงษ์<sup>1/\*</sup> จารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ<sup>1/</sup> นฤเทพ เวชภิบาล<sup>1/</sup> ภัทระ ลูกรักษ์<sup>1/</sup> เฉลิมวุฒ สมปาก<sup>1/</sup>

Kritsadaphon Phonwong<sup>1/\*</sup> Jarurat Pumprasert<sup>1/</sup> Naruthep Wetchphiban<sup>1/</sup>

Phatthara Loogruk<sup>1/</sup> Chalermwoot Sompark<sup>1/</sup>

Received 5 Jun. 2024/Revised 16 Oct. 2024/Accepted 16 Oct. 2024

## ABSTRACT

*Dioscorea alata* L. is a tuber crop belonging to the yam genus. It is a starchy tuber with great potential for use in food production. However, loss occurred from tubers that do not meet consumer standards due to size or appearance. To add more value to these tubers, they were processed into flour and used as an ingredient in food products. This study aimed to investigate the nutritional composition of *D. alata* flour, its shelf life in three types of packaging, plastic bags (PE), vacuum-sealed plastic bags (LLDPE), and aluminum foil bags (AF) during storage periods of 0, 2, 4, and 6 months, including the potential as the wheat flour substitute in butter cookies at substitution levels of 0, 25, 50, 75, and 100% of flour weight. The result of nutritional analysis revealed that *D. alata* flour was gluten-free flour, with carbohydrate, protein, fiber, amylose, and resistant starch contents of 83.48, 6.70, 10.72%, 19.20, and 54.25%, respectively. Among the packaging types, AF was the most effective in maintaining flour quality, resulting in lower moisture content, water activity, and aflatoxin B1 levels compared to those of PE and LLDPE. Using *D. alata* flour as a 50% substitution of wheat flour in butter cookies showed the highest overall acceptability of 6.8, which had no significant difference to that of the wheat flour cookies. Butter cookies made from wheat flour contained 0.24% resistant starch (RS), whereas butter cookies made from a mixture of 50% *D. alata* flour contained 11.65% RS, which was 48.54 times higher than that of wheat flour cookies. This research highlights more utilization of *D. alata* tubers that do not meet consumer standards.

**Keywords:** *Dioscorea alata* L.; flour; storage; resistant starch; butter cookie

<sup>1/</sup>กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ถนนพหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

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

\*Corresponding author: kritsadaphon.ph@gmail.com

## บทคัดย่อ

มันจาวมะพร้าว (*Dioscorea alata* L.) เป็นพืชหัวสกุลกลอยที่มีแป้งสะสมในรากปริมาณสูง มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นอาหาร หัวมันจาวมะพร้าวที่มีขนาดและลักษณะไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเกิดการสูญเสีย จึงมีการหาวิธีเพิ่มมูลค่า หัวมันจาวมะพร้าวดังกล่าว โดยนำมาผลิตเป็นแป้งฟลาวเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว อายุการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติก (PE) ถุงพลาสติกสุญญากาศ (LLDPE) และถุงอลูมิเนียมฟอยล์ (AF) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 2 4 และ 6 เดือน และการใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยในอัตราส่วน 0 25 50 75 และ 100% ของน้ำหนักแป้ง ผลการศึกษา พบว่า แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวไม่มีกลูเตน มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน เส้นใย อมิโนส และแป้งต้านทานการย่อย 83.48 6.70 10.72 19.20 และ 54.25% ตามลำดับ การเก็บรักษาแป้งในถุง AF สามารถรักษาคุณภาพแป้งได้ดีที่สุด มีความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน ปี 1 ต่ำกว่าการเก็บรักษาในถุง PE และ LLDPE การใช้แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ 50% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด 6.8 และไม่แตกต่างจากคุกกี้สูตรที่ใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว คุกกี้จากแป้งสาลีมีปริมาณแป้งต้านทานการย่อย 0.24% ในขณะที่คุกกี้ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว 50% มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อย 11.65% สูงกว่าคุกกี้จากแป้งสาลีเพียงอย่างเดียว 48.54 เท่า ทำให้สามารถนำหัวมันจาวมะพร้าวที่มีขนาดและลักษณะไม่เป็นที่ต้องการมาใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ:** มันจาวมะพร้าว; แป้งฟลาว; การเก็บรักษา; แป้งต้านทานการย่อย; คุกกี้เนยสด

## บทนำ

มันจาวมะพร้าว หรือ มันพร้าว (*Dioscorea alata* L.) จัดอยู่ในวงศ์ Dioscoreaceae เป็นพืชหัวในสกุลกลอย มีลักษณะเป็นไม้ล้มลุกเถาเลื้อย ลำต้นมีสันที่เกิดจากครีบ 4 สัน ตลอดลำต้นและก้านใบ ใบเดี่ยว เรียงตรงข้าม ใบรูปหอก ปลายใบเรียวแหลม มีติ่งที่ปลาย โคนใบเว้าลึกจนมีลักษณะพูใบสองข้าง ใบรูปหอก ลำต้นใต้ดินมีรูปร่างไม่แน่นอน ส่วนมากทรงกลมหรือทรงรี เนื้อสีขาว (ภคศจี, 2565) ส่วนที่ใช้บริโภคคือส่วนหัวใต้ดิน ซึ่งมีแป้งสะสมในปริมาณสูง นำมาประกอบอาหารได้ทั้งคาวหวาน เช่น แกงบวดเชื่อม ทอด นึ่ง มันจาวมะพร้าวมีสารอาหารที่สำคัญหลายชนิด ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม วิตามินซี และมีกรดโพลีสูง ในมันจาวมะพร้าวพบมีโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต มีการผลิตมันจาวมะพร้าวเชิงการค้ามากขึ้น โดยเฉพาะใน จ.ชัยภูมิ (รัตนภรณ์ และคณะ, 2566) หัวมันจาวมะพร้าวที่จำหน่ายได้ราคาและผู้บริโภคนิยม มีลักษณะกลม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5-8 ซม. หัวที่มีขนาดใหญ่เกินไป มีลักษณะแตกแขนงมากจึงไม่เป็นที่ต้องการเกษตรกรมักเก็บหัวดังกล่าวไว้ทำพันธุ์ หรือจำหน่ายในราคาต่ำ การเพิ่มมูลค่าหัวมันจาวมะพร้าวที่ไม่เป็นที่ตลาดต้องการโดยนำมาผลิตแป้งฟลาวใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารและในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ อาหารขบเคี้ยว เป็นต้น (Ngoma et al., 2019) จะช่วยให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น เป็นทางเลือกหนึ่งในการลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวและเพิ่มการใช้ประโยชน์

คุกกี้เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่สามารถเก็บได้นาน มีส่วนประกอบ คือ แป้ง (แป้งฟลาว) น้ำตาล ไขมัน และไข่ ซึ่งแป้งในคุกกี้มักเป็นแป้งจากข้าวสาลี มีการศึกษาวิจัยเพื่อนำแป้งจากพืชอื่นมาใช้ทดแทนแป้งสาลี เช่น แป้งข้าว ทดแทนแป้งสาลีบางส่วน (อริสรา และอรอุมา, 2549; รุจิรา และคณะ, 2543;

น้ำฝน และคณะ, 2566) แป้งมันเทศผสมเพื่อทดแทน แป้งสาลีบางส่วนด้วย (ดุลย์จิรา และคณะ, 2560) แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวมีจุดเด่นคือ มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อย (resistant starch) สูง ไม่ถูกย่อย และไม่ถูกดูดซึมในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก จึงผ่านไปถึงลำไส้ใหญ่และถูกแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ ย่อย นอกจากนี้ ยังช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาลใน เลือดหลังมื้ออาหารให้เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ช่วย ส่งเสริมสุขภาพลำไส้ ปรับสมดุลของจุลินทรีย์ใน ลำไส้ใหญ่จากการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่มีประโยชน์ และช่วยในการควบคุมน้ำหนักเนื่องจากแป้งที่ไม่ถูก ย่อยทำหน้าที่คล้ายกับใยอาหารทำให้รู้สึกอิ่มนานขึ้น การบริโภคอาหารที่มีแป้งต้านทานการย่อยเป็น ประจำช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคต่าง ๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคอ้วน โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง เป็นต้น (ธนากร, 2560) จากข้อดีเด่นที่กล่าวมา จึงหาแนวทางการนำมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมเพื่อผลิตคุกกี้ที่มี แป้งต้านทานการย่อยสูง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมี วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของ แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว อายุการเก็บรักษาในบรรจุ ภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำ แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวมาใช้ทดแทนแป้งสาลีใน ผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย ลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว เพิ่มการใช้ประโยชน์จากมันจาวมะพร้าว และช่วย เพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การผลิตแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว

ใช้หัวมันจาวมะพร้าวอายุ 8 เดือน จากแปลง เกษตรกร ต.บ้านดอน อ.เมือง จ.ชัยภูมิ ที่ปลูกใน เดือน เม.ย.และเก็บเกี่ยวในเดือน พ.ย. 2565 นำ หัวมันจาวมะพร้าวมาล้างทำความสะอาด จากนั้น ปอกเปลือกและแช่น้ำ นำไปผานเป็นแผ่นบาง ๆ แห ในสารละลายโพแทสเซียมเมแทไบซัลไฟต์

(potassium metabisulfite: KMS) ความเข้มข้น 0.25% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในมันจาวมะพร้าวต่อ KMS อัตราส่วน 1 : 1 เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นใส่ ตะแกรงกรองด้วยผ้าขาวบาง และนำเข้าอบที่ อุณหภูมิ 60 °ซ. จนความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 14% แล้ว บดด้วยเครื่องบดผง (multi-function disintegrator WF-20B) ร่อนด้วยตะแกรกร่อนขนาด 250 ไมครอน และบรรจุถุงพลาสติกชนิดให้สนิทด้วยเครื่องปิดผนึก ของบรรจุภัณฑ์ เก็บใส่กล่องพลาสติกมีฝาปิดกัน ความชื้น และที่อุณหภูมิห้อง เตรียมแป้งฟลาวมัน จาวมะพร้าวประมาณ 10 กก. โดยแบ่งเตรียมครั้งละ 1-2 กก. เมื่อครบ 10 กก. แล้วนำแป้งมาผสมให้เป็น เนื้อเดียวกัน จากนั้นแบ่งไปวิเคราะห์องค์ประกอบ ทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ ศึกษาการเก็บรักษา และการใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย

### 2. คุณค่าทางโภชนาการ สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี

ทำการวิเคราะห์แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว ได้แก่ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย ใช้วิธี ใช้วิธี AOAC (2019) ปริมาณแป้ง ใช้ วิธี มอก. 274-2521 (สำนักงานมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2521) ความขาวของแป้ง ใช้ เครื่อง Kett C-100-3 (He et al., 2003) ปริมาณ อมิโนส ใช้วิธี Amperometric method ซึ่งดัดแปลง จาก Takeda et al. (1987) และ Gibson et al. (1997) และปริมาณแป้งต้านทานการย่อย (resistant starch, RS) ใช้ชุดทดสอบ Megazyme, Bray, Ireland ตามวิธี AOAC ที่ดัดแปลงโดย McCleary and Monaghan, (2002) ส่วนการวิเคราะห์คุณค่า ทางโภชนาการทำได้โดย บ. ศูนย์ห้องปฏิบัติการและ วิจัยทางการแพทย์และการเกษตรแห่งเอเชีย จำกัด (มหาชน) ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์ดังนี้ ปริมาณพลังงาน ดัดแปลงจากวิธี AOAC (Sullivan and Carpenter, 1993) ปริมาณคอเลสเตอรอล วิตามิน และแร่ธาตุ ดัดแปลงจากวิธี AOAC (2019) ปริมาณกลูเตน ใช้วิธี

ELISA kit II และศึกษาลักษณะเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM)

### 3. ชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษา

วางแผนการทดลองแบบ split plot in RCB จำนวน 4 ซ้ำ main plot คือ ชนิดบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติก (polyethylene: PE) ถุงพลาสติกสุญญากาศ (linear low-density polyethylene: LLDPE) และ ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil: AF) ส่วน sub plot คือ การเก็บรักษา 4 ระยะเวลา ได้แก่ 0 2 4 และ 6 เดือน แบ่งใส่ถุงชนิดต่าง ๆ ขนาดถุงละ 100 ก. ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์ เก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิห้อง วิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณโปรตีน ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity:  $a_w$ ) ซึ่งเป็นค่าปริมาณน้ำในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและทำปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ซึ่งเชื้อราหลายชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้หากมีค่า  $a_w$  ต่ำกว่า 0.70 วัดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน บี 1 (aflatoxin: AFB1) ซึ่งเป็นสารพิษที่สร้างขึ้นโดยเชื้อรา *Aspergillus flavus* จัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งกลุ่มที่ 1 โดยเชื้อรานี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มี  $a_w$  0.92-0.98 (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2546) ตรวจวัดค่าสีของแป้งในระบบของ CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) ด้วยเครื่องวัดสี (Konica Minolta Chroma meter CR-400) โดยค่า  $L^*$  แสดงค่าความสว่าง 0-100 โดย 0 หมายถึง สีดำ และ 100 หมายถึง สีขาว ค่า  $a^*$  แสดง ค่าสีเขียว (-) และสีแดง (+) และ  $b^*$  แสดงค่า สีน้ำเงิน (-) และสีเหลือง (+) จากนั้นคำนวณค่าดัชนีความขาว (whiteness index: WI) จากสูตรของ Li and Lee (1996)

$$\text{ค่าดัชนีความขาว} = 100 - [(100-L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเก็บรักษาและชนิดบรรจุภัณฑ์โดยใช้วิธี DMRT (Duncan's new multiple range test)

### 4. การใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย

ทำการทดแทนแป้งสาลีในการทำคุกกี้เนยด้วยแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว 25 50 75 และ 100% ของน้ำหนักแป้ง และใช้แป้งสาลี 100% ของน้ำหนักแป้งเป็นกรรมวิธีควบคุม สูตรคุกกี้เนย มีส่วนประกอบดังนี้ แป้งสาลี 350 ก. เนย 270 ก. (เนยสดจัดซื้อการค้าออลวรี พรีเมียม มีน้ำมันเนย 83% มินมผง 1% และมีการแต่งกลิ่นเลียนธรรมชาติ) น้ำตาลไอซิ่ง 140 ก. เกลือ ½ ช้อนชา ผงฟู 2 ช้อนชา ไข่ไก่ 2 ฟอง ขั้นตอนการทำดังนี้ ตีเนยให้ขึ้นฟูจากนั้นใส่น้ำตาลไอซิ่งและตีให้เข้ากัน ใส่ไข่ไก่ตีจนเข้ากัน จากนั้นร่อนส่วนผสมแป้ง เกลือ และผงฟูลงไปตีให้เข้ากัน แล้วใส่กระบอกกดคุกกี้ กดใส่ถาดอบที่รองด้วยกระดาษไขนำเข้าอบที่อุณหภูมิ 180 °ซ. เป็นเวลา 15 นาที นำออกมาพักให้เย็นใส่ถุงปิดให้สนิทด้วยเครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน

#### 4.1 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block 3 ซ้ำ ผู้เข้าร่วมทดสอบ 90 คน โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจากบุคลากรในกองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร นำคุกกี้เนยจากข้างต้นทั้ง 5 ชนิด ให้ผู้เข้าร่วมทดสอบแต่ละคนชิมพร้อมกัน ตามแผนการจัดและเสิร์ฟตัวอย่างแบบสุ่มเพื่อประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์แบบเรียงลำดับความชอบตามวิธีของเพ็ญขวัญ (2550) โดยประเมินลักษณะเนื้อสัมผัส สี รสชาติ ความชอบโดยรวม และประเมินการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้ 9-point hedonic scale กำหนดช่วงคะแนนตั้งแต่ 1-9 โดย คะแนน 9 หมายถึง ยอมรับมากที่สุด และ 1 หมายถึง ยอมรับ

น้อยที่สุด นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย DMRT

## 4.2 ปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในผลิตภัณฑ์

เปรียบเทียบปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในคุกกี้เนยที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวในอัตราส่วน 50% และคุกกี้เนยจากแป้งสาลี 100% ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในคุกกี้โดยดัดแปลงจากวิธี AOAC (McCleary and Monaghan, 2002) ใช้ชุดทดสอบ Megazyme, Bray, Ireland เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test ที่ความเชื่อมั่น 95%

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. คุณค่าทางโภชนาการของแป้ง

แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักโดยในแป้งฟลาว 100 ก. มีคาร์โบไฮเดรต 83.48 ก. ให้พลังงานทั้งหมด 366.7 กิโลแคลอรี มีความชื้น เถ้า และน้ำตาล 6.21 2.95 และ 12.4 ก. ตามลำดับ มีเส้นใยอาหารทั้งหมด 10.72 ก. และโปรตีน 6.70 ก. ไม่พบคอเลสเตอรอลในแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว และไม่มีกลูเตนเป็นส่วนประกอบ (Table 1) มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อย 54.25% มีปริมาณอมิโลส 19.20% ค่า  $L^*$  63.16 (Table 2) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาลีโดยอ้างอิงจากรายงานของ USDA (2019) พบว่า แป้งมันจาวมะพร้าวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าแป้งสาลี โดยแป้งสาลีมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยอาหารทั้งหมด 76.3 และ 2.7 ก./100 ก. ตามลำดับ แต่มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าแป้งสาลีที่อยู่ในช่วง 9-14 ก. (Wieser et al., 2020) อย่างไรก็ตามโปรตีนที่พบแตกต่างจากในแป้งสาลี คือ ไม่มีกลูเตน (gluten) กลูเตนมีบทบาทสำคัญในการสร้างโครงสร้างและเนื้อสัมผัสในขนมอบและขนมปัง แป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำจะมีกลูเตนน้อย เหมาะสำหรับ

ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ต้องการเนื้อสัมผัสนุ่มฟูและไม่ต้องการความเหนียวและความยืดหยุ่น (Wieser et al., 2020)

แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวมีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูง (54.25%) ทำให้น้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้า ๆ ส่งผลให้ค่า glycemic index (GI) ต่ำ และระดับน้ำตาลในเลือดอยู่ในระดับปกติ ช่วยเพิ่มความรู้สึกลิ่มและลดความอยากอาหาร แป้งที่ไม่ถูกย่อยและดูดซึมในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กนี้ เมื่อผ่านเข้าไปบริเวณลำไส้ใหญ่จะเป็นอาหารจุลินทรีย์ หรือพรีไบโอติก (prebiotics) ที่มีประโยชน์บริเวณลำไส้ใหญ่ (Englyst et al., 1992)

จากการศึกษาลักษณะภายนอกของเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่ กำลังขยาย 500 เท่า (Figure 1A) และกำลังขยาย 3,000 เท่า (Figure 1B) พบว่า ลักษณะของเม็ดแป้งมันจาวมะพร้าวส่วนใหญ่ มีรูปร่างเป็นเม็ดทรงกลม ขณะที่แป้งสาลีมีทั้งแบบกลมแบนคล้ายเลนส์และทรงกลมหรือบางครั้งอาจมีรูปร่างไม่แน่นอน (Guo et al., 2023)

### 2. ชนิดบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษา

แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวที่เก็บในถุง PE ถุง LLDPE มีความชื้นเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา และสูงกว่าแป้งที่เก็บรักษาในถุง AF แป้งที่เก็บรักษาในถุง AF ความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บนานขึ้น จากเริ่มต้น 5.41% ลดลงเป็น 5.10% ในเดือนที่ 6 (Table 3) แสดงให้เห็นว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาเก็บรักษามีผลกระทบต่อความชื้นของแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว การเก็บรักษาในถุง AF สามารถรักษาความชื้นให้อยู่ในระดับต่ำสุด เนื่องจาก PE และ LLDPE มีการซึมผ่านของความชื้นได้ ส่วนถุง AF เป็นวัสดุที่มีการซึมผ่านของความชื้นต่ำมาก จึงป้องกันความชื้นจากภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเก็บรักษาในถุง AF ความชื้นภายในถุงจึงคงที่หรืออาจลดลงเล็กน้อย เนื่องจากไม่มีความชื้นใหม่ที่สามารถซึมเข้าสู่ถุงได้ (Lamberti and Escher, 2007)

ค่าปริมาณน้ำอิสระของแป้งฟลาวมัน จาวมะพร้าวที่เก็บรักษาในถุง PE และ LLDPE มีค่า เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา และสูงกว่าแป้งที่เก็บ รักษาในถุง AF แป้งที่เก็บรักษาในถุง AF มีค่า  $a_w$  ลดลงจาก 0.25 เมื่อเริ่มต้นเป็น 0.20 ในเดือนที่ 6 (Table 3) แสดงให้เห็นว่าถุง AF สามารถรักษาค่า  $a_w$  ได้ดีที่สุด ซึ่งส่งผลดีต่ออายุการเก็บรักษาและป้องกัน

การเจริญของเชื้อราในแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว เนื่องจากเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มี ค่า  $a_w$  0.92-0.98 (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการ เก็บเกี่ยว, 2546) เช่นเดียวกับรายงานในแป้งสาลีซึ่ง พบว่าค่า  $a_w$  ที่ต่ำในช่วง 0.49-0.61 ป้องกันการเติบโตของ เชื้อราต่าง ๆ เช่น *A. flavus* และ *A. parasiticus* ที่ ผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน (Marynin et al., 2021)

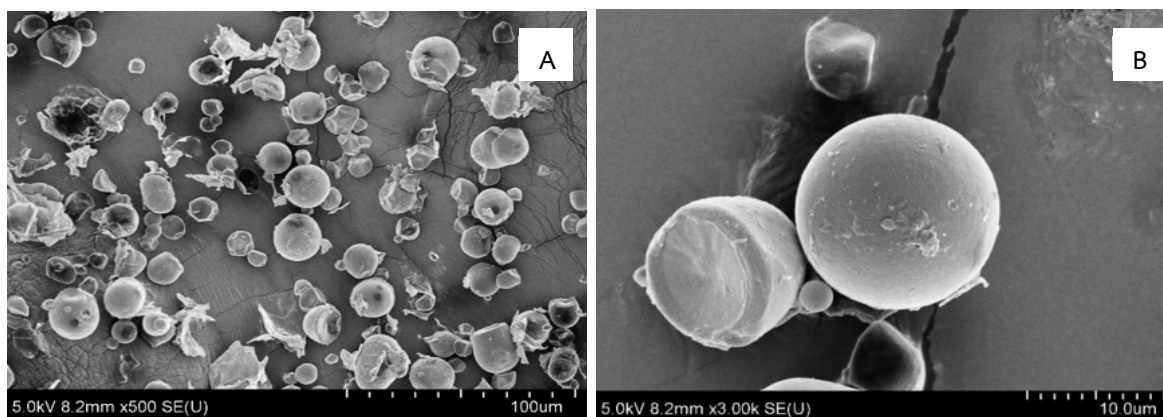
**Table 1** Nutritional value of *D. alata* flour

| Nutritional value                  | <i>D. alata</i> flour | Unit      |
|------------------------------------|-----------------------|-----------|
| Gluten allergen                    | ND                    | mg/kg     |
| Total energy                       | 366.7                 | kcal/100g |
| Energy from fat                    | 5.94                  | kcal/100g |
| Total fat                          | 0.66                  | g/100g    |
| Total saturated fatty acid         | 0.29                  | g/100g    |
| Cholesterol                        | 0                     | mg/100g   |
| Protein (N x 5.70)                 | 6.70                  | g/100g    |
| Total carbohydrate (Include fiber) | 83.48                 | g/100g    |
| Total dietary fiber                | 10.72                 | g/100g    |
| Moisture                           | 6.21                  | g/100g    |
| Ash                                | 2.95                  | g/100g    |
| Total sugar                        | 12.4                  | g/100g    |
| Sodium                             | 122                   | mg/100g   |
| Calcium                            | 25.8                  | mg/100g   |
| Iron                               | 1.07                  | mg/100g   |
| Total vitamin A                    | 0                     | ug/100g   |
| Vitamin B1                         | 0                     | mg/100g   |
| Vitamin B2                         | 0.4                   | mg/100g   |

ND = Not detected

**Table 2** Resistant starch content, amylose content, color values ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) and whiteness index of *D. alata* flour

| Properties           | <i>D. alata</i> flour |
|----------------------|-----------------------|
| Resistant starch     | 54.25%                |
| Amylose              | 19.20%                |
| Lightness ( $L^*$ )  | 63.16                 |
| Redness ( $a^*$ )    | 1.48                  |
| Yellowness ( $b^*$ ) | 3.70                  |
| Whiteness index (WI) | 62.4                  |



**Figure 1** Scanning electron microscopy (SEM) image of *D. alata* flour at 500X (A) and 3000X (B)

การเก็บรักษานานขึ้นมีปริมาณสารพิษ AFB1 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการเก็บรักษาที่นานขึ้นจะมีความชื้นสะสมในแป้งสูงขึ้นซึ่งส่งเสริมการเติบโตของเชื้อรา (Richard, 2007) เมื่อเปรียบเทียบชนิดของบรรจุภัณฑ์ พบว่า การเก็บ

รักษานาน 6 เดือน แป้งที่เก็บในถุง AF มีปริมาณ AFB1 น้อยที่สุด คือ 5.01 ppb ซึ่งไม่แตกต่างจาก แป้งที่เก็บในถุง PE (Table 3) อย่างไรก็ตาม บรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณ AFB1 ไม่เกินมาตรฐาน (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 414, 2563)

**Table 3** Influence of packaging and storage time on moisture content, water activity ( $a_w$ ) and aflatoxin (AFB1) content of *D. alata* flour during storage for six months at room temperature

| Quality of<br><i>D. alata</i> flour | Storage time<br>(month)        | Packaging <sup>1/</sup> |     |       |      |      |     |
|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----|-------|------|------|-----|
|                                     |                                | PE                      |     | LLDPE |      | AF   |     |
| Moisture content (%)                | 0                              | 5.41                    | a A | 5.41  | a A  | 5.41 | c A |
|                                     | 2                              | 5.92                    | b A | 5.88  | b A  | 4.95 | a A |
|                                     | 4                              | 6.82                    | c B | 7.09  | c C  | 5.19 | b A |
|                                     | 6                              | 8.17                    | d B | 8.05  | d B  | 5.10 | b A |
|                                     | CV (a) = 1.3%; CV (b) = 1.5%   |                         |     |       |      |      |     |
| $a_w$                               | 0                              | 0.25                    | a A | 0.25  | a A  | 0.25 | b A |
|                                     | 2                              | 0.26                    | b B | 0.26  | a B  | 0.19 | a A |
|                                     | 4                              | 0.36                    | c B | 0.38  | b B  | 0.25 | b A |
|                                     | 6                              | 0.42                    | d B | 0.41  | c B  | 0.20 | a A |
|                                     | CV (a) = 4.1%; CV (b) = 5.3%   |                         |     |       |      |      |     |
| AFB1 content (ppb)                  | 0                              | 1.28                    | b A | 1.28  | b A  | 1.28 | b A |
|                                     | 2                              | 0.40                    | a A | 0.23  | a A  | 0.14 | a A |
|                                     | 4                              | 2.55                    | c B | 1.76  | b AB | 1.33 | b A |
|                                     | 6                              | 5.81                    | d A | 6.96  | c B  | 5.01 | c A |
|                                     | CV (a) = 24.3%; CV (b) = 22.9% |                         |     |       |      |      |     |

<sup>1/</sup> In a column, means followed by a common letter (a, b, c) are not significantly different at the 5% level by DMRT and in a row, means followed by a capital letter (A, B, C) are not significantly different at the 5% level by DMRT

ค่า  $L^*$  ของสีแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวไม่มีความแตกต่างทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ค่า  $a^*$  เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (Table 4) สอดคล้องกับลักษณะของแป้งที่มีสีคล้ำขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้นเมื่อเปรียบเทียบชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่อายุการเก็บรักษา 6 เดือน พบว่า การเก็บรักษาแป้งในถุง AF มีค่าสีแดง-เขียว ต่ำกว่าที่เก็บรักษาในถุง PE และ LLDPE ส่วนการเก็บรักษาในถุง AF มีค่า  $b^*$  แตกต่างเพียงเล็กน้อยกับที่เก็บรักษาในถุง PE และ LLDPE ส่วนค่าดัชนีความขาวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกบรรจุภัณฑ์แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

เมื่อพิจารณาจากบรรจุภัณฑ์ พบว่า ที่อายุการเก็บรักษา 6 เดือน ถุง AF สามารถรักษาคูสมบัติ

ของแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวได้ดีที่สุด โดยมีความชื้น  $a_w$  และปริมาณ AFB1 ต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากถุง AF มีคุณสมบัติป้องกันไอน้ำซึมผ่าน ป้องกันความชื้น แสง และกลิ่น มีความเหนียวทนทาน ไม่ฉีกขาดง่าย แต่มีราคาสูง ส่วนถุง PE เป็นพลาสติกที่ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้น้อย ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ และถุง LLDPE เป็นถุงพลาสติกที่ป้องกันการผ่านของไอน้ำได้ดี แต่ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบกลิ่นและรสชาติต่าง ๆ ไม่ดี (Lamberti and Escher, 2007; Goswami and Mangaraj, 2011; Raleng et al., 2014) ดังนั้น ถุง AF จึงเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาแป้งมันจาวมะพร้าวมากที่สุดเมื่อเทียบกับถุง PE และ LLDPE

**Table 4** Influence of packaging and storage time on lightness ( $L^*$ ), redness ( $a^*$ ), yellowness ( $b^*$ ) and whiteness index (WI) of *D. alata* flour during storage for six months at room temperature

| Quality of<br><i>D. alata</i> flour | Storage time<br>(month) | Packaging <sup>1/</sup> |    |    |       |   |    |       |   |   |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|----|----|-------|---|----|-------|---|---|
|                                     |                         | PE                      |    |    | LLDPE |   |    | AF    |   |   |
| L*                                  | 0                       | 63.40                   | a  | A  | 63.02 | a | B  | 63.07 | a | B |
|                                     | 2                       | 62.54                   | a  | AB | 62.74 | a | A  | 62.50 | a | B |
|                                     | 4                       | 62.44                   | a  | B  | 62.27 | a | A  | 62.18 | a | A |
|                                     | 6                       | 62.60                   | a  | A  | 62.51 | a | A  | 62.48 | a | A |
| CV (a) = 0.4%; CV (b) = 0.4%        |                         |                         |    |    |       |   |    |       |   |   |
| a*                                  | 0                       | 1.53                    | a  | B  | 1.47  | a | A  | 1.44  | a | A |
|                                     | 2                       | 1.70                    | b  | C  | 1.63  | b | B  | 1.55  | b | A |
|                                     | 4                       | 1.90                    | c  | C  | 1.82  | c | B  | 1.69  | c | A |
|                                     | 6                       | 2.14                    | d  | C  | 2.05  | d | B  | 1.80  | d | A |
| CV (a) = 1.8%; CV (b) = 0.8%        |                         |                         |    |    |       |   |    |       |   |   |
| b*                                  | 0                       | 3.72                    | a  | B  | 3.66  | a | A  | 3.71  | a | B |
|                                     | 2                       | 3.84                    | b  | A  | 3.90  | b | C  | 3.87  | b | B |
|                                     | 4                       | 4.12                    | c  | B  | 4.05  | c | AB | 4.03  | c | A |
|                                     | 6                       | 3.75                    | ab | A  | 3.73  | a | AB | 3.64  | d | B |
| CV (a) = 1.9%; CV (b) = 1.3%        |                         |                         |    |    |       |   |    |       |   |   |
| WI                                  | 0                       | 62.18 <sup>2/</sup>     |    |    | 62.81 |   |    | 62.86 |   |   |
|                                     | 2                       | 62.30                   |    |    | 62.50 |   |    | 62.27 |   |   |
|                                     | 4                       | 62.17                   |    |    | 62.01 |   |    | 61.93 |   |   |
|                                     | 6                       | 62.37                   |    |    | 62.27 |   |    | 62.27 |   |   |
| C.V. (a) = 0.4%; C.V. (b) = 0.4%    |                         |                         |    |    |       |   |    |       |   |   |

<sup>1/</sup> In a column, means followed by a common letter (a, b, c) are not significantly different at the 5% level by DMRT and in a row, means followed by a capital letter (A, B, C) are not significantly different at the 5% level by DMRT

<sup>2/</sup> In each column and row, means are not significantly different

### 3. การใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย

#### 3.1 การยอมรับของผู้บริโภค

ด้านสี คุกกี้เนยจากแป้งสาลีมีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภค 6.8 (ชอบเล็กน้อย) น้อยกว่า คุกกี้เนยที่ทดแทนด้วยแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มคุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว พบว่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อค่าสีไม่แตกต่างกัน อยู่ระหว่าง 7.1-7.3 (ชอบปานกลาง) แสดงให้เห็นว่า ผู้บริโภคยอมรับสีของคุกกี้ที่ทดแทนด้วยแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว (Table 5) ซึ่งมีสีเข้มกว่าคุกกี้จากแป้งสาลี โดยเฉพาะส่วนที่อยู่ด้านบนหรือส่วนฐานของ คุกกี้มีสีเข้มกว่าส่วนอื่นเนื่องจากได้รับความร้อนมากกว่าส่วนอื่น และสีเข้มขึ้นตามสัดส่วนของแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวที่สูงขึ้น (Figure 2) เนื่องจาก แป้งมันจาวมะพร้าวมีปริมาณน้ำตาล 12.4% (Table 1) ซึ่งสูงกว่าแป้งสาลีอเนกประสงค์ที่มีเพียง 0.3% (Al-Dmoor, 2013) น้ำตาลมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งเกิดได้จาก 2 กลไก คือ ปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล

(caramelization) เมื่อน้ำตาลได้รับความร้อนละลาย เกิดเป็นสีน้ำตาลและปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำตาล และกรดอะมิโนในโปรตีนหรือสารประกอบไนโตรเจน อื่น ๆ ที่อยู่ในไข่และแป้งได้รับความร้อนเกิดเป็น สารประกอบหลายชนิดที่ให้สีน้ำตาลและกลิ่นรสต่าง ๆ (Tamanna and Mahmood, 2015)

ด้านกลิ่นรส (flavor) คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคซึ่งเป็นความรู้สึกที่รวมทั้งรสชาติ กลิ่นที่ได้รับ จากปากขึ้นสู่โพรงจมูก และความรู้สึกสัมผัสในปาก (Mouritsen, 2015) ของคุกกี้เนยที่ทดแทนด้วยแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว 25 50 และ 75% มีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคอยู่ระหว่าง 6.5-6.8 ไม่แตกต่างจากคุกกี้เนยจากแป้งสาลี แต่คุกกี้เนยที่ ทดแทนด้วยแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว 100% มีคะแนนการยอมรับต่อกลิ่นรสน้อยกว่าคุกกี้เนยสด จากแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 5) ซึ่ง มีกลิ่นเฉพาะตัวจึงต้องพิจารณาทดแทนในอัตราส่วน ที่เหมาะสม

**Table 5** Consumer acceptance scores of butter cookies as affected by wheat flour substitution with different amount of *D. alata* flour

| Amount of <i>D. alata</i> flour<br>(%) | Acceptance scores of butter cookies |        |        |         |                       |
|----------------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|---------|-----------------------|
|                                        | Color                               | Flavor | Taste  | Texture | Overall acceptability |
| 0                                      | 6.8 b                               | 6.6 ab | 6.8 a  | 6.5 a   | 6.7 ab                |
| 25                                     | 7.3 a                               | 6.8 a  | 6.5 ab | 6.8 a   | 6.6 ab                |
| 50                                     | 7.1 a                               | 6.7 a  | 6.8 a  | 6.7 a   | 6.8 a                 |
| 75                                     | 7.2 a                               | 6.5 ab | 6.2 b  | 6.0 b   | 6.3 b                 |
| 100                                    | 7.3 a                               | 6.3 b  | 5.5 c  | 5.9 b   | 5.7 c                 |
| CV (%)                                 | 8.3                                 | 11.3   | 12.0   | 9.8     | 11.0                  |

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

รสชาติ (taste) เนื้อสัมผัส (texture) และความชอบโดยรวม คะแนนการยอมรับของผู้บริโภค ต่อของคุกกี้เนยที่ ทดแทนด้วยแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว 25 และ 50% มีคะแนนการยอมรับของ

ผู้บริโภคไม่แตกต่างจากคุกกี้เนยจากแป้งสาลี (Table 5) ซึ่งรสชาติ เป็นการรับรู้จากปมรับรสบนลิ้นที่สามารถแยกได้เพียงห้าประเภทหลัก ๆ ได้แก่ หวาน เค็ม เปรี้ยว ขม และอูมามิ (Mouritsen, 2015) แป้ง

ฟลาวมันจาวมะพร้าวเมื่อนำมาทดแทนแป้งสาลีในคุกกี้เนยในสัดส่วน 75 และ 100% ทำให้คุกกี้ที่ได้มีเนื้อสัมผัสแน่นขึ้นและมีรสชาติหลังจากกลืนออกจากรสเปรี้ยวจึงทำให้มีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่ำกว่าคุกกี้จากแป้งสาลี ลักษณะเนื้อที่แน่นนี้อาจเกิดจากเมือกของแป้งมันจาวมะพร้าว โดยสังเกตได้จากในขั้นตอนการผลิตแป้งฟลาว เมื่อปอกเปลือกและผ่านเนื้อเป็นแผ่นบาง ๆ แขน้ำไว้พบว่าเมื่อออกมาเป็นจำนวนมาก ดังนั้น ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้จากแป้งมันจาวมะพร้าวให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคควรมีการกำจัด กลิ่น รส และเมือกของแป้งมันจาวมะพร้าวที่อาจส่งผลต่อเนื้อสัมผัสที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคออกไปให้ได้มากที่สุด หรือมีการเติมวัตถุดิบชนิดอื่นเพื่อกลบกลิ่นรสเฉพาะตัว เช่น กลิ่นวานิลลา กลิ่นนมเนย หรือเติมอัลมอนต์ ลูกเกด เม็ดมะม่วงหิมพานต์ ช็อคโกแลตชิพ เพื่อกลบรสชาติเฉพาะตัวและเพิ่มเนื้อสัมผัสของคุกกี้ได้



**Figure 2** Butter cookies mixed with different amount of *D. alata* flour

### 3.2 ปริมาณแป้งด้านทานการย่อยในผลิตภัณฑ์

คุกกี้เนยจากแป้งสาลีมีปริมาณแป้งด้านทานการย่อย 0.24% ส่วนคุกกี้เนยที่ใช้แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วน 50% มีปริมาณแป้งด้านทานการย่อย 11.65% (Table 6) สูงกว่าคุกกี้จาก

แป้งสาลี 48.54 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณแป้งด้านทานการย่อยในคุกกี้ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยดิบ 50% สามารถเพิ่มปริมาณแป้งด้านทานการย่อยในคุกกี้ได้ 8.73% (Ratnasari et al., 2018) ดังนั้น การใช้แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวทดแทนแป้งสาลีจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มปริมาณแป้งด้านทานการย่อยได้

มันจาวมะพร้าวมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก มีปริมาณแป้งด้านทานการย่อยสูง ไม่มีกลูเตน จึงเหมาะสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ไม่ต้องการความเหนียวและความยืดหยุ่น แต่ใช้ความฟูกรอบได้ อย่างไรก็ตาม แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวมีกลิ่นเฉพาะตัว เมื่ออบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเร็วกว่าการใช้แป้งสาลี เนื่องจากมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบสูงกว่า ดังนั้น ควรใช้แป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวทดแทนแป้งสาลีบางส่วน ซึ่งการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวในอัตราส่วน 50% เหมาะสมที่สุด การเพิ่มส่วนผสมอื่นช่วยกลบกลิ่นได้ อย่างไรก็ตาม ยังไม่เหมาะกับผู้ที่แพ้กลูเตนในแป้งสาลี การทดลองนี้ใช้เนยแท้ที่ไม่มีส่วนผสมของไขมันทรานส์จึงมีกลิ่นหอมเนยและรสชาติดี แต่มีราคาสูง ซึ่งหากผู้ผลิตเบเกอรี่ต้องการนำสูตรไปปรับใช้และลดต้นทุนโดยใช้เนยแบบผสมหรือมากรีนแทน อาจทำให้กลิ่น รสชาติเปลี่ยนไป และมีผลต่อปริมาณแป้งด้านทานการย่อยในผลิตภัณฑ์คุกกี้หากใช้สัดส่วนแป้งมันจาวมะพร้าวตามคำแนะนำ เมื่อพิจารณาต้นทุน พบว่า มีต้นทุนสูงกว่าแป้งสาลี โดยแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าวมีต้นทุน 112.5 บ./กก. ดังนั้น การทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่จากมันจาวมะพร้าวควรพิจารณากลุ่มลูกค้าที่เน้นเพื่อสุขภาพ

การใช้ประโยชน์จากหัวมันจาวมะพร้าวขนาดใหญ่หรือหัวที่ไม่เป็นที่ต้องการของตลาดโดยนำมาผลิตเป็นแป้งฟลาวมันจาวมะพร้าว มีการเก็บรักษาที่เหมาะสมและนำมาทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เช่น คุกกี้ จะเป็นการลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว และช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรผู้ปลูกมันจาวมะพร้าวอีกทางหนึ่งด้วย

**Table 6** Resistant starch (RS) content in cookies made from wheat flour and cookies made from wheat mixed with *D. alata* flour

| Treatment                                                                                                   | RS content(%) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Cookies made from wheat flour                                                                               | 0.24          |
| Cookies made from wheat mixed with <i>D. alata</i> flour<br>(wheat flour : <i>D. alata</i> flour = 50 : 50) | 11.65         |
| t-test                                                                                                      | 58.23**       |

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของแป้งพลาสมันจาวมะพร้าว อายุการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำแป้งพลาสมันจาวมะพร้าวมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย พบว่า แป้งพลาสมันจาวมะพร้าว มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูง 54.25% มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ไม่มีกลูเตน บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาแป้งพลาจากมันจาวมะพร้าวคือถุง AF เมื่อเก็บรักษาในถุง AF นาน 6 เดือนสามารถรักษาคุณสมบัติของแป้งพลาได้ดีที่สุด โดยมีค่าความชื้น  $a_w$  และปริมาณ AFB1 ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับถุง PE และ LLDPE สามารถใช้แป้งพลาสมันจาวมะพร้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยได้สูงสุด 50% โดยที่ผู้บริโภคให้การยอมรับไม่แตกต่างจากแป้งสาลี คุกกี้ที่ได้ มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูงกว่าคุกกี้จากแป้งสาลี 48.54 เท่า แป้งพลาสมันจาวมะพร้าวจึงเป็นวัตถุดิบที่ดีในการเพิ่มปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย

### เอกสารอ้างอิง

ศุภจิรา สุขบุญญสถิตย์ บุษยา เรืองศักดิ์ วาฑิตย ศรีทอง และโสภิตา เชื้อชุดทด. 2560. ผลของการใช้แป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีต่อคุณลักษณะของคุกกี้. แก่นเกษตร. 45(พิเศษ 1): 1060-1065.

ธนากร รติธรรมธร. 2560. แป้งต้านทานการย่อย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 22(1): 166-176.

น้ำฝน ชูพล รุ่งทิพย์ รัตนพล และจินตนา เจริญเนตรกุล. 2566. การใช้แป้งข้าวสาลีพันธุ์ กข43 ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้. วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. 42(2): 124-133.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 414. 2563. เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. หน้า 17-18. ใน: ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 137 ตอนพิเศษ 118 ง. แหล่งข้อมูล: [www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2563/E/118/T\\_0017.PDF](http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2563/E/118/T_0017.PDF). สืบค้น: 25 มีนาคม 2567.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2550. วิธีการประเมินความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 268 หน้า.

ภคศจี คงศีล. 2565. การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของพืชหัวสกุลกลอย (*Dioscorea* sp.) เพื่อความมั่นคงทางอาหาร. ใน: รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 121 หน้า.

รัตนภรณ์ กุลชาติ ศศิธร ประพรม รัชนิวรรณ ชูเชิด และสุพจน์ สัตยากุล. 2566. มันจาวมะพร้าวพืชอัตลักษณ์จังหวัดชัยภูมิ. กลีกร. 96(4): 32-36.

รุจิรา ปรีชา สุนันทา วงศ์ปิยชน และงามชื่น คงเสรี. 2543. การใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เค้กและคุกกี้. หน้า 553-607. ใน: รายงานการวิจัยชุดโครงการวิจัยข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2546. Water Activity กับการควบคุมอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร. แหล่งข้อมูล: <http://www.phtnet.org/2003/09/26/>. สืบค้น: 25 มีนาคม 2567.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2521. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง. ใน: เอกสารมอกที่ 274-2521. สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม.

อริสรา รอดมัย และอรอุมา จิตรวโรภาส. 2549. การผลิตคุกกี้โดยใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีบางส่วน. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 3(1): 37-43.

Al-Dmoor, H. 2013. Correlation study between volume and overall acceptability of cake with properties of hard wheat flour. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 8(2): 149-155.

- AOAC. 2019. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International. 21<sup>st</sup> Edition, AOAC, Washington DC.
- Englyst, H.N., S.M. Kingman and J.H. Cummings. 1992. Classification and measurements of nutritionally important starch fraction. *European Journal of Clinical Nutrition*. 46(Suppl 2): S33-50.
- Gibson, T.S., V.A Solah and B.V. McCleary. 1997. A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with concanavalin A. *Journal of Cereal Science*. 25(2): 111-119.
- Goswami, T.K. and S. Mangaraj. 2011. Advances in polymeric materials for modified atmosphere packaging (MAP). pp. 163-242. In: *Multifunctional and Nanoreinforced Polymers for Food Packaging*. Woodhead Publishing.
- Guo, L., H. Chen, Y. Zhang, S. Yan, X. Chen and X. Gao. 2023. Starch granules and their size distribution in wheat: Biosynthesis, physicochemical properties and their effect on flour-based food systems. *Computational and Structural Biotechnology Journal*. 21: 4172-4186.
- He, Z.H., A.H. Liu, R. J. Peña and S. Rajaram. 2003. Suitability of Chinese wheat cultivars for production of northern style Chinese steamed bread. *Euphytica*. 131(2): 155-163.
- Lamberti, M. and F. Escher. 2007. Aluminum foil as a food packaging material in comparison with other materials. *Food Reviews International*. 23(4): 407-433.
- Li, M. and T.C. Lee. 1996. Effect of cysteine on the functional properties and microstructures of wheat flour extrudates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 44(7): 1871-1880.
- Marynin, A., V. Pasichny, S. Litvynchuk, L. Khomichak, I. Kuznietsova and S. Vysotska. 2021. Influence of water activity on the properties of wheat flour. *Ukrainian Food Journal*. 10(2): 375-386.
- McCleary, B.V. and D.A. Monaghan. 2002. Measurement of resistant starch. *Journal of AOAC International*. 85(3): 665-675.
- Mouritsen, O.G. 2015. The science of taste. *Flavour*. 4: 1-2.
- Ngoma, K., M.E. Mashau and H. Silungwe. 2019. Physicochemical and functional properties of chemically pretreated Ndou sweet potato flour. *International Journal of Food Science*. 2019(1): 4158213.
- Raleng, A., M. Ramarathinam and A. Mishra. 2014. Effect of packaging materials on storage stability of protein rich flour from deoiled sesame cake. *International Journal of Advanced Research*. 2(12): 248-254.
- Ratnasari, D., N. Rustanti, F. Arifan and D. Afifah. 2018. The effects of treatments on batu banana flour and percentage of wheat substitution on the resistant starch, in vitro starch digestibility content and palatability of cookies made with banana (*Musa balisiana* Colla) flour. pp. 1-8. In: *IOP conference series: Earth and environmental science*, 3rd international conference on tropical and coastal region eco development 2017. 2-4 October 2017, Yogyakarta, Indonesia. 116 p.
- Richard, J.L. 2007. Some major mycotoxins and their mycotoxicosis-An overview. *International Journal of Food Microbiology*. 119(1-2): 3-10.
- Sullivan, D.M. and D.E. Carpenter. 1993. Method of analysis for nutrition labeling. AOAC International, Arlington. 624 p.
- Takeda, Y., S. Hizukuri and B.O. Juliano. 1987. Structure rice amylopectins with low and high affinities for iodine. *Carbohydrate Research*. 168(1): 79-88.
- Tamanna, N. and N. Mahmood. 2015. Food processing and Maillard reaction products: Effect on human health and nutrition. *International Journal of Food Science*. 2015(1): 526762.
- Wieser, H., P. Koehler and K.A. Scherf. 2020. Principles of wheat hypersensitivities. pp. 149-159. In: *Wheat - An Exceptional Crop: botanical features, chemistry, utilization, nutritional and health aspects*. Elsevier.

การควบคุมวัชพืชที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพ  
ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กว.เชียงใหม่ 84-2

Appropriate Weed Control for Increasing Yield and Quality of  
Vegetable Soybean cv. DOA Chiang Mai 84-2

โสพิศ ใจपालะ<sup>1/\*</sup> จงรักษ์ พันธุ์ไชยศรี<sup>1/</sup> สราวุธ ดุเมฆ<sup>1/</sup> วงศกร ศรีชัยวงศ์<sup>1/</sup>

Sopit Jaipala<sup>1/\*</sup> Jongrak Phunchaisri<sup>1/</sup> Sarawut Domake<sup>1/</sup> Wongsakorn Sreechaiwong<sup>1/</sup>

*Received 23 Aug. 2024/Revised 1 Dec. 2024/Accepted 2 Dec. 2024*

### ABSTRACT

The objective of this research was to examine the appropriate weed control for increasing the yield and quality of vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai 84-2. The experiment was conducted at Chiang Mai Field Crops Research Center in the 2 dry seasons from November 2021 to May 2023. Ten treatments were tested, using different herbicides as single agents and mixtures, at different rates of active ingredients and different application intervals. Some treatments were supplemented with hand weeding. The treatments were compared with only hand weeding treatment and no weeding treatment. The results revealed that the total dry weight of all weed controls was significantly lower and different from that of the no weed control treatment. The metribuzin was only slightly toxic to vegetable soybeans at 15 days after application (DAA). No toxicity was observed at 30 DAA. Spraying fluazifop-P-butyl and haloxyfop-R-methyl together with the broadleaf herbicide fomesafen was moderately toxic at 7 DAA, and the toxicity decreased to slightly toxic at 15-30 DAA. Weed control efficiency showed that using fluazifop-P-butyl + fomesafen together with hand weeding and using haloxyfop-R-methyl + fomesafen together with hand weeding gave moderate and good weed control. These two treatments gave the highest total yield of 1,680 and 1,595 kg/rai and gave the highest marketable yield of 1,280 and 1,244 kg/rai. All weed control treatments had a benefit-cost ratio (BCR) of more than 1 (worth investing). The application of fluazifop-P-butyl + fomesafen together with hand weeding had the highest value of an investment.

**Keywords:** weed control; yield; vegetable soybean; DOA Chiang Mai 84-2

---

<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

\* Corresponding author: [sopit267@hotmail.com](mailto:sopit267@hotmail.com)

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการควบคุมวัชพืชที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่ 84-2 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ใน 2 ฤดูแล้ง ระหว่างเดือน พ.ย. 2564 ถึง เม.ย. 2566 มี 10 กรรมวิธี โดยใช้สารกำจัดวัชพืชต่างชนิดกัน ทั้งชนิดสารเดี่ยวและสารผสม ใช้อัตราสารออกฤทธิ์ต่างกัน และช่วงเวลาการใช้ต่าง ๆ กัน เปรียบเทียบการใช้แรงงานกำจัดวัชพืชเปรียบเทียบกับกำจัดวัชพืชด้วยแรงงาน และการไม่กำจัดวัชพืช ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักแห้งวัชพืชรวมของการควบคุมวัชพืชทุกกรรมวิธีมีน้อยกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ไม่กำจัดวัชพืช สาร metribuzin เป็นพิษต่อถั่วเหลืองฝักสดเล็กน้อยในระยะ 15 วัน และไม่พบความเป็นพิษที่ ระยะ 30 วันหลังพ่น การใช้สาร fluazifop-P-butyl และ haloxyfop-R-methyl ร่วมกับ สารกำจัดวัชพืชใบกว้าง fomesafen มีพิษปานกลางที่ระยะ 7 วันหลังพ่น และความเป็นพิษจะลดลงเป็นพิษเล็กน้อยที่ระยะ 15-30 วันหลังพ่น ส่วนประสิทธิภาพการควบคุมวัชพืชพบว่า การใช้ fluazifop-P-butyl + fomesafen และกำจัดวัชพืชด้วยแรงงาน การใช้ haloxyfop-R-methyl + fomesafen และกำจัดวัชพืชด้วยแรงงาน สามารถควบคุมวัชพืชได้ปานกลางและดี ให้ผลผลิตฝักสดรวมมากที่สุด 1,680 และ 1,595 กก./ไร่ และผลผลิตฝักสดที่จำหน่ายได้มากที่สุด 1,280 และ 1,244 กก./ไร่ และทุกกรรมวิธีที่มีการกำจัดวัชพืชมีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (benefit cost ratio, BCR) มากกว่า 1 ถือว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยกรรมวิธีที่ใช้ fluazifop-P-butyl + fomesafen และกำจัดวัชพืชด้วยแรงงาน มีความคุ้มค่ามากที่สุด

**คำสำคัญ:** การควบคุมวัชพืช; ผลผลิต; ถั่วเหลืองฝักสด; กวก.เชียงใหม่ 84-2

วัชพืชเป็นศัตรูสำคัญที่มีผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพถั่วเหลืองฝักสด ถ้าไม่มีการกำจัดวัชพืชเลยจะทำให้ผลผลิตถั่วเหลืองลดลงได้ถึง 40-80% โดยระยะ 2-5 สัปดาห์ หลังการออกถั่วมีวัชพืชในแปลงถั่วเหลืองมากจะทำให้ผลผลิตถั่วเหลืองลดลง (กลุ่มวิจัยวัชพืช, 2555) วิธีการที่เกษตรกรเลือกใช้ในการกำจัดวัชพืชมีมากขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม รวมไปถึงสภาพเศรษฐกิจสังคมของแต่ละท้องที่ สถาบันวิจัยพืชไร่ (2543) ได้แนะนำให้ใช้สารเคมีคุมวัชพืชพ่นทันทีหลังจากปลูก และใช้แรงงานคนกำจัดวัชพืช 2-3 ครั้ง เมื่อถั่วเหลืองฝักสดมีอายุประมาณ 14 30 และ 45 วัน ซึ่งการควบคุมวัชพืชในพื้นที่แปลงขนาดใหญ่ เกษตรกรไม่สามารถทำได้เนื่องจากขาดแรงงานในการกำจัดวัชพืช ดังนั้นเกษตรกรจำเป็นต้องใช้สารกำจัดวัชพืชเพื่อความสะดวกและรวดเร็ว ซึ่งมีการใช้สารกำจัดวัชพืชทั้งประเภทก่อนวัชพืชงอก(ยาคุม) และหลังวัชพืชและถั่วเหลืองงอก โดยการใช้ประเภทหลังวัชพืชและถั่วเหลืองงอก จะใช้แบบสารชนิดเดียวหรือแบบผสมเพื่อกำจัดวัชพืชใบแคบและใบกว้างในแปลง

มีรายงานสารกำจัดวัชพืชหลายชนิดที่มีประสิทธิภาพดีในการกำจัดวัชพืชในถั่วเหลือง เช่น สมชาย และคณะ (2541) พบว่า การใช้สารกำจัดวัชพืช fluazifop-P-butyl + fomesafen และ metolachlor ทำให้ผลผลิตถั่วเหลืองสูงกว่าการไม่กำจัดวัชพืชถึง 30 และ 12% ตามลำดับ และ คมสัน และคณะ (2552) พบว่า สารกำจัดวัชพืชประเภทใช้ก่อนและหลังวัชพืชงอกเป็นพิษต่อถั่วเหลืองเพียงเล็กน้อยในระยะ 15 วัน และไม่พบความเป็นพิษที่ระยะ 30 วันหลังการใช้สาร การใช้สารกำจัดวัชพืชประเภทใช้หลังงอก เช่น สาร imazethapyr และ haloxyfop-R-methyl ควบคุมวัชพืชได้ดี ส่วนสาร

fomesafen และ fenoxaprop-P-ethyl ควบคุมวัชพืชได้ปานกลาง วัชพืชที่พบในแปลงถั่วเหลือง ได้แก่ หญ้านกสีชมพู (*Echinochloa colona* (L.) Link.) ผักเบี้ยหิน (*Trianthema portulacastrum* L.) ผักโขมหิน (*Boerhavia diffusa* L.) และแห้วหมู (*Cyperus rotundus* L.) การใช้สารกำจัดวัชพืชดังกล่าวข้างต้นไม่ทำให้ความสูง จำนวนกิ่ง จำนวนข้อ จำนวนฝักต่อต้น และผลผลิตของถั่วเหลืองแตกต่างกัน นอกจากนี้ คมสัน และคณะ (2553) ยังพบว่า สาร imazapic fluazifop-P-butyl + fomesafen และ haloxyfop-methyl+fomesafen สามารถกำจัดวัชพืชได้ทั้งใบแคบและใบกว้างในแปลงถั่วเหลืองฝักสดได้ดี และการใช้สาร fluazifop-P-butyl + fomesafen, haloxyfop-methyl+fomesafen ทำให้ถั่วเหลืองมีจำนวนฝักต่อต้น น้ำหนักฝักต่อต้น และผลผลิตถั่วเหลืองฝักสดสูงขึ้น

เนื่องจากชนิดสารกำจัดวัชพืชและวิธีการพ่นมีผลต่อประสิทธิภาพในการควบคุมวัชพืช ความเป็นพิษต่อถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ต่าง ๆ แตกต่างกัน และยังมีผลต่อผลผลิตและคุณภาพถั่วเหลืองฝักสดอีกด้วย ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่ 84-2 ได้รับการรับรองพันธุ์เมื่อปี พ.ศ. 2555 เป็นพันธุ์ที่ได้มาตรฐานการส่งออกพันธุ์แรกของประเทศไทย มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีกลิ่นหอมคล้ายใบเตยเมื่อต้มในน้ำเดือด 5 นาที (พิมพ์นภา และคณะ, 2555) ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์นี้ยังไม่มีการศึกษาวิธีการควบคุมวัชพืชที่เหมาะสม ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาการควบคุมวัชพืชที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่ 84-2 และมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน ข้อมูลที่ได้จะใช้เป็นคำแนะนำแก่เกษตรกรในการควบคุมวัชพืชในถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่ 84-2

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมแปลงทดลอง

ดำเนินการใน 2 ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงปี พ.ศ. 2564-2566 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block (RCB) 3 ซ้ำ เตรียมแปลงทดลองโดยใช้แปลงย่อยขนาด 4x6 ม. ก่อนปลูกใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 2,000 กก./ไร่ และปุ๋ยเคมีรองพื้นเกรด 8-24-24 อัตรา 30-50 กก./ไร่ โดยหว่านบนหน้าแปลงพร้อมสับกลบและเกลี่ยหน้าดิน ทำการคลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองฝักสดด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม อัตรา 200 ก./เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองฝักสด 10-12 กก. ปลูกถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์กวก.เชียงใหม่ 84-2 ใช้ระยะปลูก 50x20 ซม. หยอดเมล็ด 3-4 เมล็ดต่อหลุม กำจัดวัชพืชตามกรรมวิธีต่าง ๆ ที่กำหนดไว้เมื่อถั่วอายุ 15-20 วันหลังออก ถอนแยกต้นถั่วเหลืองให้เหลือ 2 ต้น/หลุม พร้อมกับใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 13-13-21 อัตรา 30-50 กก./ไร่ โดยโรยข้างแถวแล้วพรวนดินกลบโคนต้น และเมื่อถั่วอายุ 45-50 วันหลังออก ใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 25 กก./ไร่ โดยโรยข้างแถวปลูก ปฏิบัติและดูแลรักษาแปลงทดลองตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร และหยุดพ่นสารเคมีทุกชนิดก่อนเก็บเกี่ยวฝักสด 2 สัปดาห์

### การทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดวัชพืช

ทำการทดสอบการกำจัดวัชพืชในแปลงถั่วเหลืองฝักสด จำนวน 10 กรรมวิธี ดังนี้

1. กำจัดวัชพืชด้วยแรงงาน 1 ครั้ง ที่ 15-20 วันหลังปลูก
2. metribuzin อัตรา 70 ก. สารออกฤทธิ์/ไร่ พ่นคลุมดินหลังปลูก
3. fluazifop-P-butyl + fomesafen อัตรา 24+40 ก. สารออกฤทธิ์/ไร่ พ่นที่ 15 วันหลังปลูก
4. haloxyfop-R-methyl + fomesafen อัตรา 20+40 ก. สารออกฤทธิ์/ไร่ พ่นที่ 15 วันหลังปลูก

5. metribuzin อัตรา 70 ก. สารออกฤทธิ์/ไร่  
พ่นคลุมดินหลังปลูก และกำจัดวัชพืชด้วยแรงงาน 1  
ครั้งที่ 30 วันหลังปลูก

6. metribuzin อัตรา 70 ก. สารออกฤทธิ์/ไร่  
พ่นคลุมดินหลังปลูก และ fluazifop-P-butyl + fomesafen  
อัตรา 24+40 ก. สารออกฤทธิ์/ไร่ พ่นที่ 30 วันหลังปลูก

7. metribuzin อัตรา 70 ก. สารออกฤทธิ์/ไร่  
พ่นคลุมดินหลังปลูก และ haloxyfop-R-methyl +  
fomesafen อัตรา 20+40 ก. สารออกฤทธิ์/ไร่ พ่นที่  
30 วันหลังปลูก

8. fluazifop-P-butyl + fomesafen อัตรา  
24+40 ก. สารออกฤทธิ์/ไร่ พ่นหลังปลูก 15 วัน และ  
กำจัดวัชพืชด้วยแรงงาน 1 ครั้งที่ 45 วันหลังปลูก

9. haloxyfop-R-methyl + fomesafen  
อัตรา 20+40 ก. สารออกฤทธิ์/ไร่ พ่นหลังปลูก 15 วัน  
และกำจัดวัชพืชด้วยแรงงาน 1 ครั้งที่ 45 วันหลังปลูก

10. ไม่กำจัดวัชพืช

กำจัดวัชพืชตามกรรมวิธีที่กำหนดไว้ การพ่น  
สารกำจัดวัชพืชใช้ถังโยกสะพายหลัง (knapsack  
sprayer) หัวพ่นรูปพัด ใช้อัตราน้ำ 80 ลิตร/ไร่ บันทึก  
ข้อมูลชนิดวัชพืชที่พบและน้ำหนักแห้งของวัชพืช โดย  
สุ่มเก็บตัวอย่างวัชพืชในพื้นที่ 0.25 ตร.ม. จำนวน 2  
จุด/แปลงย่อย ที่ 30 วันหลังการกำจัดวัชพืชในแต่ละ  
กรรมวิธี และก่อนเก็บเกี่ยว นำมาแยกชนิดวัชพืช  
และนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °ซ. เป็นเวลา 48 ชั่วโมง  
เพื่อชั่งน้ำหนักแห้ง

### ประเมินความเป็นพิษและประสิทธิภาพของสาร กำจัดวัชพืช

ประเมินความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืชต่อ  
ถั่วเหลืองหลังใช้สารกำจัดวัชพืชด้วยสายตา ที่ระยะ 7  
15 และ 30 วันหลังพ่นสาร ตามลักษณะที่ปรากฏซึ่ง  
ดัดแปลงมาจากวิธีการประเมินของกลุ่มวิจัยวัชพืช  
(2554) และ จริญญา และคณะ (2562) โดยใช้ระดับ  
คะแนน 1-10 ดังนี้

0: พืชปลูกไม่แสดงอาการเกิดพิษ

1: ใบเปลี่ยนสีบริเวณขอบใบไม่ถึงกลางใบ  
เจริญเติบโตได้ปกติ

2: ใบเปลี่ยนสีบางส่วนแต่ไม่ทั่วทั้งใบ  
เจริญเติบโตได้ปกติ

3: ใบเปลี่ยนสีทั้งใบแต่ไม่ทั่วต้น เจริญเติบโตได้ปกติ

4: ใบเปลี่ยนสีทั้งใบแต่ไม่ทั่วต้น หรือใบผิดปกติ  
หรือมีอาการไหม้บริเวณขอบใบไม่ถึงกลางใบ ใบใหม่  
เจริญเติบโตได้ปกติ และมีส่วนสีเขียว 60% เมื่อเทียบกับ  
กรรมวิธีควบคุม

5: ใบเปลี่ยนสีทั้งใบแต่ไม่ทั่วต้น หรือใบผิดปกติ  
หรือใบไหม้บางส่วนแต่ไม่ทั่วทั้งใบ ใบใหม่เจริญเติบโต  
ได้ปกติ และมีส่วนสีเขียว 50% เมื่อเทียบกับกรรมวิธี  
ควบคุม

6: ใบเปลี่ยนสีทั้งใบแต่ไม่ทั่วต้น หรือใบผิดปกติ  
หรือใบไหม้ทั้งใบ ใบใหม่เจริญเติบโตได้ปกติ และมี  
ส่วนสีเขียว 40% เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม

7: ใบเปลี่ยนสี หรือใบผิดปกติ หรือใบไหม้ทั้งต้น  
แต่มีส่วนสีเขียว 30% เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม

8: ใบเปลี่ยนสี หรือใบผิดปกติ หรือใบไหม้ทั้งต้น  
แต่มีส่วนสีเขียว 20% เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม

9: ใบเปลี่ยนสี หรือใบผิดปกติ หรือใบไหม้ทั้งต้น  
แต่มีส่วนสีเขียวปรากฏ 10% เมื่อเทียบกับกรรมวิธี  
ควบคุม

10: พืชปลูกตายทั้งหมด

ประเมินประสิทธิภาพการควบคุมวัชพืชด้วย  
สายตา เปรียบเทียบกับกรรมวิธีไม่กำจัดวัชพืช โดยทำ  
การประเมินหลังการกำจัดวัชพืช 3 ครั้งที่ ระยะ 15  
30 และ 45 วันหลังพ่นสาร โดยดัดแปลงมาจาก  
วิธีการประเมินของ กลุ่มวิจัยวัชพืช (2554) และ  
จริญญา และคณะ (2562) ตามระบบ 0-10 ตาม  
ลักษณะที่ปรากฏ โดย 0 ไม่สามารถควบคุมวัชพืชได้  
และ 1-10 สามารถควบคุมวัชพืชได้ 10-100%  
ตามลำดับ

เก็บเกี่ยวเมื่อถั่วเหลืองฝักสดมีฝักโต เต่ง เต็มฝัก และมีสีเขียวสด (ระยะ  $R_6$ ) อายุ 63-65 วันหลังงอก ในแต่ละแปลงย่อยเก็บเกี่ยวในพื้นที่ 3x3 ม. บันทึกน้ำหนักผลผลิต และองค์ประกอบผลิต ได้แก่ จำนวนต้น/ไร่ จำนวนฝัก/ต้น จำนวนเมล็ด/ฝัก และ น้ำหนัก 100 เมล็ดสด วัดความสูงจาก 10 ต้น/แปลงย่อย จำนวนฝักมาตรฐาน/กก. ความกว้าง ความยาว และความหนาของฝักมาตรฐานจาก 20 ฝัก/แปลงย่อย

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้ทั้งสองแปลงทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ และวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis of variance) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

คำนวณต้นทุนการผลิต และการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ จากอัตราส่วนผลตอบแทน

ต่อการลงทุน (benefit cost ratio: BCR) (ชูชีพ, 2540) เปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจคือ ค่า BCR ต้องมากกว่า 1 ซึ่งหมายความว่าผลตอบแทนที่ได้จะมีมากกว่า

#### ผลการทดลองและวิจารณ์

วัชพืชหลักที่พบมากที่สุดในการแปลงถั่วเหลือง ฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่ 84-2 ในการทดลองนี้ คือ หญ้าตีนนก (*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koel.) หญ้าตีนกา (*Eleusine indica* L.) และผักเสี้ยนขน (*Cleome rutidosperma* DC.) คิดเป็น 69.8 19.4 และ 3.5% ตามลำดับ (Table 1) ซึ่ง โสพิศ และคณะ (2565) ได้รายงานไว้ว่า หญ้าตีนกาเป็นวัชพืชที่พบมาก และมีผลกระทบต่อผลผลิตของถั่วเหลือง โดยพบหญ้าตีนกาถึง 48.0% ของจำนวนวัชพืชที่พบ

**Table 1** Mean number of major weeds found in the no weeding plots of vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai 84-2 before harvesting from two trials at Chiang Mai Field Crops Research Center in dry season 2021/22 - 2022/23

| Weed species                             | Number of plant/m <sup>2</sup> |         |      | % of weed |         |      |
|------------------------------------------|--------------------------------|---------|------|-----------|---------|------|
|                                          | 2021/22                        | 2022/23 | Mean | 2021/22   | 2022/23 | Mean |
| <i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler | 23                             | 384     | 204  | 21.3      | 80.7    | 69.9 |
| <i>Eleusine indica</i> L.                | 51                             | 63      | 57   | 47.2      | 13.2    | 19.5 |
| <i>Cleome rutidosperma</i> DC.           | 7                              | 13      | 10   | 6.5       | 2.7     | 3.4  |
| Other weeds                              | 27                             | 16      | 21   | 25        | 3.4     | 7.2  |
| Total                                    | 108                            | 476     | 292  | 100       | 100     | 100  |

#### น้ำหนักแห้งของวัชพืช และความสูงของถั่วเหลือง

ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปี โดยที่ระยะ 30 วันหลังกำจัดวัชพืชในแต่ละกรรมวิธี พบว่า ทุกกรรมวิธีที่มีการกำจัดวัชพืชมีน้ำหนักแห้งรวมของวัชพืชน้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กับกรรมวิธีที่ไม่กำจัดวัชพืช โดยการใช้ 1) metribuzin 2) metribuzin ร่วมกับการกำจัดวัชพืชด้วยแรงงานคน 3) metribuzin ร่วมกับ fluazifop-P-butyl + fomesafen และ 4) metribuzin ร่วมกับ haloxyfop-R-methyl + fomesafen มีน้ำหนักแห้ง

รวมของวัชพืชน้อยที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 27.2 - 44.6 ก./ตร.ม. ในขณะที่การไม่กำจัดวัชพืช มีน้ำหนักแห้งรวมของวัชพืชมากที่สุด 400.9 ก./ตร.ม. (Table 2)

ในระยะก่อนเก็บเกี่ยว พบว่า น้ำหนักแห้งรวมของวัชพืชทุกกรรมวิธีที่มีการกำจัดวัชพืชน้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ไม่กำจัดวัชพืช โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.43-175.7 ก./ตร.ม. และการไม่กำจัดวัชพืช มีน้ำหนักแห้งรวมของวัชพืชมากที่สุด 285.6 ก./ตร.ม. (Table 2)

ความสูงของถั่วเหลืองที่ระยะเก็บเกี่ยว พบว่า กรรมวิธีที่ไม่กำจัดวัชพืชมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกรรมวิธีที่มีการกำจัดวัชพืช ถั่วเหลืองมีความสูงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 30.5-32.2 ซม. ส่วนกรรมวิธีที่ไม่กำจัดวัชพืช ถั่วเหลืองมีความสูงมากที่สุด 34.8 ซม. (Table 2) แต่มีลำต้นขนาดเล็ก เนื่องจากมีการแข่งขันกับวัชพืชเพื่อรับแสง สอดคล้องกับการศึกษาของ Akey et al. (1990) ที่รายงานว่า วัชพืชที่ขึ้นแข่งขันในแปลงถั่วเหลืองจะสูงกว่า ถั่วเหลือง และแตกกิ่งก้านสาขามากกว่า จึงทำให้มีโอกาสใช้แสงมากกว่าถั่วเหลือง โดยสามารถบังร่มเงาถั่วเหลือง ทำให้ถั่วเหลืองมีผลผลิตลดลง 19-25%

### ความเป็นพิษและประสิทธิภาพของสารควบคุมวัชพืช

การประเมินความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืชต่อถั่วเหลืองด้วยสายตา พบว่า กรรมวิธีที่มีการใช้สารกำจัดวัชพืช metribuzin พ่นคลุมดินหลังปลูก ไม่มีผลกระทบต่อต้นถั่วเหลืองที่ระยะ 7 วันหลังพ่น แต่ที่ระยะ 15 วันหลังพ่น ต้นถั่วเหลืองแสดงอาการเป็นพิษเล็กน้อย และอาการกลับมาปกติที่ระยะ 30 วันหลังพ่น สอดคล้องกับ วัชรศักดิ์ และคณะ (2551) ที่กล่าวว่า การใช้สาร alachlor clomazone metribuzin pendimethalin clomazone + pendimethalin และ metribuzin + pendimethalin พืชปลูกไม่แสดงอาการได้รับพิษ การใช้สารกำจัด

วัชพืชแบบก่อนงอกชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลกระทบต่อพืชปลูก ส่วนกรรมวิธีที่ใช้สารกำจัดวัชพืชใบแคบ ได้แก่ fluazifop-P-butyl และ haloxyfop-R-methyl ร่วมกับสารกำจัดวัชพืชใบกว้าง fomesafen พบว่า ต้นถั่วเหลืองเป็นพิษอยู่ในระดับปานกลางที่ระยะ 7 วันหลังพ่น โดยต้นถั่วเหลืองมีใบไหม้บางส่วนแต่ไม่ทั่วทั้งใบ ใบไหม้เจริญเติบโตได้ปกติ และมีส่วนสีเขียวปรากฏ 50% ของต้น เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่พ่นสารกำจัดวัชพืช หลังจากนั้นความเป็นพิษลดลงเป็นพิษเล็กน้อยที่ระยะ 15-30 วันหลังพ่น โดยต้นถั่วเหลืองมีใบเปลี่ยนสีบางส่วน แต่ไม่ทั่วทั้งใบ เจริญเติบโตได้ปกติ (Table 2) ซึ่งการใช้ fomesafen มีผลทำให้ใบถั่วเหลืองแสดงอาการใบไหม้ และใบที่เกิดขึ้นใหม่ภายหลังไม่มีอาการดังกล่าว ถั่วเหลืองสามารถฟื้นตัวกลับสู่สภาพปกติได้ภายหลังการพ่นสาร 21-28 วัน และไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตของถั่วเหลือง (ชวนชม, 2544)

ประสิทธิภาพการควบคุมวัชพืช สามารถแบ่งกลุ่มการกำจัดวัชพืชออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 มีการกำจัดวัชพืช 1 ครั้ง ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1-4 และกลุ่มที่ 2 มีการกำจัดวัชพืช 2 ครั้ง ได้แก่ กรรมวิธีที่ 5-9 พบว่า

**กลุ่มที่ 1** มีการกำจัดวัชพืช 1 ครั้ง หลังปลูก พบว่า การใช้แรงงานคนสามารถควบคุมวัชพืชได้ดีจนถึงระยะ 15 วันหลังกำจัดวัชพืช และความสามารถในการควบคุมจะลดลงเป็นควบคุมได้ปานกลางที่ระยะ 30-45 วันหลังกำจัดวัชพืช ส่วนกรรมวิธีที่ใช้ metribuzin fluazifop-P-butyl + fomesafen และ haloxyfop-R-methyl + fomesafen สามารถควบคุมวัชพืชได้ปานกลางตั้งแต่ระยะ 15 วันจนถึงระยะ 45 วันหลังกำจัดวัชพืช (Table 2)

**Table 2** Mean of weed dry weight, soybean height, herbicide phytotoxicity and weed control efficacy on vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai 84-2 at different days after application (DAA) of weed control treatments from two trials at Chiang Mai Field Crops Research Center in dry season 2021/22 - 2022/23

| Weed control treatment <sup>1/</sup> | Dry weight of weeds (g/m <sup>2</sup> ) |                   | Plant height of soybean at harvesting (cm) | Phytotoxicity level <sup>2/</sup> of herbicide at |        |        | Efficacy level of weed control <sup>3/</sup> at |        |        |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------------------|--------|--------|
|                                      | At 30 DAA                               | Before harvesting |                                            | 7 DAA                                             | 15 DAA | 30 DAA | 15 DAA                                          | 30 DAA | 45 DAA |
| 1                                    | 137.3 c <sup>4/</sup>                   | 164.5 b           | 31.4 b                                     | 0.0                                               | 0.0    | 0.0    | 7.0                                             | 6.3    | 6.0    |
| 2                                    | 41.5 ab                                 | 175.7 b           | 31.9 b                                     | 0.0                                               | 1.0    | 0.0    | 6.0                                             | 5.0    | 4.3    |
| 3                                    | 87.9 bc                                 | 79.7 ab           | 32.2 b                                     | 5.0                                               | 3.3    | 1.7    | 6.3                                             | 6.0    | 6.0    |
| 4                                    | 122.4 c                                 | 110.3 ab          | 31.2 b                                     | 5.3                                               | 3.7    | 1.7    | 6.7                                             | 6.0    | 6.0    |
| 5                                    | 42.7 ab                                 | 18.6 a            | 30.5 b                                     | 0.0                                               | 0.5    | 0.0    | 5.7                                             | 5.0    | 7.0    |
| 6                                    | 44.6 ab                                 | 98.4 ab           | 30.8 b                                     | 5.3                                               | 3.0    | 1.0    | 6.0                                             | 5.3    | 7.0    |
| 7                                    | 27.2 a                                  | 94.9 ab           | 30.8 b                                     | 4.7                                               | 3.0    | 1.0    | 6.0                                             | 4.7    | 7.0    |
| 8                                    | 97.1 c                                  | 7.4 a             | 32.0 b                                     | 5.0                                               | 3.7    | 1.0    | 6.0                                             | 6.0    | 7.7    |
| 9                                    | 96.0 c                                  | 9.7 a             | 31.4 b                                     | 5.3                                               | 3.0    | 1.7    | 6.0                                             | 6.0    | 7.0    |
| 10                                   | 400.9 d                                 | 285.6 c           | 34.8 a                                     | 0.0                                               | 0.0    | 0.0    | 0.0                                             | 0.0    | 0.0    |
| Mean                                 | 109.8                                   | 104.5             | 31.7                                       |                                                   |        |        |                                                 |        |        |
| F-test <sup>5/</sup>                 | **                                      | **                | **                                         |                                                   |        |        |                                                 |        |        |
| CV (%)                               | 39.1                                    | 88.1              | 5.1                                        |                                                   |        |        |                                                 |        |        |

<sup>1/</sup> Treatments: 1) hand weeding at 15-20 days after planting (DAP) 2) metribuzin 70 g a.i./rai after planting 3) fluzifop-P-butyl + fomesafen 24+40 g a.i./rai at 15-20 DAP 4) haloxifop-R-methyl + fomesafen 20+40 g a.i./rai at 15-20 DAP 5) metribuzin 70 g a.i./rai after planting and hand weeding at 30 DAP 6) metribuzin 70 g a.i./rai after planting and fluzifop-P-butyl + fomesafen 24+40 g a.i./rai at 30 DAP 7) metribuzin 70 g a.i./rai after planting and haloxifop-R-methyl + fomesafen 20+40 g a.i./rai at 30 DAP 8) fluzifop-P-butyl + fomesafen 24+40 g a.i./rai at 15 DAP and hand weeding at 45 DAP 9) haloxifop-R-methyl + fomesafen 20+40 g a.i./rai at 15 DAP and hand weeding at 45 DAP 10) no weeding

<sup>2/</sup> Phytotoxicity level: 0= no toxic, 0.1-3.9= low, 4.0-6.9= moderate, 7.0-9.9 = pretty high, 10 = high (dead)

<sup>3/</sup> Efficacy level of weed control: 0= no control, 1-3 slight control, 4-6= moderate control, 7-9= good control, 10= excellent control

<sup>4/</sup> Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at P<0.05 by DMRT

<sup>5/</sup> \*\* = significant at P<0.01

**กลุ่มที่ 2** มีการกำจัดวัชพืช 2 ครั้ง หลังปลูกพบว่า ทั้ง 5 กรรมวิธี (กรรมวิธี 5-9) สามารถควบคุมวัชพืชได้ปานกลางตั้งแต่ระยะ 15-30 วันหลังกำจัดวัชพืช และสามารถควบคุมวัชพืชได้ดีที่ระยะ 45 วัน หลังพ่นกำจัดวัชพืช (Table 2) ทั้งนี้เนื่องจากการกำจัดวัชพืชครั้งที่ 2 จึงทำให้ประสิทธิภาพการควบคุมวัชพืชเพิ่มขึ้น และยังส่งผลต่อผลผลิตฝักสด ซึ่งการใช้ fomesafen อัตรา 40 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ ที่พ่นเป็นสารเดี่ยว หรือพ่นเป็นสารผสมกับสารกำจัดวัชพืชใบแคบ สามารถกำจัดวัชพืชรวม ใบแคบ ใบกว้าง และกกได้ดี และลดน้ำหนักแห้งของวัชพืชได้มากกว่าการพ่นด้วยสารกำจัดวัชพืชเดี่ยวเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือการไม่กำจัดวัชพืช (ทวี และคณะ, 2539) เช่นเดียวกับ คมสัน และคณะ (2553) พบว่า สาร imazapic, fluazifop-P-butyl + fomesafen และ haloxyfop-R-methyl + fomesafen สามารถกำจัดวัชพืชได้ทั้งใบแคบและใบกว้างได้ดี

#### **ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต**

ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปี ทุกกรรมวิธีที่มีการกำจัดวัชพืชให้ผลผลิตฝักสดรวมเฉลี่ย 1,336–1,680 กก./ไร่ ซึ่งมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ไม่กำจัดวัชพืช ซึ่งให้ผลผลิตฝักสดรวมน้อยที่สุดเพียง 929 กก./ไร่ เนื่องจากทุกกรรมวิธีที่มีการกำจัดวัชพืชมีจำนวนต้น/ไร่ จำนวนฝัก/ต้น และน้ำหนัก 100 เมล็ดสด มากกว่ากรรมวิธีที่ไม่กำจัดวัชพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีจำนวนต้นระหว่าง 30,800–32,767 ต้น/ไร่ จำนวนฝักระหว่าง 20.0–23.3 ฝัก/ต้น และน้ำหนักเมล็ดสดระหว่าง 80.0–85.1 ก./100 เมล็ด โดยกรรมวิธีที่ใช้ fluazifop-P-butyl + fomesafen ร่วมกับการใช้แรงงานคน ให้ผลผลิตฝักสดมากที่สุด 1,680 กก./ไร่ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ haloxyfop-R-methyl + fomesafen ร่วมกับการใช้แรงงานคน (Table 3) ซึ่งผลการทดลองนี้ชี้ว่าการไม่กำจัดวัชพืชทำให้ผลผลิต

ถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กว.เชียงใหม่ 84-2 ลดลงถึง 30-45% ซึ่งสอดคล้องกับ กลุ่มวิจัยวัชพืช (2554) ที่รายงานว่าวัชพืชสามารถทำให้ผลผลิตถั่วเหลืองลดลงได้ถึง 40-80% ถ้าไม่มีการกำจัดวัชพืช และการศึกษาของ สมชาย และคณะ (2541) ที่รายงานว่าการใช้สารกำจัดวัชพืช fluazifop-P-butyl + fomesafen และ metolachlor ถั่วเหลืองให้ผลผลิตสูงกว่าการไม่กำจัดวัชพืชถึง 30 และ 12% ตามลำดับ ส่วน คมสัน และคณะ (2553) พบว่า การใช้ fluazifop-P-butyl + fomesafen, haloxyfop-R-methyl + fomesafen และการกำจัดวัชพืชด้วยมือ ทำให้ถั่วเหลืองมีจำนวนฝัก/ต้น น้ำหนักฝัก/ต้น และผลผลิตถั่วเหลืองฝักสดมากขึ้น จึงเห็นได้ว่า การกำจัดวัชพืชที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบผลผลิตมีลักษณะที่ยืดหยุ่นซึ่งสามารถทดแทนและชดเชยซึ่งกันและกันได้ กล่าวคือ เมื่อองค์ประกอบผลผลิตหนึ่งลดลง แต่ผลผลิตอาจไม่ลดลง เนื่องจากผลผลิตนั้นถูกชดเชยด้วยองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เพิ่มขึ้น (เฉลิมพล, 2542)

#### **ผลผลิตฝักสดที่จำหน่ายได้ จำนวนฝักมาตรฐาน และความกว้าง ความยาว ความหนาของฝัก**

เมื่อพิจารณาผลผลิตฝักสดที่จำหน่ายได้พบว่า มีทิศทางเดียวกับผลผลิตฝักสดรวม และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ใช้ fluazifop-P-butyl + fomesafen ร่วมกับการใช้แรงงานคน ให้ผลผลิตฝักสดที่จำหน่ายได้มากที่สุดคือ 1,280 กก./ไร่ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ haloxyfop-R-methyl + fomesafen ร่วมกับการใช้แรงงานคน ส่วนการไม่กำจัดวัชพืชให้ผลผลิตที่จำหน่ายได้น้อยที่สุด 648 กก./ไร่ (Table 4)

จำนวนฝัก พบว่า ทุกกรรมวิธีที่มีการกำจัดวัชพืชมีจำนวนฝักมาตรฐาน เฉลี่ยระหว่าง 204–214 ฝัก/กก. น้อยกว่าและแตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ไม่กำจัดวัชพืช ซึ่งมีจำนวนฝักมาตรฐาน 244 ฝัก/กก.

(Table 4) อย่างไรก็ตาม การกำจัดวัชพืชทุกกรรมวิธีให้น้ำหนัก 100 เมล็ดสดมากกว่า (Table 3) เมล็ดมีขนาดใหญ่ จึงทำให้มีจำนวนฝักมาตรฐาน/กก. น้อยกว่า ส่วนการไม่กำจัดวัชพืชให้ผลผลิตที่จำหน่ายได้น้อยที่สุด ส่วนความกว้างของฝัก พบความแตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ไม่กำจัดวัชพืชเช่นกัน ยกเว้น

กรรมวิธีที่กำจัดวัชพืชด้วยแรงงานคน และกรรมวิธีการใช้ metribuzin ซึ่งมีความกว้างฝัก 1.45 และ 1.43 ซม. ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีไม่กำจัดวัชพืช ซึ่งมีความกว้างฝัก 1.39 ซม. ส่วนความยาว และความหนาของฝักไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย 6.47-6.96 ซม. และ 0.93-1.00 ซม. ตามลำดับ (Table 4)

**Table 3** Mean of total yield and yield components of vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai 84-2 applied with different weed control treatments from two trials at Chiang Mai Field Crops Research Center in dry season 2021/22-2022/23

| Weed control treatment <sup>1/</sup> | Total yield (kg/rai)  | No. of plants/rai | No. of pods /plant | No. of seeds/pod | 100 Fresh seed wt (g) |
|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|------------------|-----------------------|
| 1                                    | 1,483 c <sup>2/</sup> | 31,833 ab         | 20.8 bc            | 2.40             | 80.0 c                |
| 2                                    | 1,336 d               | 31,233 abc        | 21.7 abc           | 2.41             | 80.2 c                |
| 3                                    | 1,488 c               | 32,367 ab         | 20.0 c             | 2.47             | 80.9 bc               |
| 4                                    | 1,574 bc              | 32,767 a          | 21.2 abc           | 2.48             | 82.4 abc              |
| 5                                    | 1,568 bc              | 32,133 ab         | 22.8 ab            | 2.39             | 85.1 a                |
| 6                                    | 1,532 bc              | 32,333 ab         | 23.0 ab            | 2.41             | 82.4 abc              |
| 7                                    | 1,548 bc              | 30,800 bc         | 23.3 a             | 2.40             | 81.6 bc               |
| 8                                    | 1,680 a               | 32,567 ab         | 23.2 ab            | 2.35             | 82.6 abc              |
| 9                                    | 1,595 ab              | 32,400 ab         | 22.8 ab            | 2.41             | 83.7 ab               |
| 10                                   | 929 e                 | 29,367 c          | 15.3 d             | 2.10             | 76.0 d                |
| Mean                                 | 1,473                 | 31,780            | 21.4               | 2.38             | 81.5                  |
| F-test <sup>3/</sup>                 | **                    | *                 | **                 | ns               | **                    |
| CV (%)                               | 5.5                   | 5.0               | 9.6                | 8.7              | 3.5                   |

<sup>1/</sup> Treatments: 1) hand weeding at 15-20 days after planting (DAP) 2) metribuzin 70 g.a.i./rai after planting 3) fluazifop-P-butyl + fomesafen 24+40 g.a.i./rai at 15-20 DAP 4) haloxyfop-R-methyl + fomesafen 20+40 g.a.i./rai at 15-20 DAP 5) metribuzin 70 g.a.i./rai after planting and hand weeding at 30 DAP 6) metribuzin 70 g.a.i./rai after planting and fluazifop-P-butyl + fomesafen 24+40 g.a.i./rai at 30 DAP 7) metribuzin 70 g.a.i./rai after planting and haloxyfop-R-methyl + fomesafen 20+40 g.a.i./rai at 30 DAP 8) fluazifop-P-butyl + fomesafen 24+40 g.a.i./rai at 15 DAP and hand weeding at 45 DAP 9) haloxyfop-R-methyl + fomesafen 20+40 g.a.i./rai at 15 DAP and hand weeding at 45 DAP 10) no weeding

<sup>2/</sup> Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at P<0.05 by DMRT

<sup>3/</sup> ns = not significant, \* = significant at P<0.05, \*\* = significant at P<0.01

### การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

จากผลผลิตที่ได้ ราคาขายถั่วเหลืองฝักสด กก. ละ 20 บาท เมื่อคิดเป็นรายได้จะเห็นว่า กรรมวิธีที่ใช้ fluazifop-P-butyl + fomesafen ร่วมกับการใช้

แรงงานคน มีรายได้สูงที่สุด 33,600 บาท/ไร่ เนื่องจากมีผลผลิตฝักสดที่จำหน่ายได้สูงที่สุด และการไม่กำจัดวัชพืชมีรายได้ต่ำที่สุด คือ 18,580 บาท/ไร่ ส่วนต้นทุนการผลิต กรรมวิธีที่ใช้

haloxyfop-R-methyl + fomesafen ร่วมกับ การใช้แรงงานคน มีต้นทุนการผลิตมากที่สุด คือ 21,675 บาท/ไร่ รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ใช้ fluazifop-P-butyl + fomesafen ร่วมกับ การใช้แรงงานคน มีต้นทุนการผลิต 21,330 บาท/ไร่ และการไม่กำจัดวัชพืชมีต้นทุนการผลิตน้อยที่สุด 20,030 บาท/ไร่ (Table 5) ซึ่งเห็นได้ว่า ต้นทุนการผลิตถั่วเหลืองฝักสดทุกกรรมวิธีมีค่าสูง เนื่องจากการผลิตถั่วเหลืองฝักสดมีการใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตัน/ไร่ ดังนั้น BCR ของทุกกรรมวิธีที่มีการกำจัดวัชพืชมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน (BCR มากกว่า 1) โดย กรรมวิธีที่ใช้ fluazifop-P-butyl + fomesafen ร่วมกับการใช้แรงงานคน มีค่า

BCR มากที่สุด คือ 1.58 จึงมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด อย่างไรก็ตาม หากไม่สามารถใช้สารกำจัดวัชพืชดังกล่าวได้ ยังสามารถใช้สารกำจัดวัชพืชตามกรรมวิธีอื่นที่ใช้ในการทดลองนี้ที่มีค่า BCR ใกล้เคียงกัน หรือหากไม่มียงบประมาณในการซื้อสารกำจัดวัชพืช หรือกรณีที่ทำการผลิตถั่วเหลืองฝักสดแบบอินทรีย์ สามารถเลือกใช้การกำจัดวัชพืชด้วยแรงงานคน 1 ครั้ง ที่ 15-20 วันหลังปลูก เนื่องจากมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนเช่นกัน ดังนั้น ในการควบคุมวัชพืชในถั่วเหลืองฝักสด เกษตรกรควรเลือกใช้วิธีการที่มีประสิทธิภาพและให้ผลตอบแทนสูง สามารถปฏิบัติได้และเหมาะสมกับงบประมาณของตน

**Table 4** Mean of marketable yield, number of pods per kilogram, pod width, pod length and pod thickness of vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai 84-2 applied with different weed control treatments from two trials at Chiang Mai Field Crops Research Center in dry season 2021-2023

| Weed control treatment <sup>1/</sup> | Marketable yield (kg/rai) | No. of pods/kg | Pod width (cm) | Pod length (cm) | Pod thickness (cm) |
|--------------------------------------|---------------------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|
| 1                                    | 1,116 cd <sup>2/</sup>    | 204 a          | 1.45 abc       | 6.84            | 0.96               |
| 2                                    | 1,009 d                   | 214 a          | 1.43 bc        | 6.60            | 0.94               |
| 3                                    | 1,077 cd                  | 213 a          | 1.47 ab        | 6.78            | 0.98               |
| 4                                    | 1,171 bc                  | 209 a          | 1.49 a         | 6.87            | 0.98               |
| 5                                    | 1,168 bc                  | 207 a          | 1.50 a         | 6.85            | 1.00               |
| 6                                    | 1,162 bc                  | 213 a          | 1.46 ab        | 6.69            | 0.97               |
| 7                                    | 1,103 cd                  | 212 a          | 1.46 ab        | 6.78            | 0.97               |
| 8                                    | 1,280 a                   | 207 a          | 1.47 ab        | 6.96            | 0.99               |
| 9                                    | 1,244 ab                  | 207 a          | 1.48 ab        | 6.80            | 0.98               |
| 10                                   | 684 e                     | 244 b          | 1.39 c         | 6.47            | 0.93               |
| Mean                                 | 1,101                     | 213            | 1.46           | 6.76            | 0.97               |
| F-test <sup>3/</sup>                 | **                        | **             | **             | ns              | ns                 |
| CV (%)                               | 8.3                       | 4.1            | 3.5            | 4.1             | 4.4                |

<sup>1/</sup> Treatments: 1) hand weeding at 15-20 days after planting (DAP) 2) metribuzin 70 g a.i./rai after planting 3) fluazifop-P-butyl + fomesafen 24+40 g a.i./rai at 15-20 DAP 4) haloxyfop-R-methyl + fomesafen 20+40 g a.i./rai at 15-20 DAP 5) metribuzin 70 g a.i./rai after planting and hand weeding at 30 DAP 6) metribuzin 70 g a.i./rai after planting and fluazifop-P-butyl + fomesafen 24+40 g a.i./rai at 30 DAP 7) metribuzin 70 g a.i./rai after planting and haloxyfop-R-methyl + fomesafen 20+40 g a.i./rai at 30 DAP 8) fluazifop-P-butyl + fomesafen 24+40 g a.i./rai at 15 DAP and hand weeding at 45 DAP 9) haloxyfop-R-methyl + fomesafen 20+40 g a.i./rai at 15 DAP and hand weeding at 45 DAP 10) no weeding

<sup>2/</sup> Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at P<0.05 by DMRT

<sup>3/</sup> ns = not significant, \*\* = significant at P<0.01

**Table 5** Income, total cost and benefit cost ratio (BCR) of vegetable soybean cv. DOA Chiang Mai 84-2 applied with different weed control treatments at Chiang Mai Field Crops Research Center in dry season 2021- 2023

| Weed control treatment                                                                                      | Income<br>(baht/rai) <sup>1/</sup> | Total cost<br>(baht/rai) <sup>2/</sup> | BCR  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|------|
| 1. hand weeding at 15 days after planting (DAP)                                                             | 29,660                             | 20,930                                 | 1.42 |
| 2. metribuzin 70 g a.i./rai after planting                                                                  | 26,720                             | 20,320                                 | 1.31 |
| 3. fluazifop-P-butyl + fomesafen 24+40 g a.i./rai at 15-20 DAP                                              | 29,760                             | 20,430                                 | 1.46 |
| 4. haloxyfop-R-methyl + fomesafen 20+40 g a.i./rai at 15-20 DAP                                             | 31,480                             | 20,775                                 | 1.52 |
| 5. metribuzin 70 g a.i./rai after planting and hand weeding at 30 DAP                                       | 31,360                             | 21,220                                 | 1.48 |
| 6. metribuzin 70 g a.i./rai after planting and fluazifop-P-butyl + fomesafen 24 + 40 g a.i./rai at 30 DAP   | 30,640                             | 20,720                                 | 1.48 |
| 7. metribuzin 70 g. a.i./rai after planting and haloxyfop-R-methyl + fomesafen 20 + 40 g a.i./rai at 30 DAP | 30,960                             | 21,065                                 | 1.47 |
| 8. fluazifop-P-butyl + fomesafen 24 + 40 g a.i./rai at 15 DAP and hand weeding at 45 DAP                    | 33,600                             | 21,330                                 | 1.58 |
| 9. haloxyfop-R-methyl + fomesafen 20+40 g a.i./rai at 15 DAP and hand weeding at 45 DAP                     | 31,900                             | 21,675                                 | 1.47 |
| 10. no weeding                                                                                              | 18,580                             | 20,030                                 | 0.93 |
| Mean                                                                                                        | 29,466                             | 20,849                                 | 1.41 |

<sup>1/</sup> Yield price=20 baht/kg

<sup>2/</sup> Total costs: plowing and raising furrows=900 baht/rai, seed=1,200 baht/rai, watering=600 baht/rai, planting=1,200 baht/rai, herbicides application + labor cost=0-1,645 baht/rai (metribuzin=140 baht/rai, fluazifop-P-butyl=122 baht/rai, haloxyfop-R-methyl=467 baht/rai, fomesafen=128 baht/rai and labor cost=150 baht/rai), insecticide application + labor cost=1,100 baht/rai, fertilizer application + labor cost=11,430 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

### สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการควบคุมวัชพืชที่เหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่ 84-2 พบว่า วัชพืชหลักที่พบมาก คือ หญ้าตีนนก หญ้าตีนกา และผักเสี้ยนขน น้ำหนักแห้งรวมของการควบคุมวัชพืชทุกกรรมวิธีมีน้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ไม่กำจัดวัชพืช สารกำจัดวัชพืช metribuzin เป็นพิษต่อถั่วเหลืองเพียงเล็กน้อยในระยะ 15 วัน และไม่พบความเป็นพิษที่ระยะ 30 วันหลังพ่น การใช้สารกำจัดวัชพืช fluazifop-P-butyl และ haloxyfop-R-methyl ร่วมกับสารกำจัดวัชพืชใบกว้าง fomesafen เป็นพิษปานกลางที่ระยะ 7 วันหลังพ่น และความเป็นพิษจะลดลงเป็นพิษ

เล็กน้อยที่ระยะ 15-30 วันหลังพ่นส่วนประสิทธิภาพการควบคุมวัชพืช พบว่า การใช้ fluazifop-P-butyl + fomesafen และกำจัดวัชพืชด้วยแรงงาน การใช้ haloxyfop-R-methyl + fomesafen และกำจัดวัชพืชด้วยแรงงาน สามารถควบคุมวัชพืชได้ปานกลางและดี ให้ผลผลิตฝักสดรวมมากที่สุด 1,680 และ 1,595 กก./ไร่ และผลผลิตฝักสดที่จำหน่ายได้มากที่สุด 1,280 และ 1,244 กก./ไร่ และการกำจัดวัชพืชทุกกรรมวิธีมี BCR มากกว่า 1 ถือว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยกรรมวิธีที่ใช้ fluazifop-P-butyl + fomesafen และกำจัดวัชพืชด้วยแรงงาน มีความคุ้มค่ามากที่สุด วิธีการควบคุมวัชพืชดังกล่าวเหมาะสมที่จะนำไปใช้แนะนำเกษตรกรในการปลูกถั่วเหลืองฝักสดพันธุ์ กวก.เชียงใหม่ 84-2

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณกรมวิชาการเกษตรและสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมในการสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยทั้งหมด

## เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มวิจัยวัชพืช. 2554. คำแนะนำการจัดทำแผนและรายงานผลการทดลองประสิทธิภาพสารกำจัดวัชพืชเพื่อขึ้นทะเบียนวัตถุอันตราย. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด สาขา 4, นนทบุรี. 100 หน้า.
- กลุ่มวิจัยวัชพืช. 2555. คำแนะนำการควบคุมวัชพืชและการใช้สารกำจัดวัชพืช ปี 2554. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ. 149 หน้า.
- คมสัน นครศรี จริญญา ปิ่นสุภา ภัทรพิชชา รุจิระพงศ์ชัย กลอยใจ คงเจียง และทิพย์ดรุณี สิทธินาม. 2553. การศึกษาประสิทธิภาพสารป้องกันกำจัดวัชพืชชนิดใหม่ในพืชเศรษฐกิจ (ถั่วเหลืองฝักสด). แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=1051>. สืบค้น: 21 สิงหาคม 2567.
- คมสัน นครศรี จริญญา ปิ่นสุภา และนางลักษณ์ ปันลาย. 2552. ผลของสารกำจัดวัชพืชและเวลาการใช้ต่อการควบคุมวัชพืชในการผลิตถั่วเหลือง. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=1924>. สืบค้น: 21 สิงหาคม 2567.
- จริญญา ปิ่นสุภา อุษณีย์ จินดากุล เทอดพงศ์ มหาวงษ์ พรณภัส วิชานะณานนท์ และประชาธิปไตย พงษ์ภิญโญ. 2562. ประสิทธิภาพสารกำจัดวัชพืชประเภทพ่นก่อนวัชพืชงอกในฝักซีฟร้ง. วารสารวิชาการเกษตร. 37(3): 320-331.
- เฉลิมพล แชมเพชร. 2542. ศรีวิทยาพืชไร่. โรงพิมพ์พันธุ์การพิมพ์. เชียงใหม่. 276 หน้า.
- ชวนชม ศิริศรี. 2544. ผลการแก่งแย่งและการควบคุมวัชพืชใบกว้างที่มีต่อเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสด. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 95 หน้า.

- ชูชีพ พิพัฒน์ศิริ. 2540. เศรษฐศาสตร์การวิเคราะห์โครงการ. ภาควิชาเศรษฐศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 230 หน้า.
- ทวี แสงทอง วิโรจน์ วจนานวัช จรูญ อารีย์ และมาลี พึ่งเจริญ. 2539. ผลของสารกำจัดวัชพืชพ่นหลังการงอกต่อวัชพืชและผลผลิตของถั่วเหลืองฝักสด. หน้า 273-279. ใน: การประชุมวิชาการถั่วเหลืองแห่งชาติ ครั้งที่ 6, วันที่ 3-6 กันยายน 2539 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส. จ.เชียงใหม่.
- พิมพ์นภา ขุนพิลึก เอนก โชติญาณวงษ์ พิมพ์ โชติญาณวงษ์ วิระศักดิ์ เทพจันทร์ จิราลักษณ์ ภูมิไธสง นริลักษณ์ วรรณสาย อรรณพ กสิวิวัฒน์ และอานนท์ มลิพันธ์. 2555. ถั่วเหลืองฝักสดกลิ่นหอมพันธุ์ เชียงใหม่ 84-2. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=347>. สืบค้น: 21 สิงหาคม 2567.
- วัชรศักดิ์ สุขเจริญวิภารัตน์ ดรพัน แสนศิริพันธ์ และทศพล พรหม. 2551. ประสิทธิภาพและการตรวจหาสารกำจัดวัชพืชตกค้างในการผลิตถั่วเหลืองฝักสด. วารสารวิชาการเกษตร. 26(3): 231-244.
- สถาบันวิจัยพืชไร่. 2543. การผลิตถั่วเหลืองฝักสดอย่างถูกต้องและเหมาะสม. บริษัท โชตนาพรินท์ จำกัด. เชียงใหม่. 14 หน้า.
- สมชาย บุญประดับ เทวา เมลานนท์ พรศักดิ์ ดวงพุดตาน และมนตรี ชาตะศิริ. 2541. ผลของอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์และสารกำจัดวัชพืชต่อผลผลิตของถั่วเหลืองฤดูแล้งในจังหวัดพิษณุโลก. หน้า 20. ใน: รายงานบทคัดย่อ การประชุมวิชาการถั่วเหลืองแห่งชาติ ครั้งที่ 7, วันที่ 25-27 สิงหาคม 2541. ณ อาคารวิทยทัศน์ ม.สุโขทัยธรรมาธิราช กรุงเทพฯ.
- โสพิศ ใจपालะ จงรักษ์ พันธุ์ไชยศรี และพิมพ์ล ภาวดี. 2565. การใช้สารกำจัดวัชพืชในการควบคุมวัชพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตถั่วเหลืองหลังนา. วารสารวิชาการเกษตร. 40(1): 98-108.
- Akey, W.C., T.W. Jurik and J. Dekker. 1990. Competition for light between velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and soybean (*Glycine max*). Weed Research. 30(6): 403-411.

ลักษณะเรืองแสงสีเขียวที่แสดงออกในไม้น้ำสวยงามสองชนิดโดยการส่งถ่ายยีน *gfp*  
ด้วยอะโกรแบคทีเรียที่เริ่มเข้าสู่เนื้อเยื่อเป้าหมาย

Green Fluorescence Expression in Two Aquarium Plant Species by  
Agrobacterium-Mediated *gfp* Gene Transferred into the Target Tissues

พนม กระจางพจน์ สอดสุข<sup>1/\*</sup> พลชาติ ผิวเณร<sup>2/</sup> สุจิตรา เพชรคง<sup>2/</sup>

สุรีย์พร เย็นสุวรรณ<sup>2/</sup> จริญญา สุวรรณาคะ<sup>2/</sup>

Panom Krachangpoj Sodsuk<sup>1/\*</sup> Ponlachart Pewnane<sup>2/</sup> Sujitra Pechkong<sup>2/</sup>

Sureeporn Yensuwan<sup>2/</sup> Jarinya Suwannakha<sup>2/</sup>

Received 1 Sep. 2024/Revised 18 Oct. 2024/Accepted 18 Oct. 2024

ABSTRACT

The development of plants containing novel characteristics can be done using gene transfer of the target gene into the plant genome. This study aimed to obtain information on the green fluorescence expression of the *gfp* gene in 2 aquarium plant species, *Anubias nana* and *Hygrophila difformis*. The Agrobacterium-mediated gene transfer was used to transfer the *gfp* gene and other necessary genes for the process of expression into the plant target tissues. Somatic callus was used as the target tissue for gene transfer in *A. nana*, while somatic callus and shoots were used in *H. difformis*. The results found that the transformation efficiency was 280 cells of the Agrobacterium with plasmid (pCambia1304) inside per 1 µg of the plasmid used. The *gfp* gene with all necessary other genes was successfully transferred, confirmed by the blue spots by the GUS gene from histochemical analysis, the occurrence of the target 327 bp band of the *gfp* DNA by the PCR technique, and the *gfp* expression as green fluorescence of the GFP protein. However, in six-month-old T<sub>1</sub> plants produced from tissue culture from the original gene-transferred plantlets (T<sub>0</sub>) of both *A. nana* and *H. difformis*, which the callus was used as the target tissue, did not show the *gfp* band, which was probably due to chimeras. But the T<sub>1</sub> of *H. difformis* that the shoot was used as the target tissue showed the *gfp* band. It can be concluded that callus should not be used as the target tissue for *gfp* gene transfer in these two aquarium plant species, whereas shoots can be used as the target tissue in *H. difformis*.

**Keywords:** green fluorescence; *gfp* expression; target tissue for gene transfer; aquarium plants

<sup>1/</sup> ข้าราชการบำนาญ กรมประมง ถ. พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>1/</sup> Retired government officer, Department of Fisheries, Phahonyothin Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

<sup>2/</sup> กองวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง จ.ปทุมธานี 12120

<sup>2/</sup> Aquaculture Genetics Research and Development Division, Department of Fisheries, Pathum Thani 12120, Thailand

\* Corresponding author: panomks@yahoo.com

## บทคัดย่อ

การพัฒนาพันธุ์ไม้ให้มีลักษณะแปลกใหม่ทำได้โดยใช้การส่งถ่ายยีนที่มีลักษณะต้องการเข้าสู่เซลล์จีโนมพืช จึงได้ศึกษาลักษณะเรืองแสงสีเขียวที่แสดงออกโดยยีน *gfp* ในไม้เนื้อ 2 ชนิด ได้แก่ อนุเบียสนานา (*Anubias nana*) และดาวกระจาย (*Hygrophila difformis*) โดยใช้อะโกรแบคทีเรีย (*Agrobacterium tumefaciens*) เป็นตัวกลางส่งถ่ายยีน *gfp* และยีนอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการแสดงออกของยีน *gfp* เข้าสู่เนื้อเยื่อโคมاتิกแคลลัสในอนุเบียสนานา ขณะที่ดาวกระจายใช้ทั้งเนื้อเยื่อโคมاتิกแคลลัสและเนื้อเยื่อต้นอ่อน ผลการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพการถ่ายฝากยีนอยู่ที่ 280 เซลล์ของอะโกรแบคทีเรียที่มีพลาสมิด (pCAMBIA1304) รับฝากไว้ในเซลล์ต่อปริมาณพลาสมิดที่ใช้ 1 ไมโครกรัม ยีน *gfp* พร้อมด้วยยีนอื่น ๆ ที่จำเป็นทั้งหมดได้รับการส่งถ่ายสู่เนื้อเยื่อเป้าหมายสำเร็จ เนื่องจากการเกิดจุดสีน้ำเงินในเนื้อเยื่อจากปฏิกิริยาการติดสีน้ำเงินเนื่องจากยีน GUS การเกิดแถบดีเอ็นเอเป้าหมายของยีน *gfp* ขนาด 327 bp จากเทคนิคพีซีอาร์ และเกิดการแสดงออกของยีน *gfp* ด้วยการเรืองแสงสีเขียวจากโปรตีน GFP แต่ในไม้เนื้ออนุเบียสนานาและดาวกระจายรุ่นลูก (T<sub>1</sub>) อายุ 6 เดือนที่ผลิตโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากไม้เนื้อแรกที่ได้รับการถ่ายฝากยีน (T<sub>0</sub>) โดยใช้แคลลัสเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายไม่ปรากฏแถบดีเอ็นเอของยีน *gfp* ซึ่งอาจเป็นเพราะการเกิดไคเมรา (chimera) แต่พบแถบดีเอ็นเอของยีน *gfp* ในรุ่นลูกของดาวกระจายที่ใช้ต้นอ่อนเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมาย ดังนั้นการใช้แคลลัสจึงไม่เหมาะสมในการเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายในการถ่ายยีน *gfp* ในไม้เนื้อดังกล่าวทั้งสองชนิด ในขณะที่การใช้เนื้อเยื่อต้นอ่อนเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายมีความเหมาะสมในไม้เนื้อดาวกระจาย

**คำสำคัญ:** ลักษณะเรืองแสงสีเขียว; การแสดงออกของยีน *gfp*; เนื้อเยื่อเป้าหมายถ่ายยีน; ไม้เนื้อสวยงาม

## บทนำ

ไม้เนื้อสวยงามสำหรับตกแต่งหรือประดับตู้ปลาเป็นพืชกลุ่มไม้ดอกไม้ประดับที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ได้รับความนิยมทั้งภายในและต่างประเทศ มูลค่าการส่งออกไม้เนื้อสวยงามของไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (อรุณี, 2563) ประเทศผู้ผลิตไม้เนื้อสวยงามเพื่อการส่งออกรายใหญ่ ได้แก่ สิงคโปร์ มาเลเซีย และไทย (วิทยา และคณะ, 2540) ไม้เนื้อสวยงามเพื่อการส่งออกที่น่าสนใจได้แก่ อนุเบียสนานา (*Anubias nana*) และ ดาวกระจาย (water wisteria, *Hygrophila difformis*) กำลังเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ

การผลิตไม้เนื้อเพื่อการจำหน่ายจำเป็นต้องมีคุณภาพดี ปราศจากโรค มีปริมาณมากเพียงพอและได้มาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ นอกจากนี้ ความหลากหลายและแปลกใหม่ในรูปลักษณะที่ปรากฏสามารถเพิ่มมูลค่าของไม้เนื้อให้สูงขึ้นได้ (พลชาติ และคณะ, 2562; สุจิตรา และคณะ, 2563) ได้มีแนวความคิดที่จะพัฒนาไม้เนื้อให้มีความแปลกใหม่โดยใช้เทคนิคสมัยใหม่ เทคนิคที่นิยมใช้ ได้แก่ การส่งถ่ายยีน (gene transfer) ที่ทำให้เกิดลักษณะแปลกเข้าสู่เซลล์จีโนมพืช นิยมใช้แบคทีเรียอะโกรแบคทีเรียเป็นตัวกลาง (Agrobacterium-mediated) เนื่องจากมีอัตราการเปลี่ยนแปลงลำดับดีเอ็นเอของยีนที่ปลูกถ่ายต่ำ สามารถปลูกถ่ายยีนขนาดใหญ่ได้ดี ใช้ชุดของยีนจำนวนน้อย มีประสิทธิภาพการปลูกถ่ายยีนสูง และต้นทุนต่ำ (Perez-Pineiro et al., 2012)

การส่งถ่ายยีนเพื่อทำให้สิ่งมีชีวิตเรืองแสงได้เป็นความแปลกใหม่และน่าสนใจ ได้มีการนำยีนที่ทำให้เกิดการเรืองแสง *gfp* ซึ่งเป็นยีนในเซลล์ของแมงกระพรุนชนิด *Aequorea victoria* ทำหน้าที่ควบคุมการผลิตโปรตีนเรืองแสงสีเขียว (green fluorescent protein, GFP) มาใช้ในการส่งถ่ายยีน

อย่างแพร่หลาย ข้อดีของการส่งถ่ายยีน *gfp* คือสามารถตรวจสอบได้ในเซลล์สภาพมีชีวิต และตรวจสอบได้โดยตรงจากการสังเกตการเรืองแสงของโปรตีนที่เป็นผลผลิตจากยีนโดยไม่ต้องใช้สาร substrate หรือการย้อมสีซึ่งอาจทำลายเซลล์ได้ ส่วนเนื้อเยื่อพืชที่ใช้เป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายสำหรับการถ่ายฝากยีนต้องเป็นเนื้อเยื่อเจริญ (meristic tissue) จึงจะสามารถพัฒนาเป็นต้นที่สมบูรณ์ต่อไปได้ เช่น เนื้อเยื่อส่วนปลายรากและใบอ่อน ยอดต้นอ่อน และแคลลัส (callus) ที่เป็นเอ็มบริโอจินิก (embryogenic) หรือโซมาติกแคลลัส (somatic callus) เป็นต้น (ศิริวรรณ, 2550) ซึ่งนิยมใช้แคลลัสเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายเนื่องจากเป็นเซลล์ที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ยังไม่มีการพัฒนาเป็นเนื้อเยื่อหรือส่วนต่าง ๆ ของพืช สามารถชักนำได้จากชิ้นส่วนต่าง ๆ ของพืชเกือบทุกชนิด มีความเหมาะสมในการถ่ายยีนด้วยอะโกรแบคทีเรียทุกเซลล์ในแคลลัสมีพันธุกรรมเหมือนต้นพ่อแม่ เมื่อปลูกถ่ายยีนแล้วสามารถชักนำให้เกิดเป็นต้นสมบูรณ์ได้เป็นจำนวนมาก และสามารถอธิบายถึงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพืชที่ได้รับการถ่ายฝากยีนได้ (Li et al., 2003)

เนื่องจากอนุเบียสนานาและดาวกระจายเป็นไม้น้ำสวยงามเป็นที่ต้องการของตลาดเพื่อการส่งออก การพัฒนาให้ไม้น้ำดังกล่าวมีลักษณะแปลกใหม่โดยสามารถเรืองแสงได้นั้นจะทำให้มูลค่าการตลาดเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงทำการทดลองโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการแสดงออกของยีนเรืองแสงของยีน *gfp* ในไม้น้ำสวยงาม ที่ผ่านการส่งถ่ายยีนด้วยอะโกรแบคทีเรียสู่เนื้อเยื่อเป้าหมายในอนุเบียสนานาและดาวกระจาย เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาพันธุ์ไม้น้ำให้มีลักษณะการเรืองแสงได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการค้าขายไม้น้ำสวยงามที่มีความแปลกใหม่ในอนาคต

## อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการที่กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำจ.ปทุมธานี ในห้องปฏิบัติการระบบปิด ตามระเบียบวิธีการศึกษาวิจัยสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม และอยู่ในความควบคุมดูแลของคณะกรรมการความปลอดภัยทางชีวภาพระดับสถาบัน กรมประมง

### 1. การเตรียมเนื้อเยื่อเป้าหมาย

#### 1.1 เตรียมต้นอ่อน สำหรับเตรียมเนื้อเยื่อเป้าหมายเพื่อใช้ในการถ่ายยีน

ทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไม้น้ำอนุเบียสนานาตามวิธีการของสุจิตรา และคณะ (2551) และดาวกระจาย ตามวิธีของสุรางค์ และสุจิตรา (2551) เพื่อให้ได้จำนวนต้นอ่อนเพียงพอสำหรับการเตรียมเนื้อเยื่อเป้าหมายเพื่อใช้ในการถ่ายยีน

#### 1.2 เตรียมเนื้อเยื่อเป้าหมายเพื่อใช้ในการถ่ายยีน

เตรียมโซมาติกแคลลัสเพื่อเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายในข้อ 1.1 เพื่อให้เจริญเป็นโซมาติกแคลลัสตามวิธีการของสุรีย์พร และคณะ (2563) และทดลองใช้เนื้อเยื่อต้นอ่อน โดยไม่ผ่านขั้นตอนการชักนำแคลลัส เป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายในการส่งถ่ายยีนในไม้น้ำดาวกระจายด้วย

### 2. ขั้นตอนกระบวนการส่งถ่ายยีน

#### 2.1 เตรียมเชื้ออะโกรแบคทีเรียและพลาสมิด

ดำเนินการตามวิธีของพลชาติ และคณะ (2562) และ สุจิตรา และคณะ (2563) โดยใช้เชื้ออะโกรแบคทีเรียชนิด *Agrobacterium tumefaciens* สายพันธุ์ LBA4404 (ElectroMax™, Invitrogen Life Technologies, Crop., U.S.A) ทำการเตรียมเชื้ออะโกรแบคทีเรียที่พร้อมรับพลาสมิด (plasmid) หรือ competent cells ตามวิธีการในเอกสารกำกับการใช้ (Invitrogen Life Technologies, Crop. U.S.A) ด้วยการนำเชื้อที่เก็บแช่แข็งมาละลายที่อุณหภูมิประมาณ 4 °ซ. แล้วนำ

เชื้อเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร LB (Luria bertani broth; tryptone 10 ก./ล. yeast extract 5 ก./ล. และ NaCl 5 ก./ล.) ที่เติมยา Rifampicin 50 มก./ล. และปรับ pH 7.0 เลี้ยงบนเครื่องเขย่าสารความเร็ว 120 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 25 °ซ. และทำการเตรียมพลาสมิด pCAMBIA1304 (Marker Gene Technologies Inc., U.S.A) ซึ่งเป็น binary vector ขนาด 12,362 bp (base pair) ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัม/มก. ที่มีลำดับดีเอ็นเอในส่วน T-DNA ซึ่งมียีนควบคุมการสร้างโปรตีนเรืองแสง *gfp* (*mgfp5*) ยีนโปรโมเตอร์ (promoter gene) CaMV35S ยีนต้านทานยาปฏิชีวนะ Kanamycin R (KanR) และ Hygromycin R (HygR) เป็นยีนคัดเลือก และยีน *gusA* (GUS) เป็นยีนรายงานผล (reporting gene)

## 2.2 นำพลาสมิดเข้าสู่เซลล์อะโกรแบคทีเรีย (transformation)

ดำเนินการตาม พลชาติ และคณะ (2562) และ สุจิตรา และคณะ (2563) โดยนำพลาสมิดเข้าสู่เซลล์เชื้ออะโกรแบคทีเรียด้วยวิธี electroporation ซึ่งเป็นการกระตุ้นโดยใช้กระแสไฟฟ้า 2 กิโลโวลต์ ความต้านทาน 200 โอห์ม ความจุไฟฟ้า 25 ไมโครฟารัด โดยใช้เครื่อง electroporation (BTX electro cell manipulator 600, U.S.A) เลี้ยงเชื้ออะโกรแบคทีเรียที่ผ่านการทำ electroporation ในอาหารเหลว SOC (super optimal broth with catabolite repression) ปริมาตร 1 มล. จากนั้นย้ายปริมาตรทั้งหมดไปเลี้ยงบนอาหาร ซึ่งเป็นอาหารกึ่งแข็งสูตร LB ที่ผสมยาปฏิชีวนะกานามัยซิน เพื่อใช้คัดเลือกเชื้ออะโกรแบคทีเรียที่ได้รับพลาสมิด pCAMBIA1304 นับจำนวนโคโลนีของเชื้ออะโกรแบคทีเรียที่เจริญขึ้นบนอาหารเพื่อนำไปคำนวณประสิทธิภาพการถ่ายพลาสมิดเข้าสู่เซลล์ (transformation efficiency; EDVOTEK, 2024) นำโคโลนีเดียวที่เจริญบนอาหารไปเลี้ยงขยายในอาหารเหลว LB เพื่อให้ได้เชื้ออะโกรแบคทีเรียจำนวนเพียงพอ

## 2.3 ถ่ายยีน *gfp* เข้าสู่เนื้อเยื่อเป้าหมายที่เตรียมไว้

โดยมีขั้นตอนดำเนินการเริ่มต้นจากตัดแบ่งชิ้นเนื้อเยื่อเป้าหมายที่เตรียมไว้จากข้อ 1.2 ให้มีขนาดประมาณ 0.5 ซม. ทำการเลี้ยงอะโกรแบคทีเรียที่มีพลาสมิด pCAMBIA1304 ในอาหารเหลวสูตร LB แล้ววัดระดับการเจริญของอะโกรแบคทีเรียโดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวช่วงคลื่น 600 นาโนเมตร (optical density, O.D.<sub>600</sub>) ด้วยเครื่อง spectrophotometer เมื่ออะโกรแบคทีเรียเจริญถึงระดับ log phase (O.D.<sub>600</sub> = 1.0–1.2) นำไปปั่นเหวี่ยงให้ตกตะกอนแล้วนำไปเปลี่ยนถ่ายอาหารเหลวสูตร LB ที่ผสมสาร acetosyringone 100 ไมโครโมลาร์ และผสมสาร celite (SiO<sub>2</sub>) 5 มก./มล. เพื่อกระตุ้นเนื้อเยื่อเป้าหมายให้เกิดบาดแผล นำชิ้นเนื้อเยื่อเป้าหมายแช่ลงในเชื้ออะโกรแบคทีเรียที่ผสมสาร acetosyringone นาน 30 นาที จากนั้นนำไปเลี้ยงร่วมกันบนอาหารกึ่งแข็งสูตร LB นาน 5 วัน นำชิ้นเนื้อเยื่อที่ผ่านการเลี้ยงร่วมกับอะโกรแบคทีเรียมาแช่ในอาหารเหลวสูตร LB ที่ผสมยา cefotaxime 400 มก./ล. นาน 10 นาทีเพื่อกำจัดเชื้ออะโกรแบคทีเรียและกำจัดเชื้ออะโกรแบคทีเรียที่ยังหลงเหลืออยู่ซ้ำอีกโดยนำชิ้นเนื้อเยื่อไปเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS (Murashige and Skoog, 1962) ที่ผสม cefotaxime 200 มก./ล. นาน 7 วัน

## 2.4 คัดเลือกเนื้อเยื่อเป้าหมายที่ได้รับการถ่ายยีน

นำเนื้อเยื่อแคลลัสของอนุเบียสนานาไปเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA (N6-benzyl adenine) และ NAA (naphthalene acetic acid) ส่วนแคลลัสของไม้ไผ่ดาวกระจายเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA 0.3 มก./ล. ร่วมกับ NAA 0.1 มก./ล. ซึ่งมีผลกระตุ้นให้แคลลัสดาวกระจายเจริญเป็นต้นอ่อน ผสมยาปฏิชีวนะฮัยโกรมัยซิน 30 มก./ล. ทั้งในอาหารเลี้ยงทั้ง 2 พืช เพื่อเป็นตัวคัดเลือก

สำหรับไม้ตัดดาวกระจายที่เนื้อเยื่อเป้าหมายเป็นต้นอ่อน คัดเลือกโดยนำต้นอ่อนที่กำลังจัดเชื้ออะโกรแบคทีเรียแล้วไปเลี้ยงบนอาหารสูตร MS (สรวงศ์และสุจิตรา, 2551) และผสมยาปฏิชีวนะฮัยโกรมัยซินเข้มข้น 15 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 25-30 °ซ. และเก็บข้อมูลจำนวนเนื้อเยื่อที่รอดตายและเจริญเป็นต้นอ่อนหลังจากเลี้ยงนาน 30 วัน โดยเนื้อเยื่อพืชที่ไม่ได้รับการถ่ายยีนจะตายในอาหารคัดเลือก เนื่องจากเป็นเนื้อเยื่อที่ไม่มียีน HygR ที่ต้านยาฮัยโกรมัยซิน ทำให้สามารถคัดเลือกเนื้อเยื่อที่ได้รับการถ่ายยีนออกจากเนื้อเยื่อที่ไม่ได้รับการถ่ายยีนได้

### 3. ตรวจสอบการส่งถ่ายยีนและลักษณะแสดงออกของยีน *gfp* ในเนื้อเยื่อ

#### 3.1 GUS histochemical analysis

ตรวจสอบการส่งถ่ายยีนจากการแสดงออกของยีน GUS (*gusA*) ซึ่งเป็นยีนรายงานผลที่อยู่ในพลาสมิด pCAMBIA1304 โดยนำเนื้อเยื่อส่วนลำต้นและใบ (ของเนื้อเยื่อไม้ถ่ายยีนที่เจริญเป็นต้นอ่อน) ไปแช่ในน้ำยาย้อมสีเนื้อเยื่อ X-Gluc (5-bromo-4-chloro-3-indole- $\beta$ -D-glucuronide) โดยใช้ชุดย้อมสีเนื้อเยื่อพืชสำเร็จรูป  $\beta$ -glucuronidase reporter gene staining kit (Sigma-Aldrich, U.S.A) โดยเนื้อเยื่อพืชที่ได้รับการถ่ายยีน GUS จะติดสีน้ำเงิน

#### 3.2 พีซีอาร์ (PCR)

ตรวจสอบยีน *gfp* ที่ปรากฏโดยแถบดีเอ็นเอขนาด 327 bp บนเจลลัน (agarose gel) โดยทำการสกัดดีเอ็นเอจากเนื้อเยื่อไม้ที่ที่ได้รับการถ่ายยีนด้วยวิธี CTAB ของ Doyle and Doyle (1987) แล้วนำไปเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยวิธีปฏิกิริยาพีซีอาร์ โดยใช้คู่ไพรเมอร์ตามที่ พลชาติ และคณะ (2562) รายงานไว้ ได้แก่ Forward (5'-ACT ACA AGA CAC GTG CTG AAG-3') Reverse (5'-GGG CAG ATT GTG TGG AC-3')

โดยมีองค์ประกอบในการทำพีซีอาร์ คือ 10 pg DNA template, 1X reaction buffer, 1.5 mM MgCl<sub>2</sub>, 200  $\mu$ M dNTPs, 0.2  $\mu$ M forward และ reverse primer, 1 unit *Taq* DNA polymerase (Promega) และอุณหภูมิในการทำพีซีอาร์ คือ ที่ 95 °ซ. นาน 5 นาที แล้วเข้าสู่รอบปฏิกิริยา denaturation ที่ 94 °ซ. นาน 0.5 นาที annealing ที่ 56 °ซ. นาน 0.5 นาที และ extension ที่ 72 °ซ. นาน 1 นาที จำนวน 30 รอบ และรอบสุดท้ายที่ 72 °ซ. นาน 5 นาที หลังจากนั้นก็จึงนำผลผลิตดีเอ็นเอที่เพิ่มปริมาณแล้วไปแยกขนาดโดยวิธี agarose gel electrophoresis เพื่อแสดงแถบดีเอ็นเอขนาด 327 bp ของยีน *gfp*

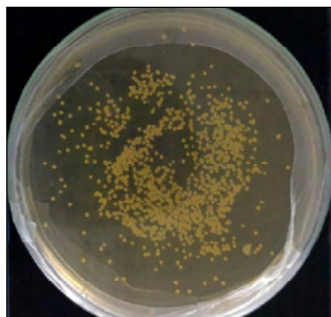
### 3.3 การเรืองแสงภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ (inverted fluorescent microscope)

ตรวจสอบการเรืองแสงของโปรตีน GFP ในเนื้อเยื่อไม้ถ่ายยีน โดยนำชิ้นส่วนเนื้อเยื่อส่วนใบและต้นของต้นอ่อนไม้ที่ทั้งที่ได้รับการถ่ายยีนและต้นปกติไปตรวจสอบการเรืองแสงสีเขียวภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ บันทึกภาพการเรืองแสงสีเขียวที่เกิดจากโปรตีน GFP

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 1. ประสิทธิภาพการถ่ายฝากพลาสมิดที่มียีน *gfp* เข้าสู่อะโกรแบคทีเรีย

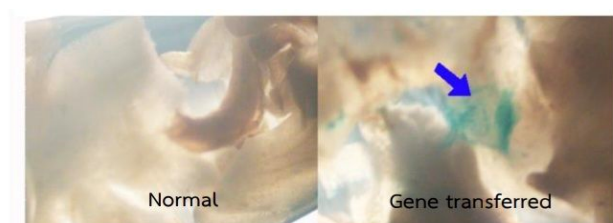
การถ่ายพลาสมิด pCAMBIA1304 ที่มียีน *gfp* เข้าสู่อะโกรแบคทีเรีย ด้วยวิธี electroporation ใช้พลาสมิดในปริมาณ 5 ไมโครกรัม ได้อะโกรแบคทีเรียที่รับฝากพลาสมิด รวม 1,400 โคโลนี (Figure 1) สำหรับขั้นตอนการถ่ายฝากพลาสมิด ได้ใช้ปริมาตรสุดท้ายจากการถ่ายฝากทั้งหมดไป spread บนอาหารเลี้ยงเชื้อโดยไม่มีการเจือจาง พบว่า มีประสิทธิภาพการถ่ายฝากยีน 280 เซลล์/ไมโครกรัม ซึ่งคำนวณตามวิธีของ EDVOTEK (2024)



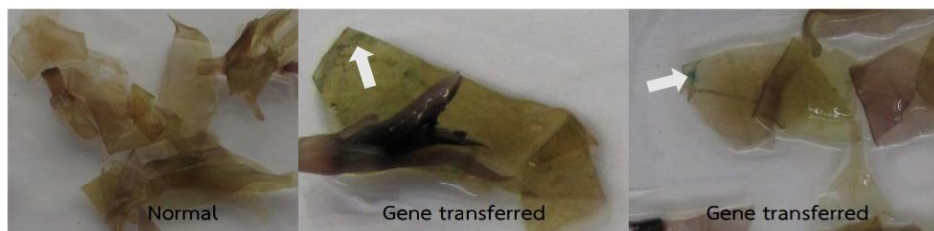
**Figure 1** Colonies of *Agrobacterium* with plasmid pCambia 1304 transformed by electroporation

## 2. ตรวจสอบการส่งถ่ายยีนโดย GUS histochemical analysis

การตรวจสอบผลโดยการแสดงออกของยีน GUS (*gusA*) ซึ่งเป็นยีนรายงานผลที่อยู่ในพลาสมิด pCambia1304 พบว่า ต้นอนุเบียสชุดที่ได้รับการถ่ายฝากยีนเกิดจุดสีน้ำเงินขึ้นที่เนื้อเยื่อส่วนลำต้นและใบ ขณะที่ต้นอนุเบียสปกติไม่เกิดจุดสีน้ำเงิน (Figure 2) ส่วนไม้หน้าดาวกระจายที่ได้รับการถ่ายฝากยีนสู่เนื้อเยื่อทั้ง 2 แบบ (แคลลัส และต้นอ่อน) พบว่า เกิดจุดสีน้ำเงินในเนื้อเยื่อทั้งส่วนใบและลำต้น ขณะที่ต้นปกติไม่มีจุดสีน้ำเงิน (Figure 2)



*Anubias nana*;  
with **callus** as the target tissue used for gene transfer



*Hygrophila difformis*;  
with **callus** as the target tissue used for gene transfer



*Hygrophila difformis*;  
with **shoots** as the target tissue used for gene transfer

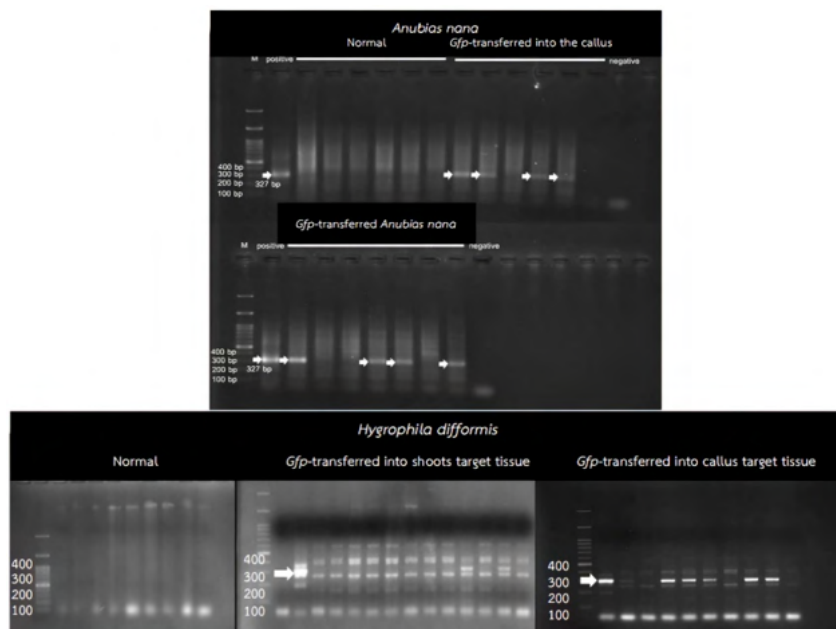
**Figure 2** GUS histochemical analysis reporting gene transferred into target tissues of two aquarium plants, the callus of *Anubias nana* and the callus and shoots of *Hygrophila difformis*. The blue markings or spots, pointed by the blue and white arrows, confirmed the reporting gene *gusA* (GUS) together with the others including the *gfp* gene having been transferred into the plant tissue

การตรวจสอบผลการส่งถ่ายยีน จากการแสดงออกของยีนรายงานผล *gusA* ที่ถ่ายฝากไปพร้อมกับยีน *gfp* เพื่อยืนยันผลสำเร็จของการส่งถ่ายยีนเป้าหมาย *gfp* เข้าสู่เซลล์เนื้อเยื่อเป้าหมาย สามารถตรวจสอบการแสดงออกได้โดยตรงบนเนื้อเยื่อพืช ยีนรายงานผล *gusA* เป็นยีนที่แปลรหัสเป็นเอนไซม์  $\beta$ -glucuronidase ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับสาร X-Gluc จะเปลี่ยนเป็นสารอนุพันธ์อินโดลิล (indolyl derivatives) ได้ตะกอนสีน้ำเงินบนเนื้อเยื่อพืช การตรวจสอบการแสดงผลการออกของยีน GUS จึงเป็นวิธีที่ง่าย และมีความเฉพาะเจาะจง (Chalfie et al., 1994) จากผลการตรวจสอบ พบว่า ไม้หน้ำอนุเบียสนานาและดาวกระจายที่ผ่านการถ่ายฝากยีนทั้งที่ใช้เนื้อเยื่อแคลลัสและต้นอ่อนเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมาย เกิดจุดสีน้ำเงินขึ้นที่เนื้อเยื่อทั้งส่วนลำต้นและใบ ขณะที่ไม้หน้ำปกติไม่เกิดจุดสีน้ำเงิน (Figure 2) เป็นการยืนยันว่า T-DNA ที่มียีน GUS พร้อมด้วยยีนเป้าหมาย *gfp* ซึ่งอยู่ในพลาสมิด pCambia1304

ได้รับการถ่ายฝากเข้าไปในดีเอ็นเอของไม้หน้ำที่ศึกษาทั้งในอนุเบียสนานาที่ใช้แคลลัสเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมาย และดาวกระจายที่ใช้ทั้งแคลลัสและต้นอ่อนเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมาย

### 3. ตรวจสอบยีนเป้าหมาย *gfp* ในดีเอ็นเอโดยวิธีพีซีอาร์

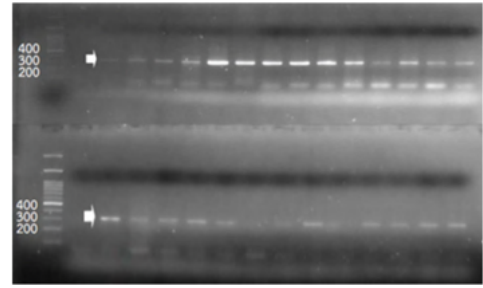
การตรวจสอบด้วยวิธีพีซีอาร์ โดยใช้ไพรเมอร์สังเคราะห์ผลผลิตชิ้นดีเอ็นเอในส่วนของยีน *gfp* ที่มีขนาด 327 bp พบว่า เกิดแถบดีเอ็นเอขนาด 327 bp ในไม้หน้ำที่ได้รับการถ่ายฝากยีน ทั้งอนุเบียสนานาที่ใช้แคลลัสเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมาย และดาวกระจายที่ใช้แคลลัสและต้นอ่อนเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมาย ขณะที่ต้นปกติทุกตัวอย่างไม่เกิดแถบดีเอ็นเอขนาดดังกล่าว (Figure 3) ผลการตรวจสอบไม้หน้ำที่ได้รับการถ่ายฝากยีนรุ่นแรก ( $T_0$ ) นี้ เป็นการยืนยันว่ายีน *gfp* ได้ถูกส่งถ่ายเข้าไปในดีเอ็นเอของไม้หน้ำทั้ง 2 ชนิด ทั้งการใช้เนื้อเยื่อแคลลัสหรือต้นอ่อนเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายสำเร็จแล้ว



**Figure 3** Analysis of *gfp* gene fragment in *Anubias nana*, with callus as the target tissue of *gfp*-transfer, and *Hygrophila difformis*, with shoots and callus as the target tissues of *gfp*-transfer. The bands being pointed by the white arrows are the 327 bp DNA bands of the gene *gfp* having been transferred into the plant target tissue

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้วิธีพีซีอาร์ตรวจสอบยีน *gfp* ในรุ่นลูก ( $T_1$ ) ซึ่งเป็นต้นไม้ น้ำ  $T_0$  อายุ 6 เดือน ไม่พบแถบดีเอ็นเอขนาด 327 bp ในอนุเบียงสนานาและดาวกระจายรุ่นลูกที่ใช้แคลลัสเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมาย แต่พบในดาวกระจายที่ใช้ต้นอ่อนเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมาย (Figure 4) การที่ไม่พบแถบดีเอ็นเอนี้ น่าจะเป็นผลจากการเกิดโคเมรา (chimera) ซึ่ง พลชาติ และคณะ (2562) อธิบายว่า การเกิดโคเมราเนื่องจากในระหว่างกระบวนการถ่ายยีนสู่เนื้อเยื่อเป้าหมายของพืชนั้น มีทั้งเซลล์เนื้อเยื่อที่ได้รับและไม่ได้รับการถ่ายฝากยีนอยู่ด้วยกัน เป็นเหตุให้เซลล์ที่ไม่ได้รับการถ่ายยีนมีโอกาสได้รับการปกป้องจากเซลล์ที่ได้รับการถ่ายยีนซึ่งมียืนต้านยาปฏิชีวนะไฮโกรมัยซินที่ใช้ในการคัดเลือกอยู่ด้วย จึงทำให้เซลล์ที่ไม่ได้รับการถ่ายยีนรอดตายจากการคัดเลือก เมื่อเจริญเป็นต้นพืชจึงไม่มียืนเป้าหมายอยู่ในจีโนม (Flachowsky et al., 2008; Wang et al., 2008) จากการใช้ทั้งแคลลัสและต้นอ่อนเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายของดาวกระจายทำให้เข้าใจว่า โคเมรา มีโอกาสเกิดกับเนื้อเยื่อแคลลัสมากกว่าต้นอ่อนที่ใช้ถ่ายยีน (สุจิตรา และคณะ, 2563) ปรากฏการณ์ที่สันนิษฐานว่าเกิดโคเมราในพืชถ่ายฝากยีน เช่น รายงานของ Dong and McHughen (1993) ที่ศึกษาในพืช flax (*Linum usitatissimum*) พบว่า พืชถ่ายฝากยีนรุ่นลูกไม่ได้รับยืนเป้าหมาย แม้ว่าในรุ่นพ่อแม่ตรวจพบการแสดงออกของยีน GUS และเกิดแถบดีเอ็นเอเป้าหมายเมื่อทำพีซีอาร์ส่วนในการถ่ายยีนสู่เนื้อเยื่อปลายยอดของไม้ น้ำกลุ่มใบพาย (*Cryptocoryne* spp.) โดยใช้อะโกรแบคทีเรียของนุซจรี (2552) ได้รายงานการตรวจสอบการยังคงมีอยู่ของยีนที่ส่งถ่าย โดยการนำแต่ละยอดที่ตรวจสอบด้วยพีซีอาร์แล้วว่ามียืนที่ส่งถ่ายไปชักนำให้เกิดยอดใหม่เพิ่มขึ้นอีก แล้วทำการตรวจสอบด้วยพีซีอาร์เป็นครั้งที่สอง พบว่า มีบางยอดที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ไม่ปรากฏแถบดีเอ็นเอของยีนที่ส่งถ่ายเข้าไป และสรุปว่าการส่งถ่ายยีนเข้าสู่เนื้อเยื่อไม้ น้ำ *C. affinis*

อาจไม่ได้เกิดขึ้นทุกเซลล์ เป็นผลให้ต้นไม้ น้ำที่ได้มีลักษณะเป็นโคเมรา



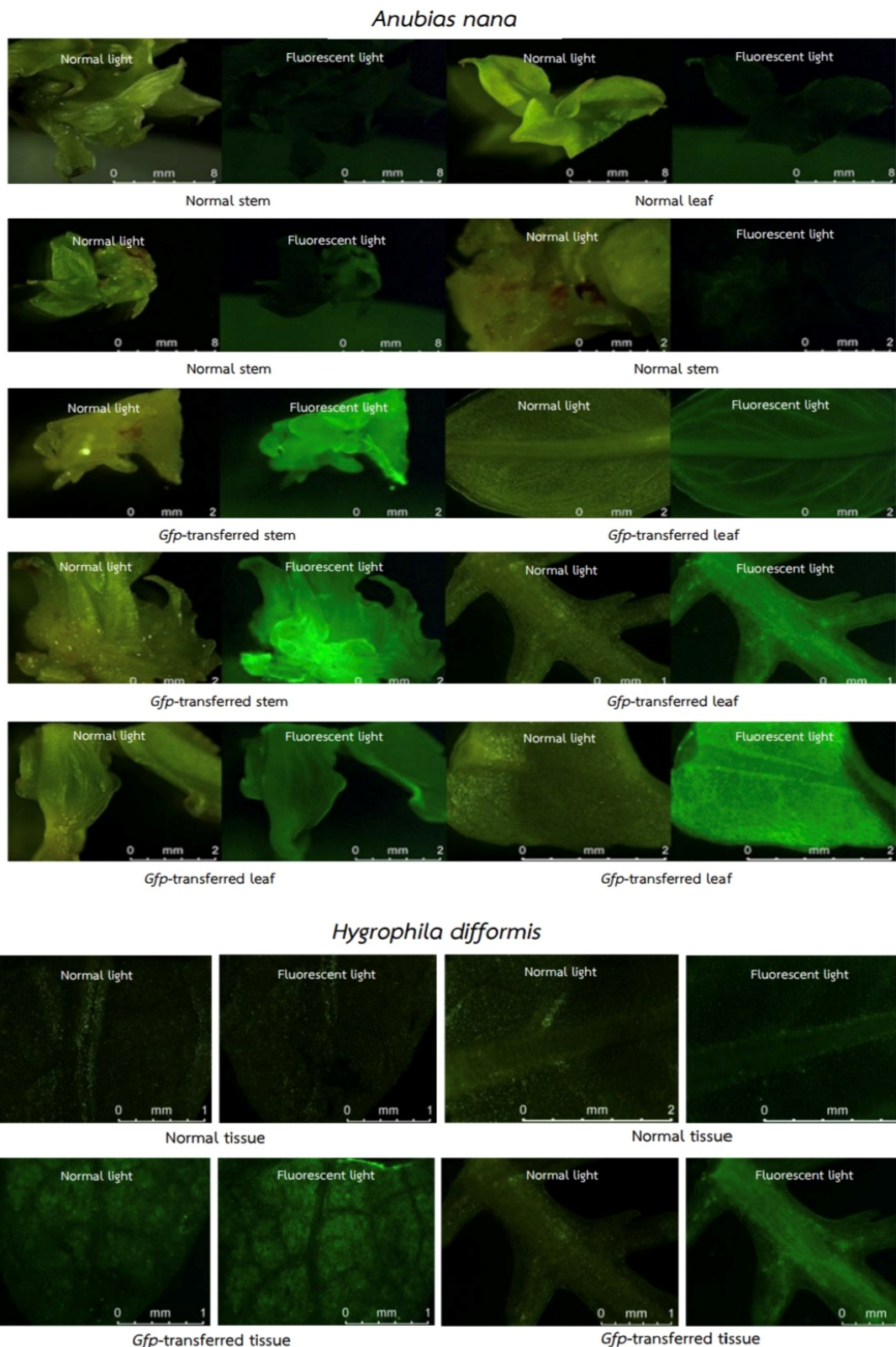
**Figure 4** Analysis of *gfp* gene fragment in the  $T_1$  of *Hygrophila difformis* which were the 6 months old plants produced by tissue culture from the original gene-transferred planlets ( $T_0$ ) that the shoot had been used as the target tissue. The analysis presented the target 327 bp bands of the transferred *gfp* (pointed by the white arrows)

#### 4. การเรืองแสงภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์

การตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ จากลักษณะการเรืองแสงสีเขียวของโปรตีนเรืองแสง GFP พบว่า ชูตที่ได้รับการถ่ายฝากยีน *gfp* ทั้งของอนุเบียงสนานา และดาวกระจายที่ถ่ายฝากยีนสู่เนื้อเยื่อทั้ง 2 รูปแบบ (แคลลัสและต้นอ่อน) มีการเรืองแสงสีเขียว ขณะที่ชูตต้นปกติไม่มีการเรืองแสง (Figure 5)

#### 5. ผลการศึกษาในภาพรวม

ผลที่ปรากฏจากการศึกษาทั้งหมด สามารถสรุปประเด็นรายละเอียดได้ตาม Table 1 จากการศึกษาที่ไม่พบแถบดีเอ็นเอของยีน *gfp* ในรุ่นลูก ( $T_1$ ) ของทั้งไม้ น้ำอนุเบียงสนานาและดาวกระจายที่ใช้แคลลัสเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายถ่ายยีน น่าจะเป็นผลจากการเกิด โคเมรา จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อป้องกันการเกิดโคเมรา หรือปรับเทคนิคดำเนินการเพื่อให้การถ่ายโอนยีนประสบผลสำเร็จดียิ่งขึ้น และ



**Figure 5** Normal and *gfp*-transferred tissues of two aquarium plants, *Anubias nana* and *Hygrophila difformis*, seen under normal and fluorescent lights sourced from inverted fluorescent microscope. The green fluorescence of the GFP protein is presented in the *gfp*-transferred tissues of the two plants

**Table 1** Conclusive results from the study

| Generation of the<br>gene-transferred<br>plantlets                                                                              | Examining of the<br>transferred genes<br>and the expression | Aquarium plant species and target tissues of gene transfer |                             |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------|
|                                                                                                                                 |                                                             | <i>Anubias nana</i>                                        | <i>Hygrophila difformis</i> |       |
|                                                                                                                                 |                                                             | Callus                                                     | Callus                      | Shoot |
| T <sub>0</sub> (the original<br>gene-transferred<br>shoots/plantlets)                                                           | GUS                                                         | yes <sup>1/</sup>                                          | yes                         | yes   |
|                                                                                                                                 | PCR                                                         | yes                                                        | yes                         | yes   |
|                                                                                                                                 | Fluorescent                                                 | yes                                                        | yes                         | yes   |
| T <sub>1</sub> (the 6 months old<br>plants produced<br>by tissue culture<br>from the original<br>gene-transferred<br>plantlets) | PCR                                                         | no <sup>2/</sup>                                           | no                          | yes   |

<sup>1/</sup> yes = positive result

<sup>2/</sup> no = negative result

และสำหรับไม้น้ำดาวกระจาย เนื้อเยื่อที่เหมาะสม  
สำหรับใช้เป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายถ่ายยีนน่าจะเป็น  
ต้นอ่อนมากกว่าแคลลัส เนื่องจากสามารถตรวจพบแถบ  
ดีเอ็นเอเป้าหมายขนาด 327 bp ของยีน *gfp* ในไม้น้ำ  
ดาวกระจายทั้งรุ่นแรก (T<sub>0</sub>) และรุ่นลูก (T<sub>1</sub>)

ผลการศึกษาโดยรวมสามารถพัฒนาและใช้  
เป็นแนวทางของการศึกษาในไม้น้ำชนิดอื่น ๆ ที่  
น่าสนใจต่อไป อีกทั้งยังแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้  
ที่จะนำไปสู่การพัฒนาลักษณะเรืองแสงให้เป็นลักษณะ  
แปลกใหม่ในไม้น้ำสวยงาม ที่ส่วนใหญ่ใช้ประดับ  
ตกแต่งในตู้ปลา ซึ่งโดยปกติต้องมีการติดตั้ง  
อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อให้แสงสว่าง ที่มีใช้จำเป็นต่อการ  
สังเคราะห์แสงของไม้น้ำเท่านั้น แต่ยังจำเป็นเพื่อช่วย  
ให้ไม้น้ำสวยงามโดดเด่นยิ่งขึ้นอีกด้วย โดยเฉพาะใน  
พื้นที่อับแสงหรือในเวลากลางคืน ก่อนหน้านี้นี้ได้มี  
รายงาน ว่า นักวิจัยสามารถถ่ายโอนดีเอ็นเอของเชื้อ  
เห็ดราบางชนิดที่มีสารเรืองแสงเข้าสู่ต้นใบยาสูบแล้ว  
ทำให้มันเรืองแสงได้ในที่มืด เปล่งแสงสีเขียวสดใส  
และยังคงอยู่ตลอดวงจรชีวิตจนโตเต็มวัย รวมถึงยัง  
สามารถทำให้ไม้ดอก เช่น พืชเนย กุหลาบ และ

แฟงพวย เรืองแสงได้เช่นเดียวกัน (Mitouchkina et  
al., 2020) จากงานวิจัยโดย ยีโก (2564) ได้แสดง  
ลักษณะการแสดงออกที่เสถียร (stable expression)  
ของยีนเรืองแสง *gfp* ในต้นพืชเนยที่ได้รับการถ่ายยีน  
(transgenic) ซึ่งปรากฏว่าในส่วนใบของต้นพืชเนยที่  
ได้รับการถ่ายยีนแล้วมีการเรืองแสงถาวร ดังนั้นหาก  
สามารถทำการปรับแต่งพันธุกรรมไม้น้ำสวยงามให้มี  
ลักษณะเรืองแสงที่เสถียร หรือเรืองแสงถาวรได้ในต้นไม้น้ำ  
ที่โตแล้ว จนพัฒนาเป็น ลักษณะทางการค้าที่ตลาด  
ต้องการได้ ก็จะเป็นการส่งเสริมธุรกิจและตลาดไม้น้ำ  
สวยงามให้ขยายวงกว้างขึ้น

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาลักษณะการแสดงออกของ  
ยีนเรืองแสง *gfp* ในไม้น้ำสวยงาม 2 ชนิด คือ  
อนุเบียสนานา และดาวกระจาย โดยผ่านการส่งถ่าย  
ยีนด้วยอะโกรแบคทีเรียสู่เนื้อเยื่อเป้าหมาย พบว่า  
สามารถส่งถ่ายยีนเรืองแสง *gfp* ได้สำเร็จในแคลลัส  
ของอนุเบียสนานา แคลลัสและต้นอ่อนดาวกระจาย  
ซึ่งยืนยันผลได้จากการพบว่ามีารแสดงออกของยีน

GUS ด้วยการติดสีน้ำเงินให้เห็นในเนื้อเยื่อไม้เนื้อ และจากการตรวจสอบด้วยวิธีพีซีอาร์พบแถบดีเอ็นเอ ขนาด 327 bp ของยีนเป้าหมาย *gfp* ที่ฝากถ่ายสู่จีโนมไม้เนื้อทั้งสองชนิด และที่สำคัญที่สุดคือ การเรืองแสงสีเขียวของโปรตีน GFP ซึ่งเป็นผลผลิตจากการแสดงออกของยีน *gfp* ที่ส่งถ่ายสู่เนื้อเยื่อเป้าหมายของไม้เนื้อทั้งสองชนิด ภายใต้ประสิทธิภาพการถ่ายฝากยีน ซึ่งคิดเป็นจำนวนเซลล์หรือโคโลนีของอะโกรแบคทีเรียที่รับฝากพลาสมิดไว้ได้ ที่จำนวน 280 เซลล์ ต่อ ปริมาณพลาสมิดที่ใช้ 1 ไมโครกรัม แต่ในไม้เนื้ออ่อนลูก (T<sub>1</sub>) อายุ 6 เดือนที่ผลิตโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากไม้เนื้ออ่อนแรกที่ได้รับการถ่ายฝากยีน (T<sub>0</sub>) พบว่า ไม่ปรากฏแถบดีเอ็นเอของยีน *gfp* ในรุ่นลูกของอนุเบียดสนานาและดาวกระจายที่ใช้แคลลัสเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายของการถ่ายยีนในรุ่นแรก ซึ่งน่าจะเนื่องมาจากการเกิดไคเมร่า อย่างไรก็ตามพบแถบดีเอ็นเอของยีน *gfp* ในรุ่นลูกของดาวกระจายที่ใช้ต้นอ่อนเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายของการถ่ายยีน ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อป้องกันการเกิดไคเมร่าในไม้เนื้อที่ใช้แคลลัสเป็นเนื้อเยื่อเป้าหมายถ่ายยีน และควรทดลองใช้เนื้อเยื่อต้นอ่อนเป็นเป้าหมายการถ่ายยีนในไม้เนื้ออนุเบียดสนานา เพื่อพัฒนาลักษณะเรืองแสงเป็นลักษณะแปลกใหม่ให้ประสบผลสำเร็จ

### คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ดำเนินการโดยใช้งบประมาณจากแผนบูรณาการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนา กรมประมง ภายใต้แผนงานวิจัย “การถ่ายฝากยีนในไม้เนื้อสวยงามเพื่อพัฒนาลักษณะพันธุ์ที่แปลกใหม่” ขอขอบคุณข้าราชการและเจ้าหน้าที่ของกลุ่มวิชาการและกลุ่มวิจัยและพัฒนาธนาคารเชื้อพันธุ์ กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ กรมประมง เป็นกำลังสำคัญในการดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยเฉพาะ ดร.ศรัทธัน สอดสุข อดีตผู้อำนวยการกองวิจัยและ

พัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำเป็นอย่างยิ่ง คุณประโยชน์ที่เกิดจากการตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัยนี้ ขออุทิศให้นายพลชาติ ผิวเณร อดีตหัวหน้ากลุ่มวิจัยและพัฒนาธนาคารเชื้อพันธุ์ กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ

### เอกสารอ้างอิง

- นุชจรี ทัดเศษ. 2552. การถ่ายยีนโปรตีนเรืองแสงสีเขียวเข้าสู่พรรณไม้สกุล *Cryptocoryne* โดยใช้ *Agrobacterium tumefaciens*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 134 หน้า.
- พลชาติ ผิวเณร พนม กระจำพจน์ สอดสุข สุจิตรา เพชรคง สุริย์พร เย็นสุวรรณ และจริญญา สุวรรณนาคะ. 2562. การถ่ายฝากยีนเรืองแสง *gfp* ในไม้เนื้ออนุเบียดสนานาโดยใช้อะโกรแบคทีเรีย. หน้า 117-128. ใน: รายงานการประชุมวิชาการประมง ประจำปี 2562. เอกสารฉบับที่ 5/2562. กลุ่มบริหารงานวิจัย กองแผนงาน กรมประมง. 590 หน้า.
- ยี่ไถ่ ทัพพะทัต. 2564. การสร้างเทคโนโลยีฐานในการปรับปรุงพันธุ์ไม้ดอกไม้ประดับ. แหล่งข้อมูล: <https://www.nstda.or.th/nac/2021/2021/03/05/agro05-gene-editing/index.html>. สืบค้น: 1 สิงหาคม 2567.
- วิทยา หวังเจริญพร กำชัย ลาวัณยวุฒิ กาญจนรี พงษ์ฉวี และชัชวาลย์ จตุพร. 2540. การจัดตั้งและเพาะเลี้ยงพรรณไม้เนื้อ. สถาบันพัฒนาปลาสวยงามและพรรณไม้น้ำ กรมประมง. 44 หน้า.
- ศิริวรรณ บุรีคำ. 2550. การเตรียมเนื้อเยื่อพืชสำหรับการถ่ายยีน. ใน: เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การถ่ายยีนเข้าสู่พืช. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุจิตรา เพชรคง นพพร สิทธิเกษมกิจ สุรางค์ สมโนจิตรภรณ์ และชมพูนุช มรรคทรัพย์. 2551. การชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ในไม้เนื้ออนุเบียดสนานาโดยการฉายรังสีแกมมา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2551. สถาบันวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ กรมประมง. 19 หน้า.
- สุจิตรา เพชรคง พลชาติ ผิวเณร พนม กระจำพจน์ สอดสุข สุริย์พร เย็นสุวรรณ และจริญญา สุวรรณนาคะ. 2563.

- การถ่ายฝากยีนเรืองแสง *gfp* ในไม้น้ำดาวกระจายโดยใช้อะโกรแบคทีเรีย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2563. กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ กรมประมง. 22 หน้า.
- สุรางค์ สุมโนจิตรภรณ์ และสุจิตรา เพชรคง. 2551. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและการปรับปรุงพันธุ์พรรณไม้น้ำ. เอกสารการฝึกอบรมหลักสูตร การเพาะพันธุ์และปรับปรุงพรรณไม้น้ำสวยงาม. สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการประมง กรมประมง. 38 หน้า.
- สุริย์พร เอ็นสุวรรณ พนม กระจำพจน์ สอดสุข พลชาติ ผิวเนตร สุจิตรา เพชรคง และจริญญา สุวรรณนาคะ. 2563. พัฒนาวิธีการเลี้ยงโฮมาติกแคลล์สของไม้น้ำสวยงามเพื่อการถ่ายฝากยีน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 2/2563. กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ กรมประมง. 19 หน้า.
- อรุณี รอดลอย. 2563. การบริหารจัดการ การผลิต และการตลาดพรรณไม้น้ำสวยงามในประเทศไทยเพื่อการส่งออก และการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน. แหล่งข้อมูล: [https://www4.fisheries.go.th/local/file\\_document/20200611094900\\_1\\_file.pdf](https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200611094900_1_file.pdf). สืบค้น: 1 สิงหาคม 2567.
- Chalfie, M., Y. Tu, G. Euskirchen, W.W. Ward and D.C. Prasher. 1994. Green fluorescent protein as a marker for gene expression. *Science*. 263(5148): 802-805.
- Dong, J.Z. and A. McHughen. 1993. Transgenic flax plants from *Agrobacterium* mediated transformation: Incidence of chimeric regenerants and inheritance of transgenic plants. *Plant Science*. 91(2): 139-148.
- Doyle, J.J. and J.L. Doyle. 1987. A rapid DNA isolation procedure from small quantities of fresh leaf tissues. *Phytochemical Bulletin*. 19: 11-15.
- EDVOTEK. 2024. How to calculate transformation efficiency. The Biotechnology Education Company. Available at: <https://www.edvotek.com/how-to-calculate-transformation-efficiency>. Accessed: October 9, 2024.
- Flachowsky, H., M. Riedel, S. Reim and M.V. Hanke. 2008. Evaluation of the uniformity and stability of T-DNA integration and gene expression in transgenic apple plants. *Electronic Journal of Biotechnology*. 11(1): 26-40.
- Li, D.D., W. Shi and X.X. Deng. 2003. Factors influence *Agrobacterium*-mediated embryogenic callus transformation of Valencia sweet orange (*Citrus sinensis*) containing the pTA 29-barnase gene. *Tree Physiology*. 23(17): 1209-1215.
- Mitiouchkina, T., A.S. Mishin, L.G. Somermeyer, N.M. Markina, T. V. Chepurnyh, E.B. Guglya, and K.S. Sarkatsyan. 2020. Plants with genetically encoded autoluminescence. *Nature Biotechnology*. 38(8): 944-946.
- Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia. Plantarum*. 15(3): 473-479.
- Perez-Pineiro, P., J. Gago, M. Landin and P.P. Gallego. 2012. *Agrobacterium*-mediated transformation of wheat: General overview and new approaches to model and identify the key factors involved. pp. 3-26. In: *Transgenic Plants-Advances and Limitations*. Y.O. Ciftci (ed.). InTech Open Access Publisher.
- Wang, W., C. Wang, B.L. Huang and B. Huang. 2008. *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of *Lesquerella fendleri* L., a potential new oil crop with rich lesquerolic acid. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 92: 165-171.

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสารพิษตกค้างในพืชผัก  
จากพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน  
Health Risk Assessment of Pesticide Residues in Vegetables  
Collected from Upper Northeast Thailand

จารุพงศ์ ประสพสุข<sup>1/\*</sup> วัชรพร ศรีสว่างวงศ์<sup>1/</sup> ปกัสนร์ สีลารักษ์<sup>1/</sup> ณัฐชัยธร ชัตติยะพุดิเมธ<sup>1/</sup>  
Jarupong Prasopsuk<sup>1/\*</sup> Watcharaporn Srisawangwong<sup>1/</sup> Papatsorn Seelarak<sup>1/</sup>  
Natchayathon Khattiyaphutthimet<sup>1/</sup>

*Received 27 Dec. 2023/Revised 22 Sep. 2024/Accepted 30 Sep. 2024*

### ABSTRACT

This study aimed to monitor and assess the health risk from pesticide residue in vegetables planted in upper Northeast Thailand. Three types of vegetables, Chinese kale, tomato, and chili, were collected from 19 villages in Khon Kaen province, Nong Bua Lam Phu, Chaiyaphum, Bueng Kan, Nong Khai, Nakhon Phanom, Mukdahan, and Sakon Nakhon province for pesticide residue analysis. All vegetables were sampled at the harvesting period from November 2021 to October 2022. A total of 80 vegetable samples were extracted using the quick easy cheap effective rugged and safe (QuEChERS) multi-residue extraction and analyzed for the presence of 228 pesticides using liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) at the laboratory of the Office of Agricultural Research and Development Region 3. Assessing the risk of pesticide residues in vegetables was done by 2 methods: 1) assessing based on the type and amount of pesticide residues detected in vegetables compared to the maximum residue limit (MRL) and 2) assessing based on hazard index (HI) obtained by calculating of the estimated dietary intake (EDI) compared to the acceptable daily intake (ADI). The results showed that pesticide residues were found in 43 samples (53.75%) from 80 samples collected. Pesticide residues exceeded MRL in 12 samples (15.0%). There were 19, 12, and 5 types of pesticide residues found from samples of Chinese kale, chili, and tomato, respectively, and their amounts were detected at the range of 0.01-0.91, 0.01-1.81, and 0.01-0.05 mg/kg, respectively. The assessment of consumption risk in terms of HI showed that the HI of Chinese kale, chili, and tomato were 51.19, 6.66, and 21.30%, respectively. The results indicated that these vegetables could be considered as acceptable for food safety.

**Keywords:** risk; pesticide residues; Chinese kale; chili; tomato

<sup>1/</sup> สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

<sup>1/</sup> Office of Agricultural Research and Development Region 3, Department of Agriculture, Khon Kaen 40000, Thailand

\* Corresponding author: ja.prasopsuk@gmail.com

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามและประเมินความเสี่ยงจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน โดยเก็บตัวอย่างพืชผัก 3 ชนิด คือ คื่นช่าย มะเขือเทศ และพริก จากแปลงปลูกพืชใน 19 หมู่บ้าน ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น หนองบัวลำภู ชัยภูมิ บึงกาฬ หนองคาย นครพนม มุกดาหาร และสกลนคร เพื่อวิเคราะห์สารพิษตกค้าง เก็บตัวอย่างในช่วงการเก็บเกี่ยวระหว่างเดือน พ.ย. 2564 – ต.ค. 2565 สกัดตัวอย่างด้วยวิธี QuEChERS วิเคราะห์หาสารพิษตกค้างจำนวน 228 ชนิดสาร ด้วยเครื่อง LC-MS/MS ณ ห้องปฏิบัติการ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 ประเมินความเสี่ยงจากสารพิษตกค้างในผักต่อความปลอดภัยทางอาหาร 2 วิธี คือ 1) ประเมินจากชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างที่ตรวจพบในพืชผักเทียบกับปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (MRL) และ 2) ประเมินจากดัชนีความเสี่ยงต่อ (HI) จากการคำนวณค่าการได้รับสารเข้าสู่ร่างกายด้วยการบริโภคต่อวัน เทียบกับปริมาณที่ยอมรับบริโภคได้ต่อวัน ผลการศึกษาจากตัวอย่างทั้งหมด 80 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง 43 ตัวอย่าง มีปริมาณสารพิษตกค้างเกินค่า MRL 12 ตัวอย่าง ตรวจพบสารพิษตกค้างจำนวน 19 12 และ 5 ชนิดสารในตัวอย่างคื่นช่าย พริก และมะเขือเทศ ตามลำดับ และปริมาณที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 0.01-0.91 0.01-1.81 และ 0.01-0.05 มก./กก. ตามลำดับ เมื่อนำผลวิเคราะห์สารพิษตกค้างมาประเมินความเสี่ยงต่อการบริโภค โดยใช้ค่า HI พบว่า คื่นช่าย พริก และมะเขือเทศ HI มีค่า 51.19 6.66 และ 21.30% ตามลำดับ ผ่านเกณฑ์การยอมรับ

**คำสำคัญ:** ความเสี่ยง; สารพิษตกค้าง; คื่นช่าย; พริก; มะเขือเทศ

## บทนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนเป็นพื้นที่ปลูกผักและไม้ผลที่สำคัญของประเทศไทย มีปริมาณผลผลิตผักและผลไม้ส่งออกสู่ตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ เกษตรกรมักพบปัญหาการระบาดของศัตรูพืช ทำให้มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างต่อเนื่องและมักตรวจพบสารพิษตกค้างทั้งในผลผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชผักที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นและมีการปลูกหลายรอบต่อปี จากรายงานการวิเคราะห์สารพิษตกค้างในตัวอย่างพืชผักและผลไม้ที่ขอรับการรับรองการจัดการพืชตามหลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับพืชอาหาร (GAP) รายใหม่ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ปี พ.ศ 2561-2565 พบสารพิษตกค้าง 453 ตัวอย่าง จากจำนวนทั้งหมด 1,062 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 42.7% โดยพบเกินค่ามาตรฐาน (maximum residue limit: MRL) จำนวน 94 ตัวอย่าง หรือ 8.9% ชนิดพืชที่ตรวจพบสารพิษตกค้างเกินค่า MRL ได้แก่ พุทรา พริก คื่นช่าย แก้วมังกร เมล่อน มะเขือเทศ และ ถั่วฝักยาว (จารุพงศ์, 2565) การที่ตรวจพบสารพิษตกค้างในพืชผักและผลไม้ในพื้นที่ จำเป็นต้องเฝ้าระวังและตรวจติดตามอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ข้อมูลความเสี่ยงจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในระดับพื้นที่สำหรับแนะนำเกษตรกรนำไปใช้ปรับเปลี่ยนวิธีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชให้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคตามข้อกำหนด GAP (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2556)

การตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้างในอาหารและการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชนั้นเป็นสิ่งจำเป็นในการคุ้มครองสุขภาพของผู้บริโภค รวมทั้งการปรับปรุงวิธีการจัดการทางเกษตรและป้องกันความเสียหายทางเศรษฐกิจ (Wotejko et al. 2014) ในการประเมินความปลอดภัยต่อผู้บริโภคเบื้องต้นใช้เกณฑ์ความปลอดภัยของพืชอาหารโดยเทียบกับค่า MRL และค่าการ

บริโภคต่อวันที่ยอมรับได้ (acceptable daily intake: ADI) โดยอ้างอิงข้อมูลจากคณะกรรมการอาหาร โครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO (2023) และฐานข้อมูลนานาชาติสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช PPDB: Pesticide Properties DataBase (Agriculture and Environment Research Unit, 2023)

การประเมินความเสี่ยงจากสารพิษตกค้างในผักและผลไม้ที่ใช้อย่างแพร่หลาย คือ ดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพ (hazard index: HI) ซึ่งคำนวณจากผลรวมของค่าความเป็นอันตราย (hazard quotient: HQ) ผ่านการคำนวณอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณที่บริโภคต่อวันโดยประมาณ (estimated daily intake: EDI) และ ปริมาณที่ยอมรับบริโภคได้ต่อวัน (Akoto et al., 2016; Łozowicka et al., 2013) การใช้ค่า HI ในการประเมินความเสี่ยงมีตัวอย่างงานวิจัย เช่น Alla et al. (2015) ได้ศึกษาดัชนีความเสี่ยงต่อสุขภาพของสารพิษตกค้างในประเทศอียิปต์จากตัวอย่างแตงกวา กรีนพาสเลย์ ผักกาดหอม พริก มะเขือเทศ และ วอเตอร์เครส ผลการประเมินความเสี่ยงแบบเรื้อรังอยู่ในช่วง 0.01-15.04% ของ ADI หรือ Liu et al. (2023) ได้ใช้ HI ประเมินความเสี่ยงสารพิษตกค้างจากการบริโภคผลไม้สี่ชนิด คือ พีชเหลือง (yellow peach) แพร์ (pear) โลควอท (loquat) และแทนเจโล (tangelo) ในประเทศจีนพบว่า มีค่าน้อยกว่า 100 ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ และ Hawari et al. (2019) ได้วิเคราะห์สารพิษตกค้างในแอปเปิลของประเทศเลบานอนพบสารพิษตกค้าง 77% ของตัวอย่าง ในจำนวนนี้ 61% พบปริมาณสารพิษตกค้างเกินค่า MRL สารกำจัดศัตรูพืชที่ตรวจพบบ่อยที่สุด คือ chlorpyrifos methidathion cypermethrin lambda-cyhalothrin myclobutanil และ diazinon เมื่อประเมินความเสี่ยงการได้รับสารพิษจากการบริโภคแบบเรื้อรัง พบว่า อยู่ในช่วง

0.1-8.0% ของ ADI จึงสรุปว่าการบริโภคแอปเปิลไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ

ดังนั้น การวิเคราะห์สารพิษตกค้าง และการประเมินความเสี่ยงในพืชผักกลุ่มที่มีความเสี่ยง คือ กระบี่ พริก และมะเขือเทศ ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ถือเป็นการเฝ้าระวังและตรวจติดตามชุมชนเกษตรเชิงพาณิชย์ที่เป็นแหล่งปลูกพืชผักกลุ่มใหญ่ในพื้นที่ แม้มีเกษตรกรหลายกลุ่มพยายามปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตพืชเพื่อเข้าสู่มาตรฐาน GAP แต่ยังคงขาดการรับรู้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช การคงอยู่ของสารพิษตกค้างในพืชผล และระดับความเสี่ยงต่อผู้บริโภค จึงดำเนินการสำรวจและติดตามการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในชุมชนเกษตรเชิงพาณิชย์ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ด้วยความร่วมมือจากหน่วยงานผู้นำชุมชน และผู้นำกลุ่มเกษตรกรในการให้ข้อมูลและวางแผนเก็บตัวอย่าง ประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคแบบเรื้อรังต่อวัยผู้ใหญ่ โดยวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างในพืชผักที่มีการตรวจพบสารพิษตกค้างในพื้นที่บ่อยครั้ง ได้แก่ กระบี่ พริก และมะเขือเทศ ในแหล่งปลูกสำคัญแต่ละชนิดพืชแล้วนำข้อมูลชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างมาประเมินความเสี่ยงจากการบริโภค ตามเกณฑ์ความปลอดภัยของพืชอาหารโดยเทียบกับค่า MRL ค่า ADI และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพด้วยค่า HI เพื่อเป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังความปลอดภัยของพืชผักในพื้นที่และการสื่อสารข้อมูลด้านความเสี่ยงแก่เกษตรกรเพื่อลดความเสี่ยงจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การสุ่มเก็บตัวอย่าง

สุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) จากแหล่งปลูกผักเชิงพาณิชย์จำนวน 19 หมู่บ้านในพื้นที่ 8 จังหวัด ได้แก่ ขอนแก่น หนองบัวลำภู ชัยภูมิ

บึงกาฬ หนองคาย นครพนม มุกดาหาร และสกลนคร รวม 80 ตัวอย่าง แบ่งเป็นตัวอย่างคะน้า พริก และ มะเขือเทศ จำนวน 24 30 และ 26 ตัวอย่าง ตามลำดับ เก็บตัวอย่างในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว ผลผลิต นำตัวอย่างใส่ในถุงพลาสติกติดฉลาก รายละเอียด ตัวอย่างนำส่งห้องปฏิบัติการภายใน 24 ชั่วโมง สุ่มตัวอย่างตามวิธีชักตัวอย่างเพื่อตรวจ วิเคราะห์สารพิษตกค้าง (สำนักงานมาตรฐานสินค้า เกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2551)

### การวิเคราะห์สารพิษตกค้าง

ใช้วิธีการสกัดแบบ QuEChERS (BSI, 2008) ตรวจวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารพิษตกค้าง จำนวน 228 ชนิดสาร ครอบคลุมสารกำจัดวัชพืช สาร กำจัดแมลง และสารป้องกันกำจัดโรคพืช ด้วยเครื่อง liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) โดยใช้ acetonitrile สกัดแบบขั้นตอนเดียวและทำการแยกน้ำในตัวอย่าง ด้วย  $MgSO_4$  ทำให้สะอาดขึ้นด้วย dispersive-solid-phase extraction (dispersive-SPE) เพื่อกำจัดกรด อินทรีย์ น้ำส่วนเกินและส่วนประกอบอื่น ๆ ด้วย primary secondary amine (PSA) และ  $MgSO_4$  กำจัดสารรบกวนชนิดที่ไม่มีขั้วด้วยสาร C18 (เป็นสาร ดูดซับแบบไม่มีขั้วชนิดหนึ่ง) ทำให้เป็นกรดโดยการเติมกรดฟอร์มิกในขั้นสุดท้ายก่อนนำไปวิเคราะห์ ด้วย LC-MS/MS สำหรับตัวอย่างรอวิเคราะห์เก็บใน สภาวะเย็นที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}C$  และทำการวิเคราะห์ ภายใน 24 ชั่วโมง

### การประเมินความเสี่ยงสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้าง

ประเมินระดับความเสี่ยงต่อผู้บริโภค โดยใช้ ผลวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างที่พบใน คะน้า พริก และมะเขือเทศ แทนในสมการเพื่อหาค่า HI ซึ่งได้จากผลรวมของ HQ (Alla et al., 2015; Łozowicka et al., 2013) คำนวณจาก EDI เทียบกับ ค่า ADI ตามสมการที่ 1 และ 2

$$EDI = \sum (Fi * RLi / BW) \quad (1)$$

เมื่อ  $Fi$ : อัตราการบริโภคอาหาร (กก./วัน) คะน้า 0.056 กก./วัน พริก 0.012 กก./วัน มะเขือเทศ 0.088 กก./วัน อ้างอิงค่าเฉลี่ยปริมาณ การบริโภคผักคะน้า พริกและมะเขือเทศ ค่า เปอร์เซนต์ไทล์ที่ 97.5 ของปริมาณอาหารที่ บริโภค เฉพาะผู้ที่บริโภค (eater only) ในช่วงอายุ 18-64.9 ปี : กรัม/คน/วัน (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร แห่งชาติ, 2559ก)

$RLi$ : ปริมาณสารพิษตกค้างในผัก (มก./กก.)

$BW$ : ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว (กก.) คนไทย อายุ 16 ปี ขึ้นไป น้ำหนักเฉลี่ย 63.15 กก. (ผู้หญิง 57.4 กก., ผู้ชาย 68.9 กก.) (สำนักงานพัฒนา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2555) คำนวณหาค่า HQ ตามสมการที่ 2

$$HQ = (EDI/ADI) * 100 \quad (2)$$

เมื่อ EDI: estimate daily intake หน่วย มก./กก. น้ำหนักตัว/วัน

ADI: acceptable daily intake หน่วย มก./กก. น้ำหนักตัว/วัน ได้จากข้อมูลสารเคมีกำจัด ศัตรูพืชตกค้างในอาหาร Codex online databases (FAO/WHO, 2023) และ Pesticide Properties DataBase: PPDB, An international database for pesticide risk assessments (Agriculture and Environment Research Unit, 2023)

ประเมินความเสี่ยงจากค่า HI ตามสมการที่ 3

$$HI = \sum HQ_i \quad (3)$$

เมื่อ  $HQ_i$ : hazard quotient ของสารพิษแต่ละชนิด  $i$   
HI: hazard index มีหน่วย %

มีเกณฑ์การพิจารณา คือ

HI > 100 หมายถึง สารพิษตกค้างอยู่ใน  
ระดับเสี่ยงต่อผู้บริโภค

HI ≤ 100 หมายถึง สารพิษตกค้างอยู่ใน  
ระดับยอมรับได้

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### สารพิษตกค้างในตัวอย่างพืชผัก

ตัวอย่างคะน้า พริก และมะเขือเทศ จำนวน 80 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง 43 ตัวอย่าง คิดเป็น 53.8 % ของจำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์ มีตัวอย่างที่ตรวจพบปริมาณสารพิษเกินค่า MRL 12 ตัวอย่าง คิดเป็น 15.0 % ของจำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์ ตัวอย่างพืชที่มีปริมาณสารพิษตกค้างเกินค่า MRL จัดอยู่ในเกณฑ์ไม่ปลอดภัย และไม่ผ่านข้อกำหนดพืชที่ขอรับรองมาตรฐาน GAP (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2559) ซึ่งการตรวจติดตามสารพิษตกค้าง ระหว่างปี พ.ศ. 2561-2565 พบว่าจำนวนตัวอย่างที่มีปริมาณสารพิษตกค้างเกินค่า MRL มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (จารุงศ์, 2565) ทั้งนี้ปัจจัยจากสภาพอากาศและการแพร่ระบาดของศัตรูพืช เมื่อความถี่ในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพิ่มขึ้น ทำให้มีโอกาสพบสารพิษตกค้างในผลผลิตเกินค่ามาตรฐานได้ เพื่อลดปัญหานี้เกษตรกรจำเป็นต้องปฏิบัติตามคำแนะนำข้อมูล PHI (pre-harvest interval) หรือระยะปลอดภัยก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังการพ่นสารครั้งสุดท้ายซึ่งระบุในฉลากผลิตภัณฑ์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เกษตรกรนำมาใช้

เมื่อจำแนกผลวิเคราะห์ตามชนิดตัวอย่างพบว่า คะน้า จำนวน 24 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง 12 ตัวอย่าง โดยชนิดสารพิษที่ตรวจพบในคะน้ามี 19 ชนิดสาร ปริมาณสารพิษตกค้างที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 0.01-0.91 มก./กก. จำแนกตามประเภทการใช้งาน ประเภทที่พบมากที่สุดเป็นสารกำจัดแมลง 13

ชนิด ได้แก่ acetamiprid chlorantraniliprole chlorfenapyr cypermethrin dinotefuran fipronil indoxacarb lambda-cyhalothrin methoxyfenozide profenofos thiamethoxam tolfenpyrad และ triazophos สารกำจัดโรคพืช 5 ชนิด ได้แก่ difenoconazole dimethomorph metalaxyl propiconazole และ pyraclostrobin สารกำจัดวัชพืช 1 ชนิด คือ ametryn พบสารในกลุ่มมีความเป็นพิษสูง Ib (highly hazardous) 1 ชนิด คือ triazophos มีชนิดสารที่พบปริมาณสารพิษเกินค่า MRL จำนวน 11 ชนิดสาร (Table 1) เนื่องจากชนิดสารในกลุ่ม Ib มีระดับความเป็นพิษสูง เมื่อพบการตกค้างในพืชผักจึงมีอาจมีเสี่ยงต่อสุขภาพผู้บริโภคได้

การตรวจพบสารพิษตกค้างในคะน้าหลายชนิด และมีบางชนิดสารที่ปริมาณเกินค่า MRL เนื่องจากเกษตรกรผู้ปลูกคะน้าใช้สารเคมีจัดการกำจัดศัตรูพืชเป็นหลัก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารกำจัดแมลง เช่น กรณศึกษาการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรปลูกผักคะน้า อ.เมือง จ.ขอนแก่น เกษตรกรใช้สารกำจัดวัชพืช 3 ชนิด ได้แก่ alachlor haloxyfop-p-methyl และ oxadiazon ใช้สารป้องกันกำจัดโรคพืช 1 ชนิด คือ mancozeb ส่วนสารกำจัดแมลงใช้ 11 ชนิด ได้แก่ abamectin acetamiprid carbaryl chlorfenapyr chlorantraniliprole cypermethrin dichlorvos imidacloprid profenofos spinetoram และ tolfenpyrad (จารุงศ์ และคณะ, 2562) การปลูกคะน้ามักพบการระบาดของด้วงหมัดผัก และหนอนกระทู้ โดยระบาดหนักในฤดูฝน ทำให้เกษตรกรต้องใช้สารเคมีเพิ่มขึ้นและตรวจพบสารพิษตกค้างมากกว่าฤดูกาลอื่น สำหรับปัจจัยที่ทำให้เกิดการตกค้างของสารพิษในผักคะน้าจะขึ้นอยู่กับชนิดสารเคมีที่เกษตรกรเลือกใช้ อุปกรณ์การฉีดพ่น อัตราการฉีดพ่น และความถี่การฉีดพ่นสารเคมีด้วย (จารุงศ์, 2562)

ผลวิเคราะห์สารพิษตกค้างในพริก 30 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง 24 ตัวอย่าง โดยชนิดสารพิษที่ตรวจพบในพริก มี 12 ชนิดสาร ปริมาณสารพิษตกค้างที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 0.01-1.81 มก./กก. เป็นสารกำจัดแมลง 8 ชนิด ได้แก่ acetamiprid chlorantraniliprole clothianidin dinotefuran imidacloprid methomyl pyridaben และ triazophos สารกำจัดโรคพืช 4 ชนิด ได้แก่ azoxystrobin carbendazim metalaxyl และ pyraclostrobin พบสารในกลุ่มมีความเป็นพิษสูง lb 2 ชนิดคือ methomyl และ triazophos ชนิดสารที่ตรวจพบปริมาณสารพิษเกินค่า MRL จำนวน 2 ชนิดสาร (Table 1) จากการสัมภาษณ์เกษตรกรกลุ่มปลูกพริกในพื้นที่ จ.ขอนแก่น หนองคาย สกลนครและชัยภูมิ พบว่า ปลูกเพื่อจำหน่ายให้กับตลาดในท้องถิ่นเป็นส่วนใหญ่ ไม่มีเงื่อนไขในการตรวจสอบสารพิษตกค้างพริกที่ปลูกในพื้นที่จำหน่ายได้ทั้งหมด และบางช่วงฤดูกาลพริกไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดเกษตรกรยังต้องใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มั่นใจว่าจะได้เก็บเกี่ยวผลผลิตและสร้างรายได้ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 แนะนำให้เกษตรกรใช้ชีวภัณฑ์บาซิลลัส ซับทิลิส เพื่อควบคุมโรคแอนแทรคโนสในพริก ทดแทนการใช้สารเคมี ซึ่งเป็นอีกแนวทางที่ช่วยลดสารพิษตกค้างในพริก

ผลวิเคราะห์สารพิษตกค้างในมะเขือเทศจำนวน 26 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง 7 ตัวอย่าง และไม่มีปริมาณสารพิษเกินค่า MRL ชนิดสารพิษที่ตรวจพบในมะเขือเทศมี 5 ชนิด ปริมาณอยู่ในช่วง 0.01- 0.05 มก./กก จำแนกเป็นสารกำจัดแมลง 4 ชนิด ได้แก่ diazinon chlorantraniliprole profenofos และ imidacloprid สารกำจัดวัชพืช 1 ชนิด คือ alachlor ไม่พบสารในกลุ่มมีความเป็นพิษสูง lb (Table 1) จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศใน จ.หนองคาย บึงกาฬ และสกลนคร

พบว่า ส่วนใหญ่เป็นมะเขือเทศที่ส่งเข้าโรงงานผลิตซอสมะเขือเทศ ซึ่งมีเงื่อนไขการรับซื้อและการเผาระวังสารพิษตกค้าง ส่วนพื้นที่ปลูก จ.มุกดาหาร มีตลาดรับซื้อในท้องถิ่น ช่วงฤดูกาลปลูกระหว่างเดือนพ.ย.-เม.ย. ซึ่งการระบาดของแมลงศัตรูพืชน้อยเกษตรกรจึงใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเท่าที่จำเป็น โดยกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศ มีข้อกำหนดการใช้สารเคมีภายในกลุ่ม นอกจากนี้ยังได้รับการสนับสนุนให้ใช้วิธีจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสานจากภาครัฐ

### การประเมินความเสี่ยงจากการบริโภค

ตัวอย่างที่พบสารพิษตกค้างเมื่อนำมาประเมินความเสี่ยงต่อการบริโภคในภาพรวมของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนจำแนกตามชนิดพืชและชนิดสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เมื่อใช้ปริมาณสารที่พบมากที่สุดมาใช้ในการคำนวณ พบว่า สารที่มีค่า HQ มากที่สุดในคณะนี้ คือ lambda-cyhalothrin (24.48%) รองลงมา คือ fipronil (8.87 %) chlorfenapyr (5.38%) cypermethrin (4.61%) ตามลำดับ (Table 2) เมื่อจำแนกตามจังหวัดแหล่งปลูก พบว่า จ.ขอนแก่น นครพนม และหนองบัวลำภู HI มีค่า 49.38 1.77 และ 0.04% ตามลำดับ ผ่านเกณฑ์การยอมรับ (HI ≤100%)

สำหรับพริก พบว่า ชนิดสารที่มีค่า HQ มากที่สุด คือ triazophos (3.80%) รองลงมา คือ carbendazim (1.15%) และ methomyl (0.76%) ตามลำดับ พริกจาก จ.ขอนแก่น หนองคาย สกลนคร และชัยภูมิ HI มีค่า 3.84 1.29 1.02 และ 0.51% ตามลำดับ ผ่านเกณฑ์การยอมรับ (Table 3) ส่วนมะเขือเทศ พบว่า ชนิดสารที่มีค่า HQ มากที่สุด คือ diazinon (20.90%) profenofos (0.23%) และ alachlor (0.14%) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเป็นรายจังหวัด พบว่า หนองคาย สกลนคร มุกดาหาร และบึงกาฬ HI มีค่า 20.90 0.37 0.02 และ 0.001% ตามลำดับ ผ่านเกณฑ์การยอมรับ (Table 4)

**Table 1** Frequency of pesticides detected in Chinese kale, chili, and tomato samples in Upper Northeast Thailand

| Pesticides          | Type | Hazard class | ADI (mg/kg BW/day) | Chinese kale (N=24)    |            |                     |                     | Chili (N=30)           |            |                    |                      | Tomato (N=26)          |            |                    |                      |
|---------------------|------|--------------|--------------------|------------------------|------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------|--------------------|----------------------|------------------------|------------|--------------------|----------------------|
|                     |      |              |                    | Detected samples (no.) | RL (mg/kg) | MRLs (mg/kg)        | >MRLs samples (no.) | Detected samples (no.) | RL (mg/kg) | MRLs (mg/kg)       | > MRLs samples (no.) | Detected samples (no.) | RL (mg/kg) | MRLs (mg/kg)       | > MRLs samples (no.) |
| Alachlor            | HBC  | II           | 0.01               | -                      | -          | -                   | -                   | -                      | -          | -                  | -                    | 1                      | 0.01       | 0.01 <sup>3/</sup> | 0                    |
| Acetamiprid         | INS  | II           | 0.025              | 2                      | 0.01-0.04  | 0.7 <sup>2/</sup>   | 0                   | 10                     | 0.01-0.26  | 0.1 <sup>2/</sup>  | 4                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Azoxystrobin        | FUC  | U            | 0.2                | -                      | -          | -                   | -                   | 1                      | 0.01       | 3 <sup>2/</sup>    | 0                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Ametryn             | HBC  | II           | 0.05               | 1                      | 0.02       | 0.01 <sup>1/</sup>  | 1                   | -                      | -          | -                  | -                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Carbendazim         | FUC  | U            | 0.03               | -                      | -          | -                   | -                   | 6                      | 0.29-1.81  | 2 <sup>1/</sup>    | 0                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Chlorantraniliprole | INS  | U            | 1.56               | 1                      | 0.03       | 20 <sup>2/</sup>    | 0                   | 1                      | 0.03       | 0.05 <sup>3/</sup> | 0                    | 3                      | 0.01       | 5 <sup>2/</sup>    | 0                    |
| Chlorfenapyr        | INS  | II           | 0.015              | 1                      | 0.91       | 0.01 <sup>1/</sup>  | 1                   | -                      | -          | -                  | -                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Clothianidin        | INS  | II           | 0.097              | -                      | -          | -                   | -                   | 2                      | 0.02-0.03  | 0.05 <sup>2/</sup> | 0                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Cypermethrin        | INS  | II           | 0.005              | 2                      | 0.06-0.26  | 1 <sup>1/</sup>     | 0                   | -                      | -          | -                  | -                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Diazinon            | INS  | II           | 0.0002             | -                      | -          | -                   | -                   | -                      | -          | -                  | -                    | 1                      | 0.03       | 0.5 <sup>2/</sup>  | 0                    |
| Difenoconazole      | FUC  | II           | 0.01               | 1                      | 0.19       | 0.01 <sup>1/</sup>  | 1                   | -                      | -          | -                  | -                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Dimethomorph        | FUC  | III          | 0.05               | 1                      | 0.05       | 3 <sup>3/</sup>     | 0                   | -                      | -          | -                  | -                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Dimotefuran         | INS  | III          | 0.02               | 2                      | 0.01       | 2 <sup>1/</sup>     | 0                   | 1                      | 0.02       | 0.05 <sup>3/</sup> | 0                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Fipronil            | INS  | II           | 0.0002             | 1                      | 0.02       | 0.005 <sup>1/</sup> | 1                   | -                      | -          | -                  | -                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Imidacloprid        | INS  | II           | 0.06               | -                      | -          | -                   | -                   | 14                     | 0.01-0.34  | 1 <sup>2/</sup>    | 0                    | 1                      | 0.01       | 0.5 <sup>2/</sup>  | 0                    |
| Indoxacarb          | INS  | II           | 0.005              | 1                      | 0.07       | 0.01 <sup>1/</sup>  | 1                   | -                      | -          | -                  | -                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Lambda-cyhalothrin  | INS  | II           | 0.0025             | 1                      | 0.69       | 0.01 <sup>1/</sup>  | 1                   | -                      | -          | -                  | -                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Metaxyl             | FUC  | II           | 0.08               | 1                      | 0.13       | 2 <sup>1/</sup>     | 0                   | 1                      | 0.16       | 1 <sup>2/</sup>    | 0                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Methomyl            | INS  | IIb          | 0.0025             | -                      | -          | -                   | -                   | 1                      | 0.1        | 1 <sup>1/</sup>    | 0                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Methoxyfenozide     | INS  | U            | 0.1                | 2                      | 0.24-0.68  | 0.01 <sup>1/</sup>  | 2                   | -                      | -          | -                  | -                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Profenofos          | INS  | II           | 0.03               | 1                      | 0.12       | 0.5 <sup>1/</sup>   | 0                   | -                      | -          | -                  | -                    | 3                      | 0.02-0.05  | 10 <sup>2/</sup>   | 0                    |
| Propiconazole       | FUC  | II           | 0.07               | 2                      | 0.02-0.09  | 0.01 <sup>1/</sup>  | 2                   | -                      | -          | -                  | -                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Pyraclostrobin      | FUC  | Not listed   | 0.03               | 1                      | 0.06       | 1 <sup>2/</sup>     | 1                   | 1                      | 0.06       | 0.5 <sup>2/</sup>  | 0                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Pyridaben           | INS  | II           | 0.01               | -                      | -          | -                   | -                   | 3                      | 0.01-0.02  | 0.5 <sup>2/</sup>  | 0                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Thiamethoxam        | INS  | II           | 0.08               | 1                      | 0.01       | 0.01 <sup>1/</sup>  | 0                   | -                      | -          | -                  | -                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Tolfenpyrad         | INS  | Not listed   | 0.006              | 1                      | 0.1        | 0.01 <sup>1/</sup>  | 1                   | -                      | -          | -                  | -                    | -                      | -          | -                  | -                    |
| Triazophos          | INS  | IIb          | 0.001              | 1                      | 0.02       | 0.01 <sup>1/</sup>  | 1                   | 4                      | 0.01-0.19  | 0.07 <sup>3/</sup> | 2                    | -                      | -          | -                  | -                    |

**Note:** Type of pesticides shown as INS=insecticide, FUC=fungicide, HBC=herbicide, N=number of samples,

Hazard class according to WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification, 2019 edition (World Health Organization, 2020),

Hazard class shown as Ib=Highly hazardous, II=Moderately hazardous, III=Slightly hazardous, U=Unlikely to present an acute hazard (World Health Organization, 2020),

ADI values according to the Codex Alimentarius (FAO/WHO, 2023), RL = amount of pesticide detected, MRL = maximum residue limit,

<sup>1/</sup> Thai Agricultural Standard TAS 9002-2016 (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2016),

<sup>2/</sup> Codex Alimentarius (FAO/WHO, 2023),

<sup>3/</sup> European Commission Pesticides database MRLs (EU) 2022/1343 (European Commission, 2023)

**Table 2** Assessment of consumption risk of Chinese kale in Upper NE Thailand

| Province       | Pesticide           | EDI<br>(mg/kg BW/day) | HQ<br>(%) | HI<br>(%) | Health risk* |
|----------------|---------------------|-----------------------|-----------|-----------|--------------|
| Khon Kaen      | Acetamiprid         | $3.5 \times 10^{-5}$  | 0.14      |           |              |
|                | Chlorantraniliprole | $2.7 \times 10^{-5}$  | 0.002     |           |              |
|                | Chlorfenapyr        | $8.1 \times 10^{-4}$  | 5.38      |           |              |
|                | Cypermethrin        | $2.3 \times 10^{-4}$  | 4.61      |           |              |
|                | Difenoconazole      | $1.7 \times 10^{-4}$  | 1.68      |           |              |
|                | Dimethomorph        | $4.4 \times 10^{-5}$  | 0.09      |           |              |
|                | Dinotefuran         | $8.9 \times 10^{-6}$  | 0.004     |           |              |
|                | Fipronil            | $1.8 \times 10^{-5}$  | 8.87      |           |              |
|                | Indoxacarb          | $6.2 \times 10^{-5}$  | 1.24      |           |              |
|                | Lambda -cyhalothrin | $6.1 \times 10^{-4}$  | 24.48     | 49.38     | Accept       |
|                | Metalaxyl           | $1.2 \times 10^{-4}$  | 0.14      |           |              |
|                | Methoxyfenozide     | $6.0 \times 10^{-4}$  | 0.60      |           |              |
|                | Profenofos          | $1.1 \times 10^{-4}$  | 0.35      |           |              |
|                | Propiconazole       | $8.0 \times 10^{-5}$  | 0.11      |           |              |
|                | pyraclostrobin      | $5.3 \times 10^{-5}$  | 0.18      |           |              |
|                | Thiamethoxam        | $8.9 \times 10^{-6}$  | 0.01      |           |              |
|                | Tolfenpyrad         | $8.9 \times 10^{-5}$  | 1.48      |           |              |
| Nakhon Phanom  | Triazophos          | $1.8 \times 10^{-5}$  | 1.77      | 1.77      | Accept       |
| Nongbua Lamphu | Ametryn             | $1.8 \times 10^{-5}$  | 0.04      | 0.04      | Accept       |
| Total          |                     |                       |           | 51.19     | Accept       |

\* HI > 100 = risk to consumers, HI ≤ 100 = accept

ข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้เป็นแนวทางการลดความเสี่ยงเมื่อพบว่าชนิดสารที่มี HQ สูง เกษตรกรจะสามารถปรับปริมาณการใช้ลงหรือเปลี่ยนชนิดสารที่มีความเป็นพิษน้อยเพื่อให้มีความปลอดภัยมากที่สุด

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าความเสี่ยง นอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารที่พบตกค้างในพืชแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชด้วย เช่น สารเคมีกำจัดแมลงชนิดที่จัดอยู่ในระดับความเป็นพิษ Ib หรือมีความเป็นพิษสูง เช่น triazophos และ methomyl มีค่า ADI ต่ำ (0.001 และ 0.0025 มก./กก. น้ำหนักตัว/วัน) สารเคมีกำจัดแมลงระดับความเป็นพิษ II หรือ มีพิษปานกลาง หลายชนิดที่มีค่า ADI ต่ำ ได้แก่ fipronil diazinon lambda-cyhalothrin indoxacarb และ cypermethrin รวมทั้งสารเคมี

กำจัดแมลงที่ไม่จัดระดับความเป็นพิษไว้ (not listed) เช่น tolfenpyrad เกษตรกรควรหลีกเลี่ยงหรือระมัดระวังในการใช้งานให้มากขึ้น จากข้อมูลผลวิเคราะห์สารพิษตกค้างอาจพบมีปริมาณสารพิษตกค้างเกินค่า MRL แต่การประเมินความเสี่ยงต่อการบริโภคด้วยค่า HI อาจอยู่ในระดับยอมรับได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่นำมาใช้ในการคำนวณ ได้แก่ อัตราการบริโภคต่อวัน ปริมาณสารพิษตกค้าง น้ำหนักตัวของกลุ่มประชากรผู้บริโภค เป็นต้น เช่น กรณีตัวอย่างพริกในการศึกษานี้พบสารพิษตกค้างเกินค่า MRL แต่ปริมาณการบริโภคเฉลี่ยต่อวันต่ำ (0.012 กก./วัน) ค่า HI จึงอยู่ในระดับยอมรับได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Hawari et al. (2019) ที่พบปริมาณสารพิษตกค้างในตัวอย่างแอปเปิลเกินค่า MRL

**Table 3** Assessment of consumption risk of chili in Upper NE Thailand

| Province     | Pesticide           | EDI<br>(mg/kg BW/day) | HQ<br>(%) | HI<br>(%) | Health risk* |
|--------------|---------------------|-----------------------|-----------|-----------|--------------|
| Khon Kaen    | Chlorantraniliprole | $5.7 \times 10^{-6}$  | 0.0004    | 3.84      | Accept       |
|              | Pyraclostrobin      | $1.1 \times 10^{-5}$  | 0.04      |           |              |
|              | Triazophos          | $3.8 \times 10^{-5}$  | 3.80      |           |              |
| Nong Khai    | Acetamiprid         | $4.9 \times 10^{-5}$  | 0.02      | 1.29      | Accept       |
|              | Clothianidin        | $5.7 \times 10^{-6}$  | 0.01      |           |              |
|              | Carbendazim         | $3.4 \times 10^{-4}$  | 1.15      |           |              |
|              | Imidacloprid        | $6.5 \times 10^{-5}$  | 0.11      |           |              |
| Sakon Nakhon | Acetamiprid         | $4.9 \times 10^{-5}$  | 0.20      | 1.02      | Accept       |
|              | Matalaxyl           | $3.0 \times 10^{-5}$  | 0.04      |           |              |
|              | Methomyl            | $1.9 \times 10^{-5}$  | 0.76      |           |              |
|              | pyridaben           | $1.9 \times 10^{-6}$  | 0.02      |           |              |
| Chaiyaphum   | Acetamiprid         | $1.9 \times 10^{-6}$  | 0.01      | 0.51      | Accept       |
|              | Dinotefuran         | $3.8 \times 10^{-6}$  | 0.02      |           |              |
|              | Imidacloprid        | $3.8 \times 10^{-5}$  | 0.06      |           |              |
|              | Pyridaben           | $3.8 \times 10^{-5}$  | 0.04      |           |              |
|              | Triazophos          | $3.8 \times 10^{-6}$  | 0.38      |           |              |
| Total        |                     |                       |           | 6.66      | Accept       |

\* HI > 100 = risk to consumers, HI ≤ 100 = accept

**Table 4** Assessment of consumption risk of tomato in Upper NE Thailand

| Province     | Pesticide           | EDI<br>(mg/kg BW/day) | HQ<br>(%) | HI<br>(%) | Health risk* |
|--------------|---------------------|-----------------------|-----------|-----------|--------------|
| Nong Khai    | Diazinon            | $4.2 \times 10^{-5}$  | 20.90     | 20.90     | Accept       |
| Sakon Nakhon | Alachlor            | $1.4 \times 10^{-5}$  | 0.14      | 0.37      | Accept       |
|              | Chlorantraniliprole | $1.4 \times 10^{-5}$  | 0.001     |           |              |
|              | Profenofos          | $7.0 \times 10^{-5}$  | 0.23      |           |              |
| Mukdahan     | Imidacloprid        | $1.4 \times 10^{-5}$  | 0.02      | 0.02      | Accept       |
| Bueng Kan    | Chlorantraniliprole | $1.4 \times 10^{-5}$  | 0.001     | 0.001     | Accept       |
| Total        |                     |                       |           | 21.30     | Accept       |

\* HI > 100 = risk to consumers, HI ≤ 100 = accept

ถึง 61% ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด แต่เมื่อคำนวณค่า HQ กลับอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

#### การใช้ประโยชน์ข้อมูลการประเมินความเสี่ยง

ข้อมูลความเสี่ยงจากการได้รับสารพิษจากการบริโภคพืชผักที่ศึกษานี้ ช่วยให้เกษตรกรได้รับทราบข้อมูลและเกิดความระมัดระวังในการใช้สารเคมีกำจัด

ศัตรูพืชที่มีความเป็นพิษสูง ให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น เช่น สาร chlorfenapyr cypermethrin diazinon fipronil lambda-cyhalothrin และ triazophos มีค่า ADI ต่ำ หากบริโภคเข้าสู่ร่างกายเพียงปริมาณน้อยก็อาจเป็นอันตรายได้ หากสามารถลดปริมาณสารเหล่านี้ได้ จะทำให้ความเสี่ยง

ต่อการบริโภคได้ เกษตรกรจึงต้องใช้สารเคมีเหล่านี้อย่างระมัดระวังหรือหาสารชนิดอื่นที่มีระดับความเป็นพิษน้อยกว่ามาใช้ทดแทน เมื่อเกษตรกรปรับเปลี่ยนการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชให้มีความปลอดภัยมากขึ้น จะตรวจพบสารพิษตกค้างในผลผลิตน้อยลง และสามารถเข้าสู่การรับรองมาตรฐานการผลิต GAP ได้ สำหรับตัวอย่างพืชที่ตรวจไม่พบสารพิษตกค้าง หรือพบปริมาณสารพิษอยู่ในระดับต่ำ หรือไม่เกินค่า MRL จะช่วยให้เกษตรกรมั่นใจในการผลิตพืชและใช้เป็นข้อมูลความปลอดภัยต่อผู้บริโภคได้ อย่างไรก็ตามความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกรยังต้องเฝ้าระวังและการตรวจติดตามอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทราบแนวโน้มการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสถานการณ์สารพิษตกค้างในพื้นที่ ซึ่งควรดำเนินการไปพร้อมกับการศึกษาผลกระทบจากใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

### สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์สารพิษตกค้างในในพืชกลุ่มเสี่ยง ได้แก่ คะน้า พริก และมะเขือเทศ จากแปลงปลูกในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จำนวน 80 ตัวอย่าง พบสารพิษตกค้าง 43 ตัวอย่าง คิดเป็น 53.8% ของจำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์ มีตัวอย่างที่ตรวจพบปริมาณสารพิษเกินค่า MRL 12 ตัวอย่าง คิดเป็น 15.0% เมื่อนำมาคำนวณค่า HI เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อการบริโภค พบว่า อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรชัยภูมิ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรหนองคาย ศูนย์วิจัย

และพัฒนาการเกษตรนครพนม ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสกลนคร สำนักงานเกษตรจังหวัดหนองบัวลำภู และงบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (fundamental fund) จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

### เอกสารอ้างอิง

- จารุพงศ์ ประสพสุข. 2562. บทบาทของการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีต่อความเสี่ยงทางการเกษตรและการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกผักเชิงพาณิชย์ในจังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาเกษตรเชิงระบบ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- จารุพงศ์ ประสพสุข สุวิทย์ เลหาศิริวงศ์ อรุณี พรหมคำบุตร และชุลีมาศ บุญไทย อิวาย. 2562. การประเมินความเสี่ยงสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในดินต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ปลูกคะน้าในจังหวัดขอนแก่น. วารสารวิชาการเกษตร. 37(3): 272-285.
- จารุพงศ์ ประสพสุข. 2565. รายงานสรุปผลการวิเคราะห์สารพิษตกค้างในพืชผักและไม้ผลพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ปี 2561-2565. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3, ขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2551. วิธีชักตัวอย่างเพื่อตรวจหาสารพิษตกค้าง มกอช.9025-2551. ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 125 ตอนพิเศษ 139ง. 18 สิงหาคม 2551. กรุงเทพฯ. แหล่งข้อมูล: [https://www.acfs.go.th/standard/download/pesticide\\_residues.pdf](https://www.acfs.go.th/standard/download/pesticide_residues.pdf). สืบค้น: 10 กรกฎาคม 2566.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2556. การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับพืชอาหาร มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 9001-2556. กรุงเทพฯ. แหล่งข้อมูล: [https://www.acfs.go.th/standard/download/GAP\\_food%20crop.pdf](https://www.acfs.go.th/standard/download/GAP_food%20crop.pdf). สืบค้น: 10 กรกฎาคม 2566.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2559ก. ข้อมูลการบริโภคอาหารของคนไทย. แหล่งข้อมูล:

- [https://www.acfs.go.th/files/files/attach-files/867\\_20190606145951\\_625162.pdf](https://www.acfs.go.th/files/files/attach-files/867_20190606145951_625162.pdf). สืบค้น: 10 กรกฎาคม 2566.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2559. สารพิษตกค้าง: ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด. มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 9002-2559. กรุงเทพฯ. แหล่งข้อมูล: <https://www.acfs.go.th/standard/download/MAXIMUM-RESIDUE-LIMITS.pdf>. สืบค้น: 10 กรกฎาคม 2566.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2555. โครงการสำรวจและวิจัยมาตรฐานขนาดรูปร่างคนไทย. แหล่งข้อมูล: <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/2012/20120417-SizeThailand.pdf>. สืบค้น: 14 มกราคม 2568.
- Agriculture and Environment Research Unit. 2023. Pesticide Properties DataBase (PPDB). University of Hertfordshire. Available at: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>. Accessed: July 20, 2023.
- Akoto, O., A.A. Azuure and K.D. Adotey. 2016. Pesticide residues in water, sediment and fish from Tono Reservoir and their health risk implications. SpringerPlus. 5: 1849.
- Alla, S.A.G, N.M. Loutfy, A.H. Shendy and M.T. Ahmed. 2015. Hazard index, a tool for a long-term risk assessment of pesticide residues in some commodities, a pilot study. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 73(3): 985-991.
- BSI [British Standards]. 2008. Foods of plant origin Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS-MS following acetonitrile extraction/partitioning and clean up by dispersive SPE-QuEChERS-method. BS EN 15662:2008. London: BSI Group, Chiswick High Road.
- European Commission. 2023. European Commission Pesticides database MRLs (EU) 2022/1343. Available at: [https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database\\_en](https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database_en). Accessed: July 20, 2023.
- FAO/WHO [Food and Agricultural Organization/World Health Organization]. 2023. Pesticide residues in food and feed: Codex Alimentarius. Online Database. Available at: <http://www.codexalimentarius.net/pestres/data/pesticides>. Accessed: July 20, 2023.
- Hawari, K., S. Mokh, M. Iskandarani, W. Halloum and F. Jaber. 2019. Pesticide residues in Lebanese apples and health risk assessment. Food Additives and Contaminants: Part B. 12(2): 81-89.
- Liu, Y., K. Bei, W. Zheng, G. Yu and C. Sun. 2023. Pesticide residues risk assessment and quality evaluation of four characteristic fruits in Zhejiang Province, China. Frontiers in Environmental Science. 11:1124094.
- Łozowicka, B., P. Kaczynski, E. Rutkowska, M. Jankowska and I. Hrynko. 2013. Evaluation of pesticide residues in fruit from Poland and health risk assessment. Agricultural Sciences. 4(5B): 106-111.
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 2016. Food Consumption Data of Thailand. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. Bangkok.
- Wojcik E., B. Łozowicka and P. Kaczyński. 2014. Pesticide residues in berries and juices and potential risk for consumers. Desalination and Water Treatment. 52(19-21): 3804-3818.
- World Health Organization. 2020. WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification, 2019 edition, Geneva. Available at: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/332193/9789240005662-eng.pdf?sequence=1>. Accessed: July 20, 2023

# Path Analysis of Total Economic Product of Twenty-Two Tenera Oil Palms in Krabi, Thailand

Suteera Thawornrat<sup>1/</sup> Puntaree Taeprayoon<sup>2/</sup> Kittichai Kor-Or<sup>3/</sup> Somkid Damnoi<sup>4/</sup>

Surakitti Srikul<sup>4/</sup> Peerasak Srinives<sup>5/</sup> Anek Limsrivilai<sup>6/</sup> Patcharin Tanya<sup>7/\*</sup>

*Received 24 Jul. 2024/Revised 6 Aug. 2024/Accepted 3 Sep. 2024*

## ABSTRACT

The indirect factor that holds significant appeal for farmers and the oil palm industry in assessing the potential of Tenera oil palm plantations is the total economic product (TEP). This comprehensive study, conducted at the Hong Sila Agriculture and Industry Company Limited in Krabi, Thailand, evaluated the factors influencing the TEP from twenty-two Tenera oil palms. The factors considered in TEP were fresh fruit bunch (FFB) recorded for 11 years from 2011 to 2021 and bunch components evaluated for four years from 2017 to 2020 using a randomized complete block design with four replicates. The results revealed that the factors influencing TEP were oil yield (OY) and kernel yield (KY), with OY having a more direct impact than KY. The kernel to bunch (KTB) and oil to bunch (OTB) multiplied by FFB are equal to KY and OY, so these two factors were factor affections. The factors that directly influenced OY were FFB and OTB, with no significant correlation between FFB and OTB and a small indirect effect of FFB through OTB. The strong direct effect of character on KY was obtained from KTB, followed by FFB, with a higher total effect of KTB over FFB. The average TEP in 22 Tenera oil palms was 64.41 kg/palm/year, with T22 giving the highest TEP at 74.55 kg/palm/year, while T12 displayed the lowest TEP at 53.86 kg/palm/year. TEP is the one parameter known for Tenera's potential to get more profit from the factors of FFB, OTB, and KTB, which was the one purpose for plant breeding to calculate for the selection process.

**Keywords:** correlation coefficient; regression; oil yield; kernel yield; fresh fruit bunch

---

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

<sup>2/</sup> Agricultural and Environmental Utilization Research Unit, Nakhon Sawan Campus, Mahidol University, Nakhon Sawan 60130, Thailand

<sup>3/</sup> Hong Sila Agriculture and Industry Company Limited, Khao Phanom, Krabi 81140, Thailand

<sup>4/</sup> Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

<sup>5/</sup> Academy of Science, The Royal Society of Thailand, Dusit, Bangkok 10300, Thailand

<sup>6/</sup> Goldentenera Company Limited, 12/9, Krabi Yai, Mueang, Krabi 81000, Thailand

<sup>7/</sup> Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

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

## INTRODUCTION

In 2023/2024, the United States Department of Agriculture (2023) reported that palm oil emerged as the leading source of vegetable oil, capturing an impressive 45.4% market share. This dominance is attributed to the significant production of 79.5 million metric tons (MMt) of crude palm oil (CPO) and 9.03 MMt of palm kernel oil (PKO). Other vegetable oils, such as soybean, rapeseed, and sunflower seeds, are followed by lower volumes of 61.9, 33.1, 22.1, and 17.9 MMt, respectively.

Palm oil is extracted from two parts of the palm fruit: the mesocarp and kernel. CPO is a type of vegetable oil derived from the fruit of the palm tree in the mesocarp or reddish pulp, whereas PKO is extracted from the kernel. According to Basiron (2001), fresh fruit bunches (FFB) of the Tenera variety typically yield an average of 4 tons of palm oil, 0.5 tons of PKO, and 0.6 tons of palm kernel cake (PKC) per hectare per year. CPO and PKO serve as raw materials for a variety of food products, including cooking oil, margarine, ice cream, and dietary supplements, as well as non-food items, such as soap, explosives, and humectants. In addition, CPO and PKO are utilized in the oleochemical industry to produce fatty acids, esters, alcohols, and glycerol, which are essential for soaps, detergents, cosmetics, personal care products, lubricants, greases, printing ink, and biodiesel (Othman et al., 2022).

To enhance production efficiency, it is crucial to increase the yield of oil palm bunches per plantation, as measured by the annual production of FFB per palm per year. By 2024, Indonesia is expected to host the largest global oil palm plantations, covering 14.95 million hectares. Thailand ranks fourth in the world, with 0.98 million hectares distributed across its Southern, Central, Northeast, and Northern regions, accounting for approximately 0.89 million hectares, 0.09 million hectares, 0.04 million hectares, and 0.01 million hectares, respectively (Office of Agricultural Economics, 2024). Thailand has set a target as part of the "Plan to Reform the Oil Palm and Palm Oil Sector (2017-2036)," aiming for a fresh fruit bunch (FFB) yield of approximately 21.9 tons per year per plantation by 2036. This represents an increase from the 18.3 tons per year recorded in 2023 (Office of Agricultural Economics, 2017). Breeding programs for oil palm face complexities to improve phenotypic and agronomic traits. The primary goal of these programs is to enhance oil production through direct morphological changes and genetic evaluations. Path analysis is a unique requirement for specifying the relationships between independent variables. This specification results in a model that elucidates the causal mechanisms through which independent variables exert both direct and indirect effects on dependent variables. (Wright, 1923). Path coefficient analysis showed significant correlations

between direct and indirect effects, demonstrating the importance of gene utility for oil palm progenies in breeding efforts (Sara et al., 2018).

The main factor for palm yield is the FFB, which is correlated to the bunch number (BNO) and average bunch weight (ABW) (Tanya et al., 2013). The first step from oil palm plantation to industry is to directly sell or pass the palm bunch to the oil palm bunch collection center by weighing the palm bunch on a scale. Then, the separation process from bunch to fruit and fruit to mesocarp and kernel is the next step to obtain the value from oil to bunch and kernel to determine the oil yield and kernel yield, as well as the correlation with the previous report. Okoye et al. (2009) reported that the highly significant correlation between OY and FFB was 0.724, OY and BNO were 0.569, and OY and oil to bunch (OTB) was 0.589, supporting Nor Azwani et al. (2020) noted that strong and positive correlations of FFB and OTB with OY suggested that OY can be improved by increasing FFB yield or OTB. Suzana et al. (2020) reported that the positive correlation between KY was FFB (0.911) and KTB (0.782), and negatively correlated with OTB (-0.394). Therefore, advocating this action plan for high yield per area involves breeding and developing essential traits that enhance yield efficiency within limited areas.

This study is particularly significant as it seeks to identify the potential of these traits by estimating the factors correlated with the impact of economic characteristics on total economic production (TEP) for an oil palm breeding program.

## **MATERIALS AND METHOD**

### **Tenera oil palm materials**

Twenty-two Tenera oil palms from Goldentenera Company Limited, Univanich Oil Palm Company Limited, and the Department of Agriculture were planted in November 2009 at Hong Sila Agriculture and Industry Company Limited in Krabi Province. The coordinates are latitude 8°17'41.5"N and longitude 99°05'03.7"E. The plantation is sandy and loam-textured, as determined by the hydrometer method with a pH value of 6.49, measured using a 1:1 soil-to-water ratio (University of Illinois at Urbana-Champaign, 2004), and contained 1.42% organic matter, as determined by the Walkley and Black titration method (Walkley and Black, 1934), and an average annual rainfall of 2,240 mm (2012-2021) (Thai Meteorological Department, 2021). The experiment employed a randomized complete block design, with four replicates. Each replication consisted of 15 palm trees arranged in a triangular configuration at a distance of 9×9×9 m.

## Phenotype recording and data analysis

The data on oil palm yield, representing the annual production of FFB/palm in kilograms, were gathered from oil palm plantations from January 2011 to December 2021, 3 to 13 years after planting, whereas data on oil yield and kernel yield were calculated using TEP (Kushairi et al., 2001; Mandal and Babu, 2018) from 2017 to 2020, including the process of bunch components starting from bunch weight and then calculating KTB and oil to bunch. TEP was determined using the following equation:

$$\text{TEP} = \text{OY} + 0.6 (\text{KY}) \quad (1)$$

$$\text{where: OY} = \frac{\text{OTB} \times \text{FFB}}{100}$$

$$\text{KY} = \frac{\text{KTB} \times \text{FFB}}{100}$$

where: FFB = fresh fruit bunch (kg/palm/year), OTB = oil to bunch (%), KTB = kernel to bunch (%), OY = oil yield (kg/palm/year) and KY = kernel yield (kg/palm/year).

## Data collection

Total economic product (TEP) data were obtained from the bunch component measured from oil to bunch (OTB; %) and kernel to bunch (KTB; %) using the Ooi (1978) method, while the yield trait was fresh fruit bunch (FFB; kg).

## Statistical Analysis

The data were analyzed using R 4.3.1 to examine the analysis of variance (ANOVA),

mean comparison, and path analysis on TEP with KY, OY, FFB, OTB, and KTB (R Core Team, 2021).

## RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of variance revealed a significant difference among the Tenera oil palms regarding TEP, OY, KY, FFB, OTB, and KTB. T20 had the highest total estimated production (TEP) at 74.55 kg/palm/year, exceeding the average of 64.41 kg/palm/year. This elevated TEP was primarily attributed to its high oil yield (OY) of 70.63 kg/palm/year, while kernel yield (KY) was recorded at 6.53 kg/palm/year. The main factor influencing both OY and KY was FFB, which measured 235.15 kg/palm/year. The effects of OTB at 29.95% and KTB at 2.77% were less significant. T21, the second highest in TEP, recorded the highest OTB at 31.04%, with a KTB of 3.11% and an FFB of 216.74 kg/palm/year. T21 comprised the factors with high OY (67.40 kg/palm/year) with the highest OTB at 31.04%, while KY and KTB were 6.81 kg/palm/year and 3.11%, respectively, the FFB of T21 was 216.74 kg/palm/year lower than T20. In contrast, T16 had the highest FFB at 241.08 kg/palm/year, a KY of 10.56 kg/palm/year, and a KTB of 4.30%. However, its TEP was lower, measured at 67.23 kg/palm/year (Table 1 and Figure 1). Norziha et al. (2024) reported TEP from the MPOB-Angola germplasm oil palm across 44 Tenera families in Malaysia. They found that the TEP

ranged from 20.90 kg to 60.37 kg per palm per year, with an average of 48.62 kg per palm per year. In our study, the TEP range was higher, between 53.86 kg and 74.55 kg per palm per year, with an average of 64.41 kg per palm per year. Notably, 17 Tenera families in our study had the highest TEP reported by Norziha et al. (2024). Additionally, the average FFB and OTB for twenty-two progenies in this study were 213.87 kg per palm per year and 28.45%, respectively. Both figures exceed the standard set by the Standard and Industrial Research Institute of Malaysia (SIRIM), which specifies a minimum of 170 kg per palm per year for FFB and 25% for OTB (Department of Standards Malaysia, 2005). Our results surpassed these standards by 25.80% for FFB and by 13.80% for OTB. This study highlighted the top five progenies, as they demonstrated a significant positive effect of OY at 0.977\*\*, which was considerably higher than that of KY at 0.165\*\*. Therefore, exploring the factors influencing TEP is essential for understanding both the direct and indirect effects, particularly through path analysis

Path analysis provides more detailed information than correlation analysis because it demonstrates the partitioning of direct and indirect effects on interesting traits or indicates the relative importance of the causal factors involved (Wright, 1921; 1923). In this study, TEP was interested in the factors influencing the long-term potential of palm oil plantations for the decision to

choose oil palm varieties. Based on path analysis, five characteristics, OY, KY, FFB, OTB, and KTB, affect the TEP. OY (0.977\*\*) had a greater direct effect on TEP than KY (0.165\*\*). The correlation between TEP and OY was high (0.986\*\*), whereas that between KY and OY was low (0.218\*). Corley (2018) noticed that KTB was highly correlated with kernel to fruit (KTF) at 0.968\*\*; therefore, KTF had to be considered as one factor for making KY. The direct effect for OY and KY was from FFB, in which FFB had a stronger positive effect on OY than KY (0.741\*\* and 0.266\*\*, respectively), including correlations of approximately 0.653\*\* and 0.455\*\*, respectively. OTB had a positive effect and a correlation with OY of approximately 0.759\*\* and 0.673\*\*, respectively. KTB for KY has a direct impact of 0.904\*\* and a correlation value of 0.959\*\*, as shown in Figure 1.

Previous research on the correlation between FFB and OY and between FFB and OTB, as reported by various authors, has shown a diverse range of correlation values. Okoye et al. (2007) reported 0.724\* and 0.589\*; Krualee et al. (2013) mentioned 0.85\*\* and 0.46\*\*; Nor Azwani et al. (2020) displayed 0.69\*\* and 0.60\*\*, and Myint et al. (2021) demonstrated 0.80\*\* and 0.36\*\*. Some reports showed a stark contrast in the correlation between FFB and OTB, with values as low as 0.081 (Balakrishna et al., 2018) and -0.174 (Corley, 2018). In comparison, Ataga (1995) found that the only correlation between FFB and OY was 0.782\*.

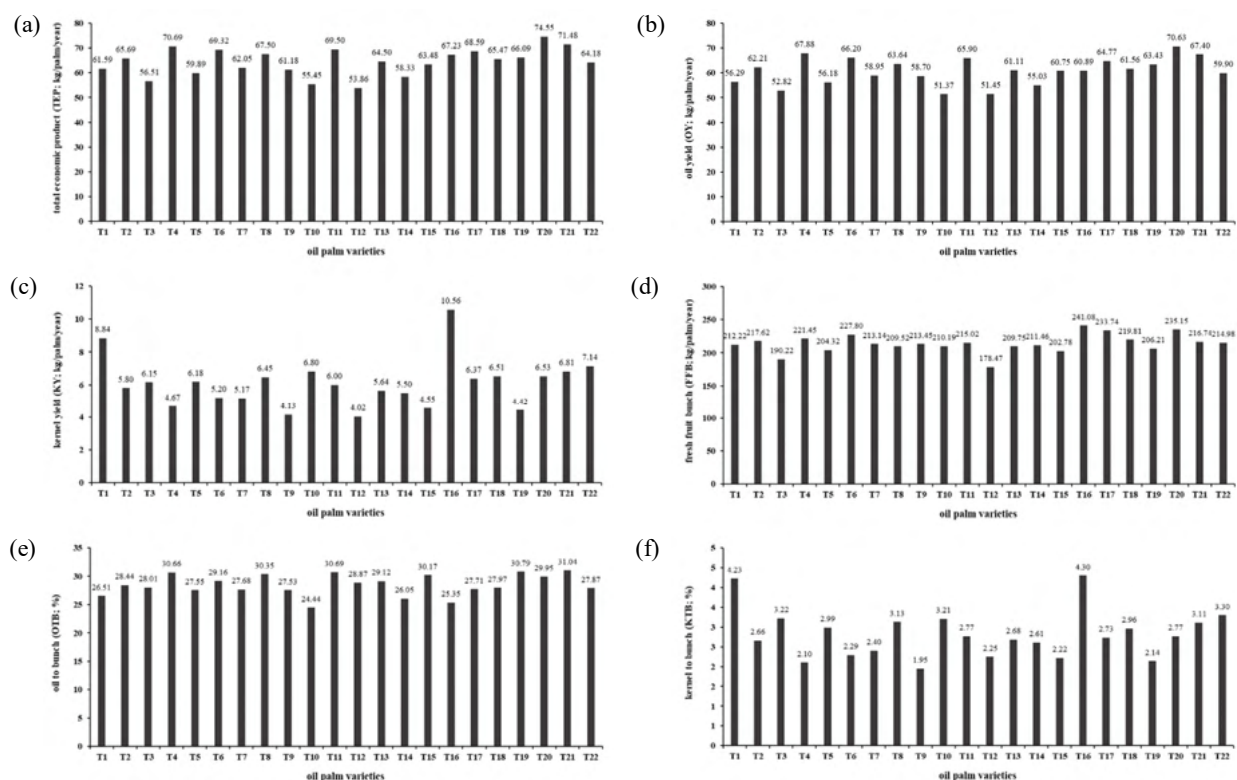
**Table 1** Mean of total economic product (TEP) and yield traits of twenty-two Tenera age 3 to 13 years after planting at Krabi province

| Tenera<br>code | TEP<br>(kg/palm/year) |     | OY<br>(kg/palm/year) |     | KY<br>(kg/palm/year) |    | FFB<br>(kg/palm/year) |     | OTB<br>(%) |     | KTB<br>(%) |     |
|----------------|-----------------------|-----|----------------------|-----|----------------------|----|-----------------------|-----|------------|-----|------------|-----|
| T1             | 61.59                 | d-i | 56.29                | c-f | 8.84                 | ab | 212.22                | c-e | 26.51      | b-e | 4.23       | ab  |
| T2             | 65.69                 | b-f | 62.21                | a-e | 5.80                 | bc | 217.62                | b-e | 28.44      | a-d | 2.66       | c   |
| T3             | 56.51                 | g-i | 52.82                | ef  | 6.15                 | bc | 190.22                | fg  | 28.01      | a-e | 3.22       | a-c |
| T4             | 70.69                 | a-c | 67.88                | ab  | 4.67                 | c  | 221.45                | a-e | 30.66      | a   | 2.10       | c   |
| T5             | 59.89                 | e-i | 56.18                | c-f | 6.18                 | bc | 204.32                | ef  | 27.55      | a-e | 2.99       | a-c |
| T6             | 69.32                 | a-d | 66.20                | a-c | 5.20                 | c  | 227.80                | a-d | 29.16      | a-d | 2.29       | c   |
| T7             | 62.05                 | c-i | 58.95                | b-f | 5.17                 | c  | 213.14                | b-e | 27.68      | a-e | 2.40       | c   |
| T8             | 67.50                 | a-e | 63.64                | a-d | 6.45                 | bc | 209.52                | d-f | 30.35      | ab  | 3.13       | a-c |
| T9             | 61.18                 | d-i | 58.70                | b-f | 4.13                 | c  | 213.45                | b-e | 27.53      | a-e | 1.95       | c   |
| T10            | 55.45                 | hi  | 51.37                | f   | 6.80                 | bc | 210.19                | d-f | 24.44      | e   | 3.21       | a-c |
| T11            | 69.50                 | a-d | 65.90                | a-c | 6.00                 | bc | 215.02                | b-e | 30.69      | a   | 2.77       | c   |
| T12            | 53.86                 | i   | 51.45                | f   | 4.02                 | c  | 178.47                | g   | 28.87      | a-d | 2.25       | c   |
| T13            | 64.50                 | b-g | 61.11                | a-f | 5.64                 | c  | 209.75                | d-f | 29.12      | a-d | 2.68       | c   |
| T14            | 58.33                 | f-i | 55.03                | d-f | 5.50                 | c  | 211.46                | d-f | 26.05      | c-e | 2.61       | c   |
| T15            | 63.48                 | b-h | 60.75                | a-f | 4.55                 | c  | 202.78                | ef  | 30.17      | ab  | 2.22       | c   |
| T16            | 67.23                 | a-e | 60.89                | a-f | 10.56                | a  | 241.08                | a   | 25.35      | de  | 4.30       | a   |
| T17            | 68.59                 | a-d | 64.77                | a-d | 6.37                 | bc | 233.74                | a-c | 27.71      | a-e | 2.73       | c   |
| T18            | 65.47                 | b-f | 61.56                | a-f | 6.51                 | bc | 219.81                | b-e | 27.97      | a-e | 2.96       | bc  |
| T19            | 66.09                 | a-f | 63.43                | a-d | 4.42                 | c  | 206.21                | d-f | 30.79      | a   | 2.14       | c   |
| T20            | 74.55                 | a   | 70.63                | a   | 6.53                 | bc | 235.15                | ab  | 29.95      | a-c | 2.77       | c   |
| T21            | 71.48                 | ab  | 67.40                | ab  | 6.81                 | bc | 216.74                | b-e | 31.04      | a   | 3.11       | a-c |
| T22            | 64.18                 | b-g | 59.90                | b-f | 7.14                 | bc | 214.98                | b-e | 27.87      | a-e | 3.30       | a-c |
| CV (%)         | 9.54                  |     | 10.11                |     | 30.52                |    | 6.15                  |     | 8.34       |     | 28.84      |     |
| Mean           | 64.41                 |     | 60.78                |     | 6.06                 |    | 213.87                |     | 28.45      |     | 2.82       |     |
| Minimum        | 53.86                 |     | 51.37                |     | 4.02                 |    | 178.47                |     | 24.44      |     | 1.95       |     |
| Maximum        | 74.55                 |     | 70.63                |     | 10.56                |    | 241.08                |     | 31.04      |     | 4.30       |     |
| SD             | 5.43                  |     | 5.36                 |     | 1.51                 |    | 13.88                 |     | 1.84       |     | 0.61       |     |

Note: TEP=total economic product (kg/palm/year), OY=oil yield (kg/palm/year), KY=kernel yield (kg/palm/year),

FFB=fresh fruit bunch (kg/palm/year), OTB=oil to bunch (%), and KTB=kernel to bunch (%).

Means with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$  based on Duncan's multiple range test (DMRT)



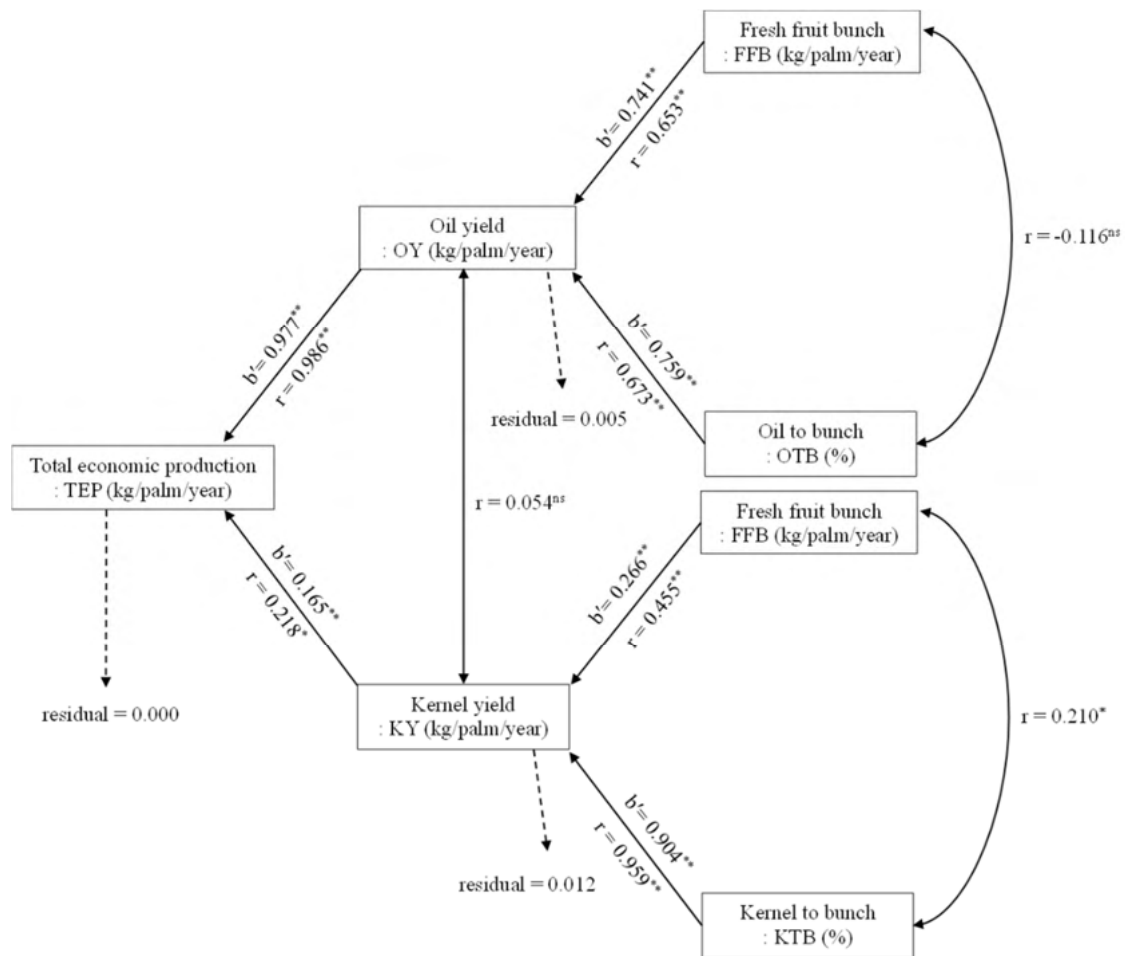
**Figure 1** Mean of TEP (a), OY (b), KY (c), FFB (d), OTB (e) and KTB (f) of 22 Tenera oil palms;  
 Note: TEP = total economic production, OY = oil yield, KY = kernel yield, FFB = fresh fruit bunch, OTB = oil to bunch, KTB = kernel to bunch

However, this result demonstrated a significant direct effect of FFB on OY and KY, which had 0.741\*\* and 0.266\*\* (Figure 2), and the factors that had a direct effect on FFB were BNO and ABW, as reported by Tanya et al. (2013), were 0.94\*\* and 0.98\*\*, respectively. This enlightening information indicates that the amount of FFB depends on the BNO and contrasts with ABW with a negative correlation (-0.49\*), meaning that the BNO was high with a small bunch (low ABW) and low BNO with high ABW. In addition, Balakrishna et al. (2018) reported that the influencing factors that directly affected FFB were BNO (0.685\*\*) and ABW (0.861\*\*). Finally, the TEP factor is an alternative factor

for oil palm breeders to consider for the selection step in oil palm breeding programs in the future. This will benefit oil and kernel yields, affecting oil production for oil palm planters and the oil palm industry.

## CONCLUSION

The improvement to high yield of oil palm by the TEP trait, which will lead to income by breeding programs, can be achieved through OY, and KY has a positive correlation and direct and indirect effects from FFB and OTB from selecting parents with a strong genetic background of the effects of the traits.



**Figure 2** Correlation coefficient and path analysis of total economic product of twenty-two Tenera oil palms in Krabi province

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was partially supported by (1) the Center of Excellence on Biotechnology of Oil Palm for Renewable Energy, Ministry of Higher Education, Science, Research, and Innovation, (2) the Royal Golden Jubilee Ph.D.: RGJPHD (PHD/0232/2560), the Thailand Research Fund (TRF), the Thailand Science Research and Innovation (TSRI), (3) the Office of

Agricultural Research and Development Region 7, Department of Agriculture (DOA), (4) the Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, (5) the Hong Sila Agriculture and Industry Company Limited, and (6) the Goldentenera Company Limited, Krabi Province, Thailand.

## REFERENCES

- Ataga, C.D. 1995. Character interrelationships and path coefficient analysis for oil yield in the oil palm. *Annals of Applied Biology*. 127(1): 157-162.
- Basiron, Y. 2001. New palm-based products. *Journal of Oleo Science*. 50(5): 295-303.
- Balakrishna, P., R. Pinnamaneni, K.B. Pavani and R.K. Mathur. 2018. Correlation and path coefficient analysis in Indian oil palm genotypes. *Journal of Pure and Applied Microbiology*. 12(1): 195-206.
- Corley, R.H.V. 2018. Studies of bunch analysis 1-variation within and between palms. *Journal of Oil Palm Research*. 30(2): 196-205.
- Department of Standards Malaysia. 2005. Malaysian Standard MS 157:2005 Oil Palm Seed for Commercial Planting-Specification (Third revision). Department of Standards Malaysia, Malaysia.
- Krualee, S., S. Sdoodee, T. Eksomtramage and V. Sereeprasert. 2013. Correlation and path analysis of palm oil yield components in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Agriculture and Natural Resources*. 47(4): 528-533.
- Kushairi, A., N. Rajanaidu and B.S. Jalani. 2001. Response of oil palm progenies to different fertilizer rates. *Journal of Oil Palm Research*. 13(1): 84-96.
- Mandal, P.K. and M.K. Babu. 2018. Bunch Analysis of Oil Palm. National Research Centre for Oil Palm, India. 8 p.
- Myint, K.A., M.D. Amiruddin, M.Y. Rafil, M.Y. Abdsamad, S.I. Ramlee, Z. Yaakub and Y. Oladosu. 2021. Character interrelationships and path analysis for yield components in MPOB-Senegal oil palm germplasm. *Sains Malaysiana*. 50(3): 699-709.
- Nor Azwani, A.B., A.M. Fadila, A. Mohd Din, N. Rajanaidu, A. Norziha, M. Suzana, M. Marhalil, Y. Zulkifli and A. Kushairi. 2020. Potential oil palm genetic materials derived from introgression of germplasm (MPOB-Nigeria, MPOB-Zaire and MPOB-Cameroon accessions) to advanced (AVROS) breeding population. *Journal of Oil Palm Research*. 32(4): 569-581.
- Norziha, A., Z. Zamri, Y. Zulkifli, A.M. Fadila and M. Marhalil. 2024. Selection criteria of MPOB-Angola germplasm collection for yield improvement of the oil palm. *Oil Crop Science*. 9(1): 20-28.
- Office of Agricultural Economics. 2017. The Twenty-Year Agriculture and Cooperative Strategy (2017-2036) and the Five-Year Agriculture Development Plan under the Twelfth National Economic and Social Development Plan (2017-2021). Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 94 p. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. 2024. Agricultural Statistics of Thailand 2023. Office of Agricultural Economics Bangkok. 224 p. (in Thai)
- Okoye, M.N., C.O. Okwuagwu, M.I. Uguru, C.D. Ataga and E.C. Okolo. 2007. Genotype by trait relations of oil yield in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) based on GT biplot. *African Crop Science Conference Proceedings*. 8: 723-728.
- Okoye, M.N., C.O. Okwuagwu and M.I. Uguru. 2009. Population improvement for fresh fruit bunch yield and yield components in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *American-Eurasian Journal of Scientific Research*. 4(2): 59-63.
- Ooi, S.C. 1978. The Breeding of Oil Palm Malaysia. Tropical Agriculture Series No. 11, Malaysia.

- Othman, N., M.S. Tahir and L. Joremi. 2022. On the duration of trade competitiveness: the case of the Malaysian palm-based oleochemical industry. *Heliyon*. 8(11): e11903.
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Available at: <https://www.r-project.org/>. Accessed: March 3, 2022.
- Sara, de A.R., R. N. V. da Cunha, R. Lopes, E. Barcelos, R. N. C. da Rocha and W. A. A. de Lima. 2018. Correlation and path analysis for yield components in Dura oil palm germplasm. *Industrial Crops and Products*. 112: 724-733.
- Suzana, M., Y. Zulkifli, M. Maehalil, N. Rajanaidu and M. Ong-Abdullah. 2020. Principal component and cluster analysis on Tanzania oil palm *Elaeis guineensis* Jacq. germplasm. *Journal of Oil Palm Research*. 32(1): 24-33.
- Tanya, P., Y. Hadkam, P. Taeprayoon and P. Srinives. 2013. Estimates of repeatability and path coefficient of bunch and fruit traits in Bang Boet Dura oil palm. *Journal Oil Palm Research*. 25(1): 108-115.
- Thai Meteorological Department. 2021. Daily observation report. Available at: <https://www.tmd.go.th/service/tmdData>. Accessed: January 20, 2022.
- Walkley, A. and A. Black. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-38.
- Wright, S. 1921. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*. 20(7): 557-585.
- Wright, S. 1923. The theory of path coefficients a reply to Niles's criticism. *Genetics*. 8(3): 239-255.
- United States Department of Agriculture. 2023. Oilseeds: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service/USDA Global Market Analysis, United States. 38 p.
- University of Illinois at Urbana-Champaign. 2004. Methods (SOPs). Soils lab, University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Crop Sciences. Available at: <https://margenot.cropsciences.illinois.edu/methods-sops/>. Accessed: January 20, 2022.

## NSUT13-313: โคลนอ้อยดีเด่นผลผลิตสูง

### NSUT13-313: A Promising Sugarcane Clone with High Yield

นัฐภัทร คำหล้า<sup>1/\*</sup> ศิวิล ลาภบรรจบ<sup>1/</sup> ปิยะนุช คำแว่น<sup>1/</sup> รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์<sup>2/</sup>

Nattapat Khumla<sup>1/\*</sup> Siwilai Lapbanjob<sup>1/</sup> Piyanuch Kamwaen<sup>1/</sup> Raweewan Chuekittisak<sup>2/</sup>

*Received 19 Jul. 2024/Revised 5 Sep. 2024/Accepted 12 Sep. 2024*

#### ABSTRACT

Climate change, especially drought, has a significant impact on sugarcane production in Thailand, causing inconsistent and inadequate yield supply for the sugar industry's demand. Planting sugarcane varieties that can give high yields and high sugar content in areas that had drought or soil infertility is crucial for solving the problem. During the years 2013 to 2024, NSUT13-313, a high-yielding sugarcane clone, was developed. This clone was derived from a cross between Q85 and DOA U-Thong 8. Multilocation evaluation trials, including preliminary, standard, and farm trials, were conducted from 2017 to 2024, comparing NSUT13-313 to the notable varieties, DOA KhonKaen3 (DOA KK3) and LK92-11, across 23 harvesting environments in the plant cane crop and the first and second ratoon crops. NSUT13-313 exhibited high yields, surpassing DOA KK3 and LK92-11, with an average yield of 18.0 tons/rai, which was 14 and 26% higher than those of DOA KK3 (15.8 tons/rai) and LK92-11 (14.3 tons/rai), respectively. Additionally, it had an average commercial cane sugar (CCS) value of 14.2, which was comparable to those of DOA KK3 (14.2 CCS) and LK92-11 (13.8 CCS), resulting in its sugar yield of 2.51 tons CCS/rai, which was higher than those of DOA KK3 (2.22 tons CCS/rai) and LK92-11 (1.97 tons CCS/rai) by 13 and 27%, respectively. This clone is appropriate for green harvesting because of its loose-leaf sheath, which facilitates easy de-trashing. Its CCS remains high until the late harvest season. This clone also exhibited moderate resistance to red rot and wilt diseases. Therefore, NSUT13-313 will be a promising sugarcane clone with high yield and suitable for farmers' recommendation in the future.

**Keywords:** sugarcane; NSUT13-313; yield; sugar content

---

<sup>1/</sup> ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ต.สุขสำราญ อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์ 60190

<sup>1/</sup> Nakhon Sawan Field Crops Research Center, Suk Samran, Tak Fa, Nakhon Sawan 60190, Thailand

<sup>2/</sup> สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>2/</sup> Field and Renewable Energy Crops Research Institute, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

\* Corresponding author: knattapat@gmail.com

## บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโดยเฉพาะการเกิดฝนแล้งทำให้การผลิตอ้อยของไทยไม่สม่ำเสมอและไม่เพียงพอ การปลูกอ้อยพันธุ์ที่ให้ผลผลิตและความหวานสูงในสภาพภูมิอากาศแปรปรวนและสภาพดินที่แตกต่างกันเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาผลผลิตอ้อยไม่เพียงพอ ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2567 ได้พัฒนาอ้อยโคลน NSUT13-313 ซึ่งเป็นลูกผสมที่คัดเลือกได้จากพันธุ์แม่ Q85 และพันธุ์พ่อ กวก.อุทอง8 ได้ประเมินผลผลิตในขั้นการเปรียบเทียบเบื้องต้น การเปรียบเทียบมาตรฐาน และการเปรียบเทียบในไร่เกษตรกร ระหว่างปี พ.ศ. 2560-2567 รวม 23 สภาพแวดล้อม ในอ้อยปลูก ต่อ 1 และต่อ 2 เปรียบเทียบกับพันธุ์ กวก.ขอนแก่น3 และ LK92-11 พบว่า อ้อยโคลน NSUT13-313 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 18.0 ตัน/ไร่ สูงกว่า กวก.ขอนแก่น3 (15.8 ตัน/ไร่) และ LK92-11 (14.3 ตัน/ไร่) 14 และ 26% ตามลำดับ มีค่าความหวาน (ซีซีเอส) เฉลี่ยของ NSUT13-313 อยู่ที่ 14.2 ซีซีเอส ใกล้เคียงกับ กวก.ขอนแก่น3 (14.2 ซีซีเอส) และสูงกว่า LK92-11 (13.8 ซีซีเอส) ส่งผลให้ NSUT13-313 มีผลผลิตน้ำตาล 2.51 ตัน ซีซีเอส/ไร่ สูงกว่า กวก.ขอนแก่น3 (2.22 ตัน ซีซีเอส/ไร่) และ LK92-11 (1.97 ตัน ซีซีเอส/ไร่) 13 และ 27% ตามลำดับ อ้อยโคลน NSUT13-313 มีกาบใบหลวมหลุดร่วงง่าย จึงเหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวแบบอ้อยสด อีกทั้งยังสามารถรักษาค่าความหวานให้อยู่ในระดับสูงจนถึงช่วงปลายฤดูเก็บ นอกจากนี้ยังมีความต้านทานปานกลางต่อโรคเหี่ยวเน่าแดง อ้อยโคลน NSUT13-313 จัดเป็นโคลนดีเด่นมีผลผลิตสูงเหมาะสมสำหรับแนะนำเกษตรกรต่อไป

**คำสำคัญ:** อ้อย; อ้อยโคลน NSUT13-313; ผลผลิต; ความหวาน

## บทนำ

ประเทศไทยผลิตอ้อยเป็นอันดับ 4 ของโลก และส่งออกน้ำตาลอันดับ 2 ของโลก อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลจึงมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ สร้างรายได้จากการส่งออกกว่า 1 แสนล้านบาทต่อปี คิดเป็น 9% ของ GDP ภาคเกษตร สร้างงานให้กับชาวไร่อ้อยกว่า 2 แสนราย และสร้างงานให้ประชากรกว่า 1 ล้านคนในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง (ศูนย์วิจัย Krungthai COMPASS, 2567; สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2566; Aung, 2021)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยมีความรุนแรงมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้ปริมาณน้ำฝนลดลง และการกระจายตัวของฝนไม่สม่ำเสมอ มีผลต่อการปลูกอ้อยของไทยซึ่งมากกว่า 90% อาศัยน้ำฝน (ศูนย์วิจัย Krungthai COMPASS, 2567) การเปลี่ยนแปลงของฝนใน พ.ศ. 2566/67 ทำให้ผลผลิตต่อไร่ ค่าความหวาน และผลผลิตน้ำตาลต่อตันอ้อย ลดลงกว่าปี พ.ศ. 2565/66 เนื่องจากฝนทิ้งช่วงในช่วงต้นปี พ.ศ. 2566 อ้อยบางส่วนจึงเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ โดยเฉพาะพื้นที่ภาคกลางและภาคเหนือมีปริมาณผลผลิตอ้อยลดลงค่อนข้างมาก เนื่องจากภาวะฝนแล้งที่รุนแรงกว่าภูมิภาคอื่น ๆ ทำให้การผลิตอ้อยของไทยมีความผันผวน (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2567; Sowcharoensuk, 2023; Dechwan, 2024) นอกจากนี้สภาพดินและความอุดมสมบูรณ์ของดินยังมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตอ้อยลดลงด้วย พื้นที่ปลูกอ้อยในดินร่วน ร่วนเหนียว และดินเหนียว ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่ในเขตภาคเหนือ และภาคกลาง ซึ่งมีสภาพของดินที่สามารถให้ผลผลิตอ้อยค่อนข้างต่ำ พบอยู่ในบริเวณพื้นที่ลุ่มและดอน ที่มีการระบายน้ำดีปานกลางถึงดีมาก มีสภาพชื้นได้ของน้ำปานกลางถึงเร็วมาก ทำให้การเก็บกักน้ำในดินได้

น้อย มีโอกาสที่พืชจะเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในดิน บางช่วงของฤดูแล้ง (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.) หากกระทบกับสภาพแล้ง หรือฝนทิ้งช่วงจะทำให้ย่อยแตกกอได้น้อย แคระแกรน และให้ผลผลิตต่ำ การเพิ่มพื้นที่ปลูกทำได้ยาก ดังนั้น การเพิ่มผลผลิตย่อยจึงต้องใช้วิธีการจัดการดินและน้ำที่มีประสิทธิภาพสูง และใช้พันธุ์อ้อยที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและสภาพดิน เพื่อยกระดับผลผลิต ลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วย และสร้างผลตอบแทนที่สูงขึ้น (Lakshmanan et al., 2022) การปรับปรุงพันธุ์อ้อยเป็นวิธีการที่ใช้ในการเพิ่มการผลิตอ้อย ทำให้ได้ผลผลิตต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น ด้านทานต่อโรคและแมลง เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม

กรมวิชาการเกษตรได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาพันธุ์อ้อยอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้พันธุ์ที่มีผลผลิตและความหวานสูง มีการเจริญเติบโตและปรับตัวได้ดี เหมาะสมกับสภาพฝนและสภาพพื้นที่ปลูก (วีระพล และคณะ, 2554; วีระพล, 2558) กว.ขอนแก่น3 เหมาะกับการปลูกในพื้นที่ดินร่วนปนทราย โดยเฉพาะในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พันธุ์ กว.อุททอง12 ซึ่งเหมาะกับการปลูกในเขตชลประทาน พันธุ์ กว.อุททอง16 ซึ่งเหมาะกับการปลูกปลายฝนใน จ.บุรีรัมย์ อุดรธานี และนครสวรรค์ และในพื้นที่ปลูกต้นฝน จ.กาญจนบุรี สุพรรณบุรี ลพบุรี และพื้นที่อื่นที่มีสภาพดินที่คล้ายคลึงกัน และ พันธุ์ กว.อุททอง17 ซึ่งเหมาะกับการปลูกในดินร่วนปนทราย เป็นต้น (สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน, ม.ป.ป.) ส่วนในพื้นที่ดินร่วน ร่วนเหนียว และดินเหนียว ครอบคลุมพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่ในเขตภาคเหนือ และภาคกลาง และพื้นที่บางส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพันธุ์ให้เลือกค่อนข้างน้อย ประกอบกับพันธุ์อ้อยที่เกษตรกรนิยมปลูกมากกว่า 96% คือ กว.ขอนแก่น3 ซึ่งมีแนวโน้มจะเป็นการปลูกอ้อยเพียงพันธุ์เดียว จึงได้ปรับปรุงพันธุ์อ้อยเพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณภาพความหวานสูง เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมดินเหนียว ร่วนเหนียว

และดินเหนียว จนได้อ้อยโคลน NSUT13-313 ช่วยให้มีพันธุ์อ้อยให้เลือกปลูกได้หลากหลายขึ้น รวมทั้งลดความเสี่ยงทางพันธุกรรม (genetic vulnerability) จากการเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูจากการใช้พันธุ์เชิงเดี่ยว

## การปรับปรุงพันธุ์อ้อยโคลน NSUT13-313

การปรับปรุงพันธุ์อ้อยโคลนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาพันธุ์อ้อยให้มีผลผลิตและความหวานสูง มีการเจริญเติบโตและปรับตัวได้ดีทั้งในสภาพที่ต้องอาศัยน้ำฝน และสภาพชลประทานมีน้ำเสริม และเหมาะสมกับพื้นที่ปลูกอ้อยที่มีดินชนิดต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินดังนี้

### 1. การผสมพันธุ์

ดำเนินการที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี ในปี พ.ศ. 2556 โดยผสมพันธุ์แบบ biparental cross โคลน NSUT13-313 คัดเลือกได้จากกลุ่มสมระหว่าง Q85 x กว.อุททอง8 ซึ่งได้ลูกผสมจำนวน 176 กล้า (อุดมศักดิ์ และมานิตย์, 2558)

### 2. การคัดเลือกพันธุ์

**2.1 การคัดเลือกขั้นที่ 1** ดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2557-2558 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ นครสวรรค์ คัดเลือกแบบรายต้น (individual selection) คัดเลือกโดยพิจารณาจากผลผลิตต่อกอ ความสูงจำนวนลำต่อกอ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ (ขนาดลำ) และค่าปริกซ์ การออกดอก ไม่แสดงอาการของโรคใบขาวและเส้ดำ ไม่มีไส้กลาง หรือหากมี ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 มม. คัดเลือกลูกผสมที่ได้จาก Q85 กับ กว. อุททอง8 ไว้จำนวน 10 โคลน (นัฐภัทร์ และคณะ, 2558)

**2.2 การคัดเลือกขั้นที่ 2** ดำเนินการในปี พ.ศ. 2558-2560 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ นครสวรรค์ ปลูกโคลนอ้อยที่ได้จากการคัดเลือกขั้นที่ 1 ใช้พันธุ์ กว.

ขอนแก่น 3 LK92-11 และ กว.อุทง 12 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ ในอ้อยปลูกและต่อ 1 คัดเลือกโคลนที่ให้ผลผลิตอ้อยและค่าความหวานสูง มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีเช่นเดียวกับการคัดเลือกขั้นที่ 1 คัดเลือกลูกผสมที่ได้จาก Q85 x กว.อุทง 8 ไว้จำนวน 2 โคลน อ้อยโคลน NSUT13-313 มีความสูง 363 ซม. ผลผลิตอ้อย 192.5 กก./แถว สูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ มีค่าความหวานสูงกว่าเล็กน้อย 20.2 °Brix แต่ขนาดลำ 2.73 ซม. เล็กกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ (นัฐภัทร์ และคณะ, 2560)

### 3. การประเมินพันธุ์

**3.1 การเปรียบเทียบเบื้องต้น** ดำเนินการในปี พ.ศ. 2560-2562 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ปลูกโคลนอ้อยที่ได้จากการคัดเลือกพันธุ์ ใช้พันธุ์ กว.ขอนแก่น 3 และ LK92-11 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ ในอ้อยปลูก และต่อ 1 รวม 2 สภาพแวดล้อม ตามคู่มือการบันทึกข้อมูลงานวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน (สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน, 2562) ได้คัดเลือกอ้อยโคลนดีเด่นจำนวน 8 โคลน ที่มีผลผลิต ลักษณะทางการเกษตรและคุณภาพที่ดี อ้อยโคลน NSUT13-313 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 22.6 ตัน/ไร่ สูงกว่าพันธุ์ กว.ขอนแก่น 3 และ LK92-11 คิดเป็น 12 และ 10% ตามลำดับ มีค่าความหวาน 14.3 ซีซีเอส ไม่แตกต่างจากพันธุ์ กว.ขอนแก่น 3 แต่น้อยกว่าพันธุ์ LK92-11 และมีผลผลิตน้ำตาล 3.07 ตันซีซีเอส/ไร่ สูงกว่าพันธุ์ กว.ขอนแก่น 3) แต่ไม่แตกต่างจากพันธุ์ LK92-11 (นัฐภัทร์ และคณะ, 2562)

**3.2 การเปรียบเทียบมาตรฐาน** ดำเนินการในปี พ.ศ. 2563-2565 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี ศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา และแปลงเกษตรกร ตำบลแพรงศรีราชา อำเภอสรรคบุรี จังหวัดชัยนาท ในอ้อยปลูก ต่อ 1 และต่อ 2 รวม 13

สภาพแวดล้อม พบว่า อ้อยโคลน NSUT13-313 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 18.3 ตัน/ไร่ สูงกว่าพันธุ์ กว.ขอนแก่น 3 (15.9 ตัน/ไร่) และ LK92-11 (14.2 ตัน/ไร่) 15 และ 29% ตามลำดับ มีความหวาน 14.4 ซีซีเอส เท่ากับพันธุ์ กว.ขอนแก่น 3 แต่สูงกว่าพันธุ์ LK92-11 (13.9 ซีซีเอส) 4% และมีผลผลิตน้ำตาล 2.63 ตันซีซีเอส/ไร่ สูงกว่าพันธุ์ กว.ขอนแก่น 3 (2.30 ตันซีซีเอส/ไร่) และ LK92-11 (1.97 ตันซีซีเอส/ไร่) 14 และ 33% ตามลำดับ (นัฐภัทร์ และคณะ, 2565)

### 3.3 การเปรียบเทียบในไร่เกษตรกร

ดำเนินการในปี พ.ศ. 2565-2567 ที่ไร่เกษตรกร จ.นครสวรรค์ กำแพงเพชร นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และปี พ.ศ. 2566-67 ที่โรงงานน้ำตาลรวมผล และเกษตรไทย จ.นครสวรรค์ และโรงงานน้ำตาลและอ้อยตะวันออก จ.สระแก้ว รวม 8 สภาพแวดล้อม พบว่า อ้อยโคลน NSUT13-313 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 17.4 ตัน/ไร่ สูงกว่าพันธุ์ กว.ขอนแก่น 3 (15.7 ตัน/ไร่) และ LK92-11 (13.1 ตัน/ไร่) 10 และ 32% ตามลำดับ มีค่าความหวาน 13.1 ซีซีเอส ไม่แตกต่างจากพันธุ์ กว.ขอนแก่น 3 และ LK92-11 ที่ให้ความหวาน 13.2 ซีซีเอส ผลผลิตน้ำตาล 2.20 ตันซีซีเอส/ไร่ สูงกว่าพันธุ์ กว.ขอนแก่น 3 (1.99 ตันซีซีเอส/ไร่) และพันธุ์ LK92-11 (1.66 ตันซีซีเอส/ไร่) 10 และ 32% ตามลำดับ (นัฐภัทร์ และคณะ, 2566 และ 2567) และผลการสำรวจความพึงพอใจของเกษตรกรในปี พ.ศ. 2567 ที่มีต่ออ้อยโคลนนี้ พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่พึงใจมากถึงมากที่สุด

เมื่อรวบรวมข้อมูลการประเมินผลผลิตขั้น การเปรียบเทียบเบื้องต้น การเปรียบเทียบมาตรฐาน การเปรียบเทียบในไร่เกษตรกร ในอ้อยปลูก ต่อ 1 และต่อ 2 ข้างต้น รวมทั้งสิ้น จำนวน 23 สภาพแวดล้อม นำมาวิเคราะห์รวม พบว่า โคลน NSUT13-313 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 18.0 ตัน/ไร่ สูงกว่าพันธุ์ กว.ขอนแก่น 3 (15.8 ตัน/ไร่) และ LK92-11 (14.3 ตัน/ไร่) 14 และ

26% ตามลำดับ และมีค่าความหวานเฉลี่ย 14.1 ซีซีเอส ไม่แตกต่างจากพันธุ์ กวก.ขอนแก่น3 (14.2 ซีซีเอส) และ LK92-11 (13.8 ซีซีเอส) ส่งผลให้โคลน NSUT13-313 มีผลผลิตน้ำตาล 2.51 ตันซีซีเอส/ไร่ สูงกว่าพันธุ์ กวก.ขอนแก่น3 (2.22 ตันซีซีเอส/ไร่) และ LK92-11 (1.97 ตันซีซีเอส/ไร่) 13 และ 27% ตามลำดับ (Table 1)

การประเมินเสถียรภาพของพันธุ์ จึงนำมาใช้เพื่อบ่งบอกความสามารถของพันธุ์ในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ โดยใช้หลักการของ Eberhart and Russel (1966) พันธุ์ที่จัดว่า มีเสถียรภาพคือ พันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยของผลผลิตสูง ค่าสัมประสิทธิ์ของรีเกรสชัน (b) มีค่า 1 หรือไม่แตกต่างจาก 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าเบี่ยงเบนจากรีเกรสชัน ( $S^2_d$ ) มีค่า 0 หรือไม่แตกต่างจาก 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งในการเปรียบเทียบในไร่นาเกษตรกร ปี พ.ศ. 2565-2567 ในอ้อยปลูกรวม 6 สภาพแวดล้อม ได้แก่ ไร่นาเกษตรกร จ.นครสวรรค์ กำแพงเพชร และชัยภูมิ ไร่บริษัทเกษตรไทย อินเตอร์เนชั่นแนล ชูการ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) สาขา 3 (รวมผล) และบริษัทเกษตรไทย อินเตอร์เนชั่นแนล ชูการ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) จ.นครสวรรค์ ไร่บริษัทน้ำตาลและอ้อยตะวันออก จำกัด จ.สระแก้ว พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมในลักษณะผลผลิตอ้อย และผลผลิตน้ำตาล อ้อยโคลน NSUT13-313 มีค่าสัมประสิทธิ์ของรีเกรสชันในลักษณะผลผลิต และผลผลิตน้ำตาลมีค่า 1.06 และ 1.01 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจาก 1 และมีค่าเบี่ยงเบนจากรีเกรสชันในลักษณะผลผลิต 2.04 ซึ่งไม่แตกต่างจาก 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าในลักษณะผลผลิตน้ำตาลมีค่าเบี่ยงเบนจากรีเกรสชัน 0.09 ซึ่งแตกต่างจาก 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับพันธุ์ กวก.ขอนแก่น3 จึงแสดงให้เห็นว่า อ้อยโคลน NSUT13-313 จัดเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพของผลผลิตอ้อย สามารถ

ปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้กว้าง (Table 2)

#### 4. การสะสมน้ำตาลในอ้อย

ดำเนินการในปี พ.ศ. 2565-2567 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นาครสวรรค์ วัดการสะสมน้ำตาลในอ้อยปลูกที่อายุ 8 9 10 11 และ 12 เดือน หลังปลูก และในอ้อยต่อ 1 ที่อายุ 8 9 10 11 12 13 และ 14 เดือน หลังเก็บเกี่ยวอ้อยปลูก พบว่า การสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามอายุในอัตราที่ต่างกัน โดยมีความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล (Figure 1) ในอ้อยปลูก และต่อ 1 ในช่วงต้นฤดูหีบอ้อย (เดือน พ.ย.-ธ.ค.) หรืออายุประมาณ 11-12 เดือน โคลน NSUT13-313 มีการสะสมน้ำตาลใกล้เคียงกับพันธุ์ กวก.ขอนแก่น3 และค่าซีซีเอสของโคลน NSUT13-313 ยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ไปจนถึงช่วงปลายฤดูหีบอ้อย (เดือน มี.ค.) หรืออายุประมาณ 14 เดือน (Table 3) (การิตา และคณะ, 2566 และ 2567) ดังนั้น โคลน NSUT13-313 จึงสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่กลางฤดู (ม.ค.-ก.พ.) จนถึงปลายฤดูหีบอ้อย (มี.ค.) โดยค่าซีซีเอสยังคงระดับสูง อย่างไรก็ตาม การเก็บเกี่ยวในช่วงปลายฤดูหีบอ้อยควรพิจารณาในส่วนของผลผลิตอ้อยรวมด้วย เนื่องจากในช่วงดังกล่าวเป็นช่วงฤดูแล้ง สภาพอากาศมีความชื้นต่ำ และอุณหภูมิสูง ซึ่งส่งผลให้ลำอ้อยสูญเสียความชื้น และทำให้น้ำหนักลดลงได้

#### 5. การแสดงออกของยีนและลักษณะทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทนแล้ง

วีรกรณ์ และคณะ (2566 และ 2567) ศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการทนแล้งภายใต้สภาพโรงเรือน เมื่ออ้อยอายุ 60 วัน จำลองสภาวะแล้งโดยงดให้น้ำจนความชื้นในดินลดลงจนถึงระดับ 1/3 ของน้ำใช้ประโยชน์ได้ (available water, AW) เป็นเวลา 14 วัน พร้อมทั้งศึกษาการคืนสภาพ (recovery) ด้วยการรดน้ำให้ดินมีความชื้นที่ระดับ FC

**Table 1** Cane yield (t/rai), CCS and sugar yield (t CCS/rai) of NSUT13-313, DOA KK3 and LK92-11 in plant cane and two ratoon crops from yield evaluation trials in 2017-2024 (Nattapat et al., 2562; 2565; 2566 and 2567 in Thai)

| Clone/<br>Variety                                                                                           | Preliminary trial<br>(2 environments) |                                            | Standard trial<br>(13 environments) |                                             |                                         |                             | Farm trial<br>(8 environments)          |                             |                                         |                                         | Mean |                | Mean <sup>9/</sup> | Relative (%) |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------|----------------|--------------------|--------------|--|
|                                                                                                             | Plant<br>cane                         | 1 <sup>st</sup> Ratoon                     | Plant<br>cane <sup>1/</sup>         | 1 <sup>st</sup><br>Ratoon <sup>2/</sup>     | 2 <sup>nd</sup><br>Ratoon <sup>3/</sup> | Plant<br>cane <sup>4/</sup> | 1 <sup>st</sup><br>Ratoon <sup>5/</sup> | Plant<br>cane <sup>6/</sup> | 1 <sup>st</sup><br>Ratoon <sup>7/</sup> | 2 <sup>nd</sup><br>Ratoon <sup>8/</sup> | DOA  | LK92-11<br>KK3 |                    |              |  |
| Cane yield (t/rai)                                                                                          |                                       |                                            |                                     |                                             |                                         |                             |                                         |                             |                                         |                                         |      |                |                    |              |  |
| NSUT13-313                                                                                                  | 30.1 a                                | 15.0                                       | 19.8 a                              | 17.8 a                                      | 17.4 a                                  | 18.0 a                      | 15.5 a                                  | 19.8                        | 16.9                                    | 17.4                                    | 18.0 | 114            | 126                |              |  |
| DOA KK3                                                                                                     | 26.6 b                                | 13.7                                       | 17.0 ab                             | 15.6 b                                      | 15.1 b                                  | 17.1 a                      | 11.5 b                                  | 17.8                        | 14.4                                    | 15.1                                    | 15.8 | 100            |                    |              |  |
| LK92-11                                                                                                     | 24.9 b                                | 16.2                                       | 13.5 b                              | 14.9 b                                      | 14.1 b                                  | 13.2 b                      | 12.6 b                                  | 14.3                        | 14.5                                    | 14.1                                    | 14.3 |                | 100                |              |  |
| CV (%)                                                                                                      | 6.63                                  | 15.04                                      | 16.7                                | 13.7                                        | 11.5                                    | 15.4                        | 17.3                                    | -                           | -                                       | -                                       | -    |                |                    |              |  |
| CCS                                                                                                         |                                       |                                            |                                     |                                             |                                         |                             |                                         |                             |                                         |                                         |      |                |                    |              |  |
| NSUT13-313                                                                                                  | 12.2 b                                | 16.4 a                                     | 13.7                                | 15.4 a                                      | 14.0 ab                                 | 14.1                        | 13.4                                    | 13.2                        | 15.0                                    | 14.0                                    | 14.1 | 100            | 102                |              |  |
| DOA KK3                                                                                                     | 13.2 ab                               | 15.2 b                                     | 13.7                                | 15.0 a                                      | 14.5 a                                  | 14.4                        | 13.6                                    | 13.3                        | 14.7                                    | 14.5                                    | 14.2 | 100            |                    |              |  |
| LK92-11                                                                                                     | 13.9 a                                | 16.3 a                                     | 13.5                                | 14.5 b                                      | 13.5 b                                  | 13.8                        | 14.0                                    | 13.3                        | 14.6                                    | 13.5                                    | 13.8 |                | 100                |              |  |
| CV (%)                                                                                                      | 7.28                                  | 4.88                                       | 7.94                                | 4.95                                        | 6.28                                    | 8.04                        | 10.3                                    | -                           | -                                       | -                                       | -    |                |                    |              |  |
| Sugar yield (t CCS/rai)                                                                                     |                                       |                                            |                                     |                                             |                                         |                             |                                         |                             |                                         |                                         |      |                |                    |              |  |
| NSUT13-313                                                                                                  | 3.68                                  | 2.46 ab                                    | 2.71                                | 2.74                                        | 2.44                                    | 2.64                        | 2.05                                    | 2.56                        | 2.53                                    | 2.44                                    | 2.51 | 113            | 127                |              |  |
| DOA KK3                                                                                                     | 3.50                                  | 2.09 b                                     | 2.36                                | 2.36                                        | 2.19                                    | 2.40                        | 1.56                                    | 2.34                        | 2.13                                    | 2.19                                    | 2.22 | 100            |                    |              |  |
| LK92-11                                                                                                     | 3.47                                  | 2.65 a                                     | 1.83                                | 2.18                                        | 1.91                                    | 1.75                        | 1.77                                    | 1.87                        | 2.14                                    | 1.91                                    | 1.97 |                | 100                |              |  |
| CV (%)                                                                                                      | 8.16                                  | 15.8                                       | 20.6                                | 14.3                                        | 13.3                                    | 17.1                        | 22.3                                    | -                           | -                                       | -                                       | -    |                |                    |              |  |
| Means in the same column followed by common letters are not significantly different at the 5% level by DMRT |                                       |                                            |                                     |                                             |                                         |                             |                                         |                             |                                         |                                         |      |                |                    |              |  |
| <sup>1/</sup> Averaged from 5 environments                                                                  |                                       | <sup>2/</sup> Averaged from 5 environments |                                     | <sup>3/</sup> Averaged from 3 environments  |                                         |                             |                                         |                             |                                         |                                         |      |                |                    |              |  |
| <sup>4/</sup> Averaged from 6 environments                                                                  |                                       | <sup>5/</sup> Averaged from 2 environments |                                     | <sup>6/</sup> Averaged from 12 environments |                                         |                             |                                         |                             |                                         |                                         |      |                |                    |              |  |
| <sup>7/</sup> Averaged from 8 environments                                                                  |                                       | <sup>8/</sup> Averaged from 3 environments |                                     | <sup>9/</sup> Averaged from 23 environments |                                         |                             |                                         |                             |                                         |                                         |      |                |                    |              |  |

Means in the same column followed by common letters are not significantly different at the 5% level by DMRT

- <sup>1/</sup> Averaged from 5 environments      <sup>2/</sup> Averaged from 5 environments      <sup>3/</sup> Averaged from 3 environments  
<sup>4/</sup> Averaged from 6 environments      <sup>5/</sup> Averaged from 2 environments      <sup>6/</sup> Averaged from 12 environments  
<sup>7/</sup> Averaged from 8 environments      <sup>8/</sup> Averaged from 3 environments      <sup>9/</sup> Averaged from 23 environments

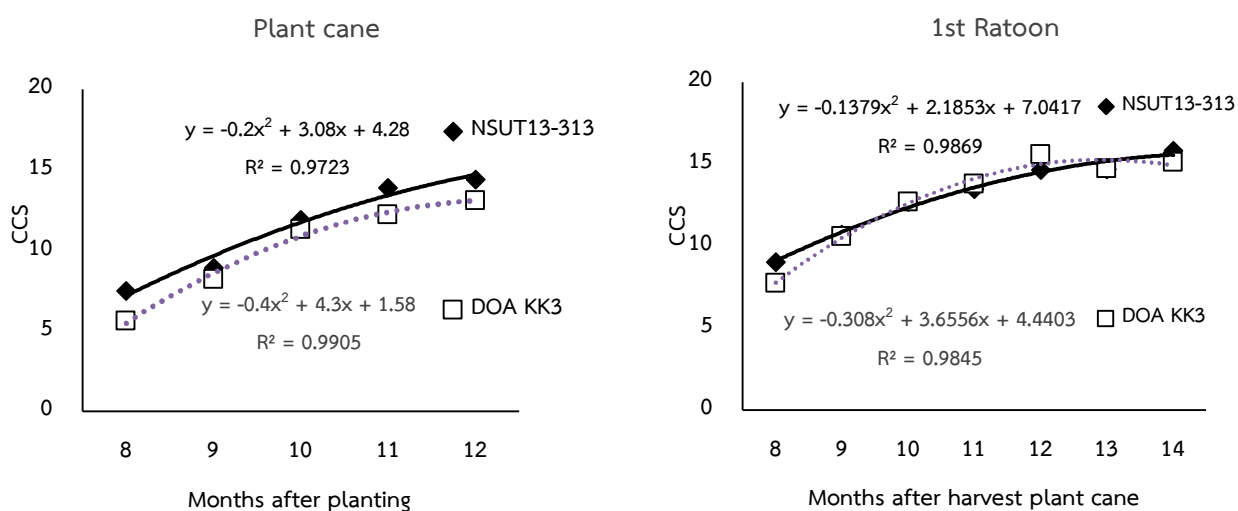


เป็นเวลา 30 วัน พบว่า การแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการทนแล้ง ได้แก่ trehalose phosphate synthase (TPS) และ sugar transporters (PST3) ในสถานะแล้ง อ้อยโคลน NSUT13-313 มีความทนแล้งในระดับปานกลาง เนื่องจากการแสดงของยีน TPS และ PST3 ในกลุ่มสารออสโมโพรเทคแทนต์ ซึ่งอยู่ในกลุ่มของกรดอะมิโนที่ถูกสร้างขึ้นมาจากการดกลูตามิกที่ทำหน้าที่ในการช่วยปรับสมดุลของน้ำและแรงดันออสโมติกภายในเซลล์เพิ่มขึ้นจากกลุ่มที่ไม่ขาดน้ำ 1-3 เท่า ซึ่งเทียบเท่ากับอ้อยพันธุ์ กวก. ขอนแก่น 3 แต่มีระดับสูงกว่าพันธุ์ LK92-11 (Figure 2)

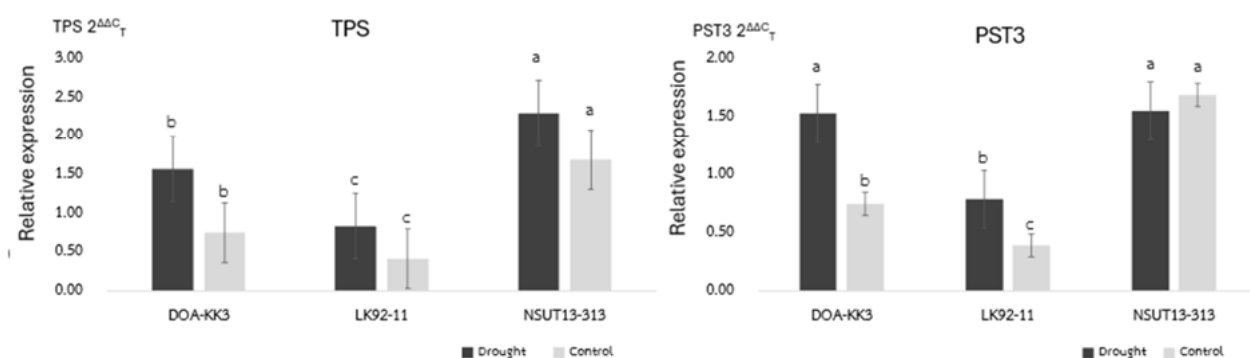
พืชทนแล้งจะสามารถรักษาสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ได้ดีกว่าพืชที่ไม่ทนแล้ง กิจกรรมของเอนไซม์ต้านออกซิเดชันในสถานะขาดน้ำ ได้แก่ ascorbate peroxidase (APX) และ guaiacol peroxidase (GPX) พืชที่ทนทานเกิดการรั่วของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์น้อย สุจิรัตน์ และคณะ (2564) พบว่า อ้อยโคลน NSUT13-313 สร้างเอนไซม์ APX และ GPX เช่นเดียวกับอ้อยพันธุ์ กวก. ขอนแก่น 3 และ

LK92-11 (Figure 3) มีแนวโน้มเป็นพันธุ์ทนแล้ง เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีค่าการรั่วของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์น้อย ในสภาวะขาดน้ำทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเซลล์เพิ่มขึ้น อ้อยโคลน NSUT13-313 อ้อยพันธุ์ LK92-11 และ กวก. ขอนแก่น 3 มีค่าเฉลี่ยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มใกล้เคียงกัน (Figure 4) ในอ้อยโคลน NSTU13-313 อ้อยพันธุ์ กวก. ขอนแก่น 3 และ LK92-11 มีค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นในสภาวะขาดน้ำแต่ต่ำกว่าพันธุ์ กวก. ขอนแก่น 3 (Figure 4) โดยพืชเมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำ จะส่งผลให้มีการสะสมปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น (วีรกรณ์ และคณะ, 2566 และ 2567)

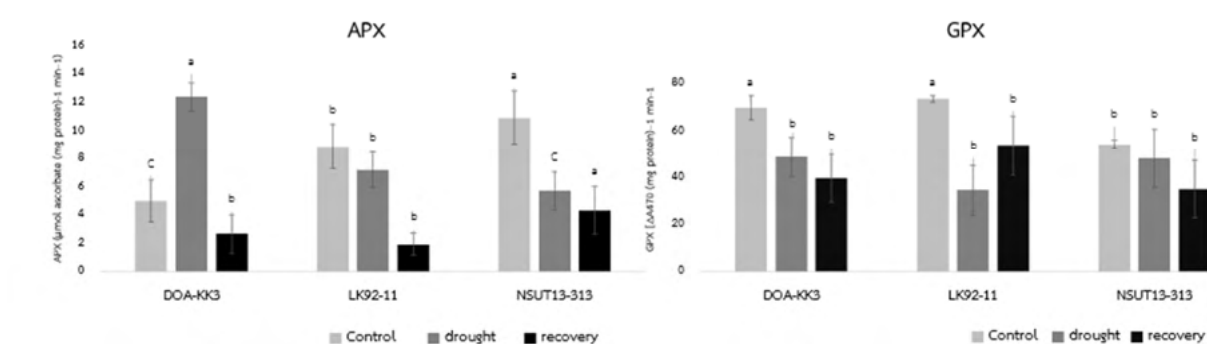
ดังนั้น เมื่อพิจารณาการแสดงออกของยีน TPS และ PST3 กิจกรรมของเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน APX และ GPX ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณโปรตีน และการรั่วของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ สามารถสรุปได้ว่า อ้อยโคลน NSUT13-313 มีความทนแล้งในระดับปานกลาง



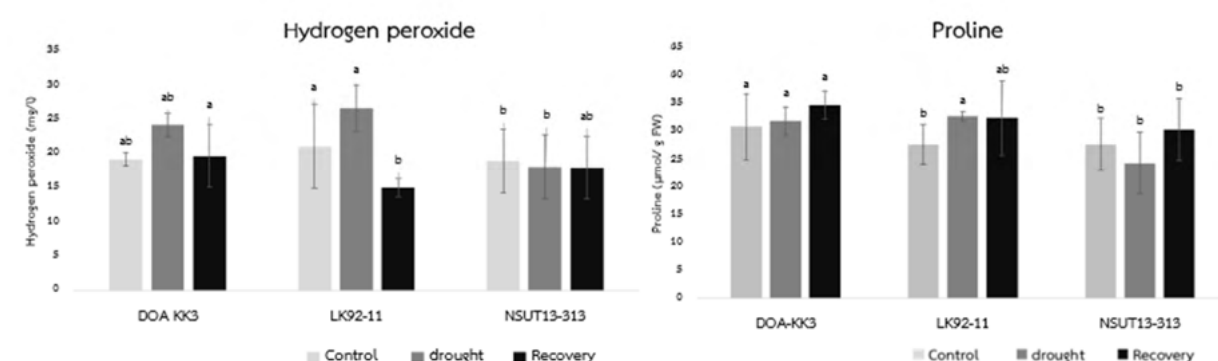
**Figure 1** Sugar accumulation of sugarcane clone/variety NSUT13-313 and DOA KK3 from 8 months after planting or from 8 months after harvesting plant cane (in 1<sup>st</sup> ratoon crop) (Karita et al., 2566 and 2567 in Thai)



**Figure 2** Trehalose phosphate synthase (TPS) and sugar transporters (PST3) drought tolerance related genes expression of NSUT13-313, DOA KK3 and LK92-44 at Khon Kaen Field Crops Research Center during 2022-2024 (Weerakorn et al., 2566 and 2567 in Thai)



**Figure 3** Enzyme activities of Ascorbate Peroxidase (APX) and guaiacol peroxidase (GPX) related to drought tolerance genes expression of NSUT13-313, DOA KK3 and LK92-44 at Khon Kaen Field Crops Research Center during 2022-2024 (Weerakorn et al., 2566 and 2567 in Thai)



**Figure 4** Hydrogen peroxide and Proline related to drought tolerance genes expression of NSUT13-313, DOA KK3 and LK92-44 at Khon Kaen Field Crops Research Center during 2022-2024 (Weerakorn et al., 2566 and 2567 in Thai)

## 6. การศึกษาปฏิกิริยาอ้อยต่อโรค

โรคเหี่ยวเน่าแดง ดำเนินการในสภาพการปลูกเชื้อ ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ในปี พ.ศ. 2560-2561 โดยการปลูกเชื้อสาเหตุของโรค คือ *Colletotrichum falcatum* และ *Fusarium moniliforme* เมื่ออ้อยอายุ 6 เดือน ด้วยวิธี wound plug method หลังปลูกเชื้อ 2 เดือน ผลอ้อยตามยาวและบันทึกจำนวนปล้องที่มีการลุกลามของเชื้อในลำอ้อย ประเมินปฏิกิริยาจากการลุกลาม และจำแนกระดับความรุนแรง พบว่า อ้อยโคลน NSUT13-313 มีความต้านทานปานกลางต่อโรคเหี่ยวเน่าแดง ส่วนพันธุ์ LK92-11 และ กวก.ขอนแก่น 3 มีความต้านทาน (ศิริไล และคณะ, 2562)

ส่วนโรคเส้ดำ ดำเนินการในปี พ.ศ. 2561-2562 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ในสภาพแปลงทดลองในอ้อยปลูก และต่อ 1 ปลูกเชื้อ *Ustilago scitaminea* โดยวิธีแช่ท่อนพันธุ์ในสปอร์แขวนลอย ความเข้มข้น  $5 \times 10^6$  สปอร์/มล. นาน 30 นาที บ่มไว้

1 คืน จากนั้นนำไปปลูกประเมินการเป็นโรค พบว่า อ้อยโคลน NSUT13-313 มีความอ่อนแอต่อโรคเส้ดำ (Table 4) ในขณะที่พันธุ์ LK92-11 มีความอ่อนแอปานกลาง (ศิริไล และคณะ, 2563)

ดังนั้น อ้อยโคลน NSUT13-313 จัดว่ามีความต้านทานปานกลางต่อโรคเหี่ยวเน่าแดง ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของการปลูกอ้อยในเขตนี้ และจะต้องมีการแช่ท่อนพันธุ์ในสารกำจัดโรคพืชเพื่อป้องกันการเกิดโรคเส้ดำก่อนปลูกเสมอ

## 7. ลักษณะทางการเกษตรและพฤกษศาสตร์

ลักษณะทางการเกษตรและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ บันทึกตามคู่มือการบันทึกข้อมูลงานวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน (สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน, 2562) ดำเนินการในขั้นตอนการเปรียบเทียบมาตรฐาน ตามระเบียบตรวจสอบพันธุ์พืชใหม่ของอ้อย (สำนักคุ้มครองพันธุ์พืช, ม.ป.ป.)

**Table 4** Agronomic attribute of NSUT13-313 and reaction to diseases under artificial inoculation compared to those of LK92-11 and DOA KK3

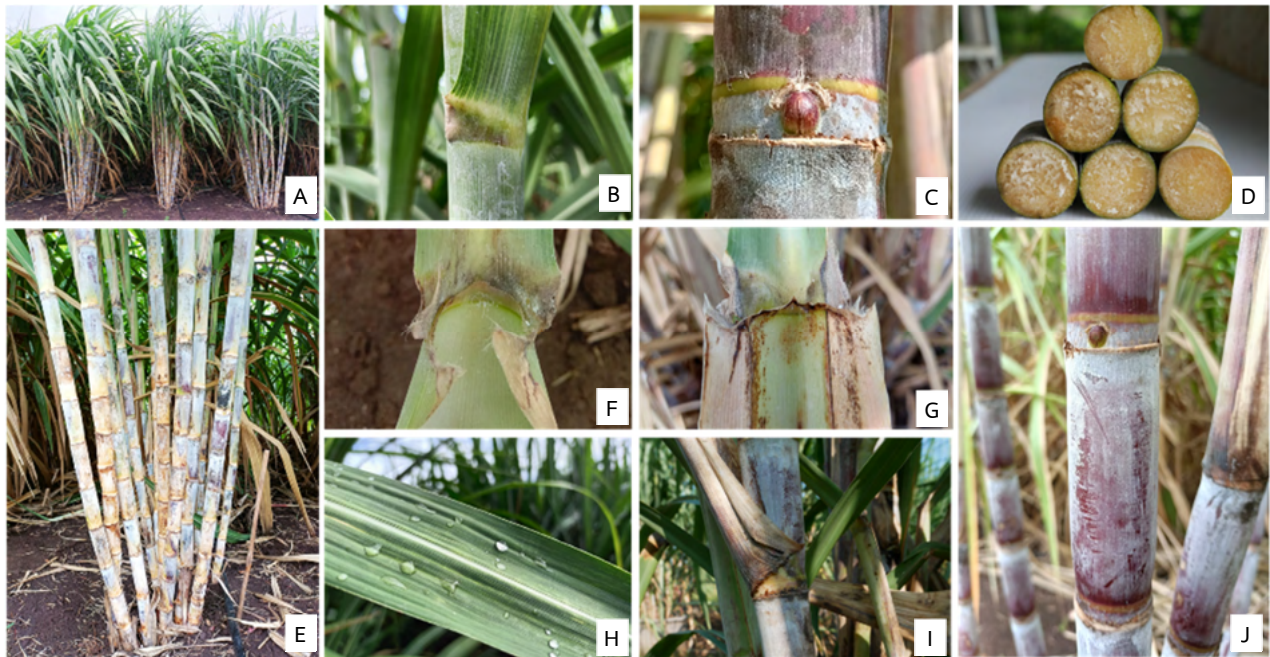
| Agronomic attribute <sup>1/</sup>                   | Clone/Variety       |                        |            |
|-----------------------------------------------------|---------------------|------------------------|------------|
|                                                     | NSUT13-313          | LK92-11                | DOA KK3    |
| Plant height (cm) <sup>1/</sup>                     | 333                 | 312                    | 295        |
| Stalk diameter (cm) <sup>1/</sup>                   | 2.90                | 2.71                   | 2.79       |
| Number of stalk/stool <sup>1/</sup>                 | 6                   | 7                      | 6          |
| Number of internode/stalk <sup>1/</sup>             | 26.7                | 26.6                   | 27.4       |
| Internode length (cm) <sup>1/</sup>                 | 10.3                | 8.27                   | 9.85       |
| Yield (ton/rai) <sup>1/</sup>                       | 18.0                | 14.3                   | 15.8       |
| Sugar yield (ton CCS/rai) <sup>1/</sup>             | 2.51                | 1.97                   | 2.22       |
| CCS <sup>1/</sup>                                   | 14.1                | 13.8                   | 14.2       |
| Reaction to red rot and wilt diseases <sup>2/</sup> | Moderate resistance | Resistance             | Resistance |
| Reaction to smut diseases <sup>3/</sup>             | Susceptible         | Moderately susceptible | -          |

<sup>1/</sup> Mean from preliminary trial, standard trial, and farm trial in totally 23 environments (Plant cane in 12 environments, 1<sup>st</sup> Ratoon in 8 environments, 2<sup>nd</sup> ratoon in 3 environments)

<sup>2/</sup> Siwilai et al. (2562) (in Thai) <sup>3/</sup> Siwilai et al. (2563) (in Thai)

อ้อยโคลน NSUT13-313 มีความยาวลำ 333 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางลำ 2.90 ซม. จำนวน 6 ลำ/กอ จำนวน 26.7 ปล้อง/ลำ ความยาวของปล้อง 10.3 ซม. (Table 4) ทรงกอตั้งตรง กาบใบกับลำต้น หลวมปานกลาง สีของยอดอ้อยสีเขียว ลักษณะปล้อง ทรงกระบอก ลักษณะปล้องตัดขวางกลม การเรียงตัวของปล้องค่อนข้างตรง มีไขที่ปล้องปานกลาง สีปล้องเมื่อต้องแสงสีม่วงเหลืองเขียว และเมื่อไม่ต้องแสงเป็นเหลืองเหลืองเขียว มีร่องเหนือตาสั้น ไม่มีรอยแตกของปล้อง สีของวงเจริญเมื่อต้องแสงสีเขียว วงเจริญเรียบเท่ากับปล้อง (Figure 5) การเรียงตัว

ของจุดกำเนิดรากไม่เป็นระเบียบ ความกว้างของวงรากปานกลาง มีวงไข ตาลักษณะนูนรูปกลม ตำแหน่งยอดตาเท่ากับวงเจริญ ไม่มีขนที่ตา ทรงใบส่วนยอดชันตรง ปลายใบโค้งลง ขนที่ขอบใบมีน้อย เส้นใบตรงกลางโป่งออก ปลายเรียวแหลมทั้ง 2 ข้าง หูใบขอบด้านนอกสามเหลี่ยมขอบตรงมุมฉาก หูใบขอบด้านในใบหอกสั้น คอใบสามเหลี่ยมชายธง สีของคอใบสีเขียวอมน้ำตาล ไม่มีขนที่กาบใบ อ้อยโคลน NSUT13-313 มีกาบใบหลวม หลุดร่วงง่าย จึงเหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวแบบอ้อยสด



**Figure 5** Botanical characteristics of sugarcane clone NSUT13-313 (A-J)

- |                            |                        |                                  |
|----------------------------|------------------------|----------------------------------|
| A: Stool growth habit      | B: Dewlap shape        | C: Bud shape and tip position    |
| D: Internode cross-section | E: Internode alignment | F: Inner and outer auricle shape |
| G: Ligule shape            | H: Hair on the margin  | I: Leaf sheath adherence         |
| J: Internode shape         |                        |                                  |

## สรุป

NSUT13-313 เป็นโคลนอ้อยดีเด่นที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตอ้อยสูง เฉลี่ย 18.0 ตัน/ไร่ ให้ผลผลิตน้ำตาล 2.51 ตันซีซีเอส/ไร่ สูงกว่าพันธุ์ กวก.ขอนแก่น3 มีค่าความหวาน 14.1 ซีซีเอส มีลักษณะทรงกอตั้งตรง กาบใบหุ้มปานกลาง ทำให้ใบหลุดร่วงง่ายสะดวกกับการเก็บเกี่ยวด้วยแรงงานคน และเครื่องจักร ต้านทานปานกลางต่อโรคเหี่ยวเน่าแดง สามารถปลูกได้ในพื้นที่ดินร่วน ร่วนเหนียว และดินเหนียว ในพื้นที่ภาคกลาง และภาคเหนือ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงจากการเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูอย่างรุนแรงเนื่องการใช้พันธุ์เชิงเดี่ยว เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวน เป็นแนวทางยกระดับผลผลิตอ้อยของประเทศ และเพิ่มรายได้แก่ชาวไร่อ้อย รวมถึงยกระดับความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลของไทยกับต่างประเทศในอนาคต

## คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556-2567 ขอขอบคุณ เกษตรกร จ.ชัยนาท กำแพงเพชร นครราชสีมา บุรีรัมย์ ชัยภูมิ และ นครสวรรค์ โรงงานน้ำตาลในเครือ บมจ.เกษตรไทย อินเตอร์เนชั่นแนล ชูการ์ คอร์ปอเรชั่น อ.แก่งเลี้ยว และ อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์ บมจ.น้ำตาลและอ้อย ตะวันออก อ.ตาพระยา จ.สระแก้ว

## เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. ม.ป.ป. การจัดชั้นความเหมาะสมของดิน และผลผลิตคาดการณ์สำหรับปลูกอ้อย. กรุงเทพฯ. 23 หน้า.

การिता จงเจือกกลาง นัฐภัทร์ คำหล้า สามัคคี จงฐิตินนท์ สมนึก คงเทียน สุณีย์ ขมิชิต และอภิชาติ สุพรรณรัตน์. 2566. ศึกษาการเจริญเติบโต และการสะสมน้ำตาลของอ้อยโคลนดีเด่นชุดปี 2556 ในเขตดินร่วน ร่วนเหนียว และดินเหนียว. ใน: รายงานผลการวิจัยประจำปี 2565. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร.

การिता จงเจือกกลาง นัฐภัทร์ คำหล้า สามัคคี จงฐิตินนท์ สมนึก คงเทียน สุณีย์ ขมิชิต และอภิชาติ สุพรรณรัตน์. 2567. ศึกษาการเจริญเติบโต และการสะสมน้ำตาลของอ้อยโคลนดีเด่นชุดปี 2556 ในเขตดินร่วน ร่วนเหนียว และดินเหนียว. ใน: รายงานผลการวิจัย ประจำปี 2566. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร.

นัฐภัทร์ คำหล้า มนัสชญา สายพนัส รัชนิวรรณ ชูเชิด ศรีนวล สุราษฎร์ พิกุลทอง สุอนงค์ รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์ ศิริพร รัตนศักดิ์ภักดี เกษร บำยเมือง สมเกียรติ เวชการ ปิยะนุช คำแวน การเกษ โพธิ์ทอง และพิชัย สารพงษ์. 2567. การเปรียบเทียบในไร่เกษตรกร โคลนอ้อยชุดปี 2556 เขตน้ำฝน. ใน: รายงานผลการวิจัย ประจำปี 2566. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร.

นัฐภัทร์ คำหล้า มนัสชญา สายพนัส รัชนิวรรณ ชูเชิด ศรีนวล สุราษฎร์ พิกุลทอง สุอนงค์ รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์ การเกษ โพธิ์ทอง และพิชัย สารพงษ์. 2566. การเปรียบเทียบในไร่เกษตรกร โคลนอ้อยชุดปี 2556 เขตน้ำฝน. ใน: รายงานผลการวิจัย ประจำปี 2565. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร.

นัฐภัทร์ คำหล้า รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์ อุดมศักดิ์ ดวนมีสุข การเกษ โพธิ์ทอง ประทุมมา วงษ์วิลา และมานิตย์ สุขนิมิต. 2562. การเปรียบเทียบเบื้องต้น โคลนอ้อยชุดปี 2556 เขตน้ำฝน: อ้อยปลูก ต่อ1. หน้า 1-13. ใน: รายงานผลการวิจัย ประจำปี 2561. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร.

นัฐภัทร์ คำหล้า รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์ อุดมศักดิ์ ดวนมีสุข มานิตย์ สุขนิมิต และสมนึก คงเทียน. 2558. การคัดเลือกครั้งที่ 1: โคลนอ้อยชุดปี 2556 เขตน้ำฝน. ใน:

รายงานผลการวิจัย ประจำปี 2557. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร.

นัฐภัทร คำหล้า รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์ อุดมศักดิ์ ดวนมีสุข มานิตย์ สุขนิมิตร สมนึก คงเทียน และการเกษ โพธิ์ทอง. 2560. การคัดเลือกครั้งที่ 2: โคลนอ้อยชุดปี 2556 เขตน้ำฝน. หน้า 160-187. ใน: รายงานผลการวิจัย ประจำปี 2560. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร.

นัฐภัทร คำหล้า สาคร รจนัย รัชดา ปรัชเจริญวนิชย์ ปิยธิดา อินทร์สุข รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์ และการเกษ โพธิ์ทอง. 2565. การเปรียบเทียบมาตรฐานโคลนอ้อยชุดปี 2556 เขตน้ำฝน: อ้อยปลูก ต่อ 1 และต่อ 2. หน้า 495-511. ใน: รายงานผลการวิจัย ประจำปี 2564. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร.

วีรกรณ์ แสงไสย เบญจวรรณ รัตวัตร และนัฐภัทร คำหล้า. 2566. ศึกษาโครงสร้างทางพันธุกรรมของยีนและลักษณะทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทนแล้งของอ้อยโคลนดีเด่น ในเขตดินร่วน ร่วนเหนียว และดินเหนียว. ใน: รายงานผลการวิจัย ประจำปี 2565. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงานกรมวิชาการเกษตร.

วีรกรณ์ แสงไสย เบญจวรรณ รัตวัตร และนัฐภัทร คำหล้า. 2567. ศึกษาโครงสร้างทางพันธุกรรมของยีนและลักษณะทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทนแล้งของอ้อยโคลนดีเด่น ในเขตดินร่วน ร่วนเหนียว และดินเหนียว. ใน: รายงานผลการวิจัย ประจำปี 2566. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร.

วีระพล พลรักดี ทักษิณา ศันสยะวิชัย เพียงเพ็ญ ศรวัฑเทวา เมฆลานนท์ ปรีชา กาเพชร และอุดม เสียบวัน. 2554. ขอนแก่น 3 พันธุ์อ้อยสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วารสารวิชาการเกษตร. 29(3):283-301.

วีระพล พลรักดี. 2558. รายงานชุดโครงการวิจัยการวิจัยและพัฒนาพันธุ์อ้อย. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2239>. สืบค้น: 31 มีนาคม 2567.

ศิริไล ลาภบรรจบ นัฐภัทร คำหล้า สมคิด พันธดี ภาวิณี เกียรติยากุล และลัดดาวัลย์ ชันแก้ว. 2562. ศึกษาปฏิกิริยาของอ้อยโคลนดีเด่นต่อโรคเหี่ยวเน่าแดงในเขตน้ำฝน. ใน: รายงานผลการวิจัย ประจำปี 2561. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร.

ศิริไล ลาภบรรจบ นัฐภัทร คำหล้า สมคิด พันธดี ภาวิณี เกียรติยากุล และลัดดาวัลย์ ชันแก้ว. 2563. ศึกษาปฏิกิริยาของอ้อยโคลนดีเด่นต่อโรคเส้ดำในเขตน้ำฝน. ใน: รายงานผลการวิจัย ประจำปี 2562. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร.

ศุจิรัตน์ สงวนรังศิริกุล วีรกรณ์ แสงไสย วัฒนศักดิ์ สิงห์คำ จิรนนท์ วันชนะอม แดงไท ภิญโญ รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์ อมรารวรรณ ทิพย์วัฒน์ ภาณุภูมิ ถิ่นคำ และปิยรัตน์ จังพล. 2564. ผลของสภาวะแล้งต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในอ้อยพันธุ์ต่าง ๆ ในสภาพควบคุม. หน้า 199-242. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการนำเสนอผลงานประจำปี 2564. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น.

ศูนย์วิจัย Krunghthai COMPASS. 2567. Step up อุตสาหกรรมน้ำตาลไทยสู่อุตสาหกรรมสีเขียว. แหล่งข้อมูล: [https://krungthai.com/Download/economyresources/EconomyResourcesDownload\\_493Step\\_up.pdf](https://krungthai.com/Download/economyresources/EconomyResourcesDownload_493Step_up.pdf). สืบค้น: 23 พฤษภาคม 2567.

สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. 2562. คู่มือการบันทึกข้อมูลงานวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/fcri/wp-content/uploads/2020/2020/pdf/manual.pdf>. สืบค้น: 30 พฤษภาคม 2565.

สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. ม.ป.ป. คู่มือการปรับปรุงพันธุ์อ้อย. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/fcri/wp-content/uploads/2022/smart-box/sugar-cane2565.pdf>. สืบค้น: 30 พฤษภาคม 2565.

- สำนักคุ้มครองพันธุ์พืช. ม.ป.ป. ระเบียบตรวจสอบพันธุ์พืชใหม่: อ้อย. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/pvp/wp-content/uploads/2023/04/1sugarcane.pdf>. สืบค้น: 30 พฤษภาคม 2566.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2566. โครงการพัฒนาและส่งเสริมอุตสาหกรรมชีวภาพ (Bioeconomy: Non Food). รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report). แหล่งข้อมูล: <https://w2.ocsb.go.th/wp-content/uploads/2023/04/14244-4316.pdf>. สืบค้น: 30 มีนาคม 2567.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2567. สรุปสถานการณ์ตลาดน้ำตาลโลกประจำปีระหว่างวันที่ 25-29 มีนาคม 2567. สถานการณ์อ้อยและน้ำตาลทรายในประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: [https://www.ocsb.go.th/2024/domestic\\_situation/25725/](https://www.ocsb.go.th/2024/domestic_situation/25725/). สืบค้น: 30 มีนาคม 2567.
- อุดมศักดิ์ ดวนมีสุข และมานิตย์ สุขนิมิตร. 2558. การผสมพันธุ์อ้อยชุดปี 2556. ใน: รายงานผลการวิจัยประจำปี 2557. ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร.
- Aung, M.T. 2021. Bioeconomy in Thailand at a glance. SEI brief, January 2021. Stockholm Environment Institute, Stockholm. Available at: <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2021/04/sei-db-bioeconomy-thailand-aung-apr-2021-updated.pdf>. Accessed: Mar 30, 2024.
- Dechwan, K. 2024. Good 23/24 Thai cane crop could lead to strong 24/25 output. Available at: <https://app.czapp.com/auth/analyst-insights/6261>. Accessed: Mar 30, 2024.
- Eberhart, S.A. and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 6(1): 36- 40.
- Lakshmanan, P., P. Jackson, G. Hemaprabha and Y.R. Li. 2022. Sugar tech special issue: History of sugarcane breeding, germplasm development and related molecular research. Sugar Tech. 24(1): 1-3.
- Sowcharoensuk, C. 2023. Industry outlook 2023-2025: Sugar Industry. Krungsri Research. Available at: <https://www.krungsri.com/en/research/industry/industry-outlook/agriculture/sugar/io/sugar-2023-2025>. Accessed: May 30, 2024.

## 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:** สรุปสาระสำคัญของผลการทดลอง คำแนะนำในการนำไปใช้ประโยชน์ และข้อเสนอแนะในงานวิจัยเรื่องนั้น ๆ ในอนาคต (ถ้ามี)

**คำขอบคุณ:** กล่าวถึงบุคคลและหน่วยงานที่ช่วยเหลืองานวิจัยและทดลอง

**เอกสารอ้างอิง:** ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง ตามตัวอย่าง

### 1. การตรวจเอกสาร ในเรื่องของคำนำหรือ อุปกรณ์และวิธีการ หรือ ผลการทดลอง

ตัวอย่างการเขียน

- โกศล (2523) หรือ (โกศล, 2523)
- อิมจิต และคณะ (2535) หรือ (อิมจิต และคณะ, 2535)
- Kreb (1978) หรือ (Kreb, 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 กำกับในเนื้อเรื่องที่อ้างถึงก่อนและหลังตามลำดับ

### 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 สิกขะมณฑล. 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 พัทธ์ชัย เตือนจิตต์ สัตยาวิรุทธิ์ และสาทร สิริสิงห์. 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. ขาน้ำมัน (Camellia oleifera Abel). ศูนย์วิจัยและพัฒนาขาน้ำมันและพืชน้ำมัน 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, 2

# 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 Sasiprapa       | Information and Communication Technology Centre, DOA                   |
| Kanchana Pruesapan, Ph.D. | Plant Varieties Protection Office, DOA                                 |
| Sainum Uduyay, Ph.D.      | Agricultural Production Science Research and Development Division, DOA |

## Editorial Board

|                                         |                                                                        |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Vichanee Ormzubsin                      | Surat Thani Oil Palm Research Center, DOA                              |
| Aumnuai Adthlangrong                    | 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. Phruksa 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. 1

January - April 2025

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

## CONTENTS

EDITORIAL.....1

Suprada Sukonthabhirom na Pattalung

### RESEARCH PAPERS

- Molecular Phylogeny of Native Panchakhan Varieties and Hybrids  
(*Gynostemma pentaphyllum*) .....2  
Kanchana Pruesapan Sasitorn Vorapitirangsi Anchalee Kaewdoun Theerawut Chutinantakun
- Strain Improvement of Abalone Mushroom (*Pleurotus cystidiosus*) Using Di-mon Mating ....17  
Ratchadaporn Thonghem Vipavee Chanroj Paranee Sawangsri Jittra Kittimorakul
- Development of Cassava Root Cluster Conveyor and Root Cutting Machine  
Connected to the Three Point Free Link Attachment of Farm Tractor.....31  
Thayawee Nuboon Jantana Suntudprom Anuchit Chamsing Yongyuth Siangdang
- Wheat Flour Substitution by the Application of *Dioscorea alata* L. Flour  
Consisting High Resistant Starch in Butter Cookies .....42  
Kritsadaphon Phonwong Jarurat Pumprasert Naruthep Wetchphiban Phattthara Loogruk  
Chalermwoot Sompark
- Appropriate Weed Control for Increasing Yield and Quality of  
Vegetable Soybean cv. DOA Chiang Mai 84-2 .....54  
Sopit Jaipala Jongrak Phunchaisri Sarawut Domake Wongsakorn Sreechaiwong
- Green Fluorescence Expression in Two Aquarium Plant Species by  
Agrobacterium-Mediated *gfp* Gene Transferred into the Target Tissues .....66  
Panom Krachangpoj Sodsuk Ponlachart Pewnane Sujitra Pechkong  
Sureeporn Yensuwan Jarinya Suwannakha
- Health Risk Assessment of Pesticide Residues in Vegetables  
Collected from Upper Northeast Thailand .....78  
Jarupong Prasopsuk Watcharaporn Srisawangwong Papatsorn Seelarak  
Natchayathon Khattiyaphutthimet
- Path Analysis of Total Economic Product of Twenty-Two Tenera Oil Palms  
in Krabi, Thailand .....89  
Suteera Thawornrat Puntaree Taeprayoon Kittichai Kor-Or Somkid Damnoi  
Surakitti Srikul Peerasak Srinives Anek Limsrivilai Patcharin Tanya

### ARTICLE

- NSUT13-313: A Promising Sugarcane Clone with High Yield .....99  
Nattapat Khumla Siwilai Lapbanjob Piyanuch Kamwaen Raweewan Chuekittisak