



วารสาร วิชาการเกษตร THAI AGRICULTURAL RESEARCH JOURNAL

ปีที่ 44 ฉบับที่ 1

มกราคม - เมษายน 2569

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

สารบัญ

บทบรรณาธิการ	1
สุภรดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง ผลงานวิจัย	
● การจำแนกสายวิวัฒนาการของเชื้อรา <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cubense</i> Complex สาเหตุโรคตายพรายกล้วยในประเทศไทย	2
ชนินทร์ ดวงสอาด วันวิสาข์ เพ็ชรอำไพ สุณิรัตน์ สิมะเตือ มะโนรัตน์ สุดสงวน อมรรักษ์ คัดใจเดียว พรศิริ บุญพุ่ม ธารทิพย์ ภาสบุตร สุทธิณี ลิขิตตระกูลรุ่ง พรพิมล อธิปัญญาคม ณัฏฐิมา โฆษิตเจริญกุล	
● กลัวย่น้ำว่าพันธุ กวก. สุโขทัย1	14
เพ็ญจันทร์ สุทธานุกุล อุทัยวรรณ ทรัพย์แก้ว รุ่งลาวัลย์ อินตะวงศ์ สุภาภรณ์ สาขาติ เอกพล ภูวนารถนฤบาล อารีรัตน์ พระเพชร	
● การเปรียบเทียบสายพันธุ์สับปะรดโรงงานที่ให้ผลผลิตสูง	26
มัลลิกา นวลแก้ว นริรัตน์ ชูช่วย กิรนนท์ เหมาะประมาณ อนุวัฒน์ กำแพงแก้ว	
● สมรรถนะการผสมของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้อยู่ได้สภาพแล้ง	40
ปริญญา การสมเจตน์ สุริพัฒน์ ไทยเทศ ทศนีย์ บุตรทอง ชัยวัฒน์ นันทโชติ	
● การตอบสนองของสายพันธุ์ข้าวต่อการก่อโรคของเชื้อ <i>Burkholderia glumae</i> ที่เก็บรวบรวมจากภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทยในสภาพโรงเรือน	52
ธิรายุ ตื้อคำ ชินวัฒน์ เมืองมัจฉา อรรวรรณ ทองนาป่า ศิริพร ดอนเหนือ	
● การระบุชนิดของเห็ดยานางิ (<i>Cyclocybe</i> spp.) ด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยา และข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS	64
จิตรรา กิตติโมรากุล วิภาวี ชันโรจน์ รัชฎาภรณ์ ทองเหม ภรณ์ สว่างศรี	
● กระดาษลามิเนตชีวภาพจากเปลือกโกโก้สำหรับบรรจุภัณฑ์เบเกอรี่	75
กนกศักดิ์ ลอยเลิศ ประยูร เอ็นมาก นภัสสร เลียบวัน สุกัญญา นิตยนต์ ศิวัช พลายเสน	
● การให้แคลเซียมโบรอนทางใบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดการสูญเสียคุณภาพ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ผ่านการฉายรังสี	89
ภาณุมาศ โคตรพงศ์ ทิวาพร ผดุง สโรชา ถึงสุข พัทธี อารุง	
● การพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอชนิด Piezo-type mechanosensitive ion channel homolog (Piezo) และประสิทธิภาพในการคัดเลือกลักษณะความต้านทาน โรคยอดเน่าในสับปะรด	102
จิราพร แก่นทรัพย์ มัลลิกา นวลแก้ว อมรรักษ์ คัดใจเดียว สุภาวดี จ้อเหรียญ	

วารสารวิชาการเกษตร

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

ที่ปรึกษา

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

บรรณาธิการ

ดร.สุภรดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง กรมวิชาการเกษตร

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

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

กองบรรณาธิการ

ภายในหน่วยงาน

อำนวยการ วรรณรัตน์	สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร
ดร.ศุภกาญจน์ ล้วนมณี	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร
ศุภมาส กลิ่นขจร	กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร
ดร.พัชรวิพรรณ จงจิตเมตต์	สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร
ดร.จิราพร แก่นทรัพย์	สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร

ภายนอกหน่วยงาน

ดร.สัญญา ตันตยาภรณ์	สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช)
ดร.พรพิมล อธิปัญญาคม	ข้าราชการเกษียณอายุ
สุภาจิต เสงี่ยมพงศ์	ข้าราชการเกษียณอายุ
ดร.จรัญ ดิษฐไชยวงศ์	ข้าราชการเกษียณอายุ
วิษณีย์ ออมทรัพย์สิน	ข้าราชการเกษียณอายุ
รศ.ดร.คำรณวิทย์ ทิพย์มณี	คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร. สนธิชัย จันทน์เปรม	คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.รุ่งอรุณ ทิศกระโทก	คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.พฤษภา หล้าวงษา	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.นพพล อรุณรัตน์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.บุญสม บุษบรรณ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.พรชัย ทาระโคตร	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.วันพร เข็มมุกด์	สำนักวิจัยและพัฒนาอารักขาข้าว กรมการข้าว
พัชรินทร์ ศรีวารินทร์	การยางแห่งประเทศไทย

ผู้จัดการ

ผู้อำนวยการกลุ่มระบบวิจัย กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร

ผู้ช่วยผู้จัดการ

ดนยา คล้ายมาลา กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร



วารสาร วิชาการเกษตร

THAI AGRICULTURAL RESEARCH JOURNAL ISSN : 3027-7264

ปีที่ 44 ฉบับที่ 1

มกราคม - เมษายน 2569



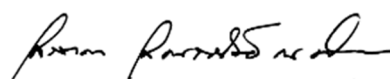
วารสารวิชาการเกษตร ตีพิมพ์เผยแพร่ความรู้ผลงานวิจัย และนวัตกรรมวิชาการเกษตรด้านพืช มีกำหนดออกปีละ 3 ฉบับ ฉบับที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม-สิงหาคม ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน-ธันวาคม ของทุกปี โดยผลงานวิจัยทุกเรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเกษตร ได้ผ่านการพิจารณาแบบ double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

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเกษตรได้เผยแพร่บทความวิจัยจนถึงฉบับนี้ เป็นปีที่ 44 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม - เมษายน 2569 เป้าหมายที่สำคัญของวารสารคือเป็นแหล่งเผยแพร่ข้อมูลความรู้ใหม่ ๆ ที่ได้จากงานวิจัยซึ่งมีประโยชน์ต่อการพัฒนาการเกษตรของประเทศ ข้อมูลที่ดีพิมพ์สามารถใช้เป็นหลักฐานในการค้นพบความรู้ใหม่ และใช้ในการอ้างอิง

การเขียนบทความวิจัยเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการนั้น ผู้แต่งต้องตรวจสอบและยืนยันว่าได้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในการส่งบทความของวารสารนั้น ๆ โดยบทความต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน หรือต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด การเตรียมบทความเป็นไปตามข้อกำหนดของวารสารฯ ทั้งในแง่ของรูปแบบและการอ้างอิง ซึ่งทุกวารสารจะแนะนำไว้ในคำแนะนำสำหรับผู้แต่ง การเขียนบทความวิจัยนอกจากเป็นเรื่องที่ใหม่แล้ว การเขียนในส่วนของผลและการวิจารณ์ผลยังเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก ซึ่งจะมีผลทำให้บทความได้รับการพิจารณาจากวารสารให้ตีพิมพ์

การวิจารณ์ผลการทดลองที่ดีควรมีการแสดงว่าผลการทดลองที่ได้มีความเกี่ยวข้องกับทฤษฎีหรืองานของผู้อื่นทั้งทางสนับสนุนและโต้แย้ง ในแต่ละประเด็นมีการวิเคราะห์เพิ่มเติม ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำผลการทดลองที่นำเสนอและผลการทดลองของงานที่ใช้ในการอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับ และชี้จุดร่วมที่เหมือนกัน และจุดที่แตกต่างกัน อธิบายความหมาย เหตุผล และสาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองเป็นเช่นนั้น พร้อมทั้งมีหลักฐานหรือเอกสารอ้างอิงรองรับ อธิบายจุดเด่นจุดด้อยของงานทดลองที่เปรียบเทียบกับและสาเหตุเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปหรือความรู้ใหม่ที่ได้ ข้อสรุปที่ได้ต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลอง ชี้แนะการนำข้อสรุปหรือคำแนะนำที่ได้ไปใช้ประโยชน์ ข้อจำกัดของผลการทดลองที่ควรระมัดระวังในการนำไปใช้ มีการเสนอแนะประเด็นที่ควรดำเนินการวิจัยเพิ่มเติมในอนาคตเพื่อการพัฒนาให้ดีขึ้นกว่าเดิม ดังนั้น การเขียนบทความจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะการวิจารณ์ผลการทดลองที่ต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้บทความวิจัยมีคุณภาพและมีคุณค่าทางวิชาการเพิ่มขึ้น



(ดร. สุภรดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง)

บรรณาธิการวารสารวิชาการเกษตร

การจำแนกสายวิวัฒนาการของเชื้อรา *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Complex

สาเหตุโรคตายพรายกล้วยในประเทศไทย

Phylogenetic Characterization of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Complex

Causing Banana Wilt Disease in Thailand

ชนินทร ดวงสอาด^{1/*} วันวิสาข์ เพ็ชรอำไพ^{1/} สุณิรัตน์ สีมะเตือ^{1/} มะโนรัตน์ สุดสงวน^{1/} อมรรักษ์ คัดใจเดียว^{1/}
พรศิริ บุญพุ่ม^{1/} ธารทิพย์ ภาสบุตร^{1/} สุทธิณี ลิขิตตระกูลรุ่ง^{2/} พรพิมล อธิปัญญาคม^{3/} ณัฐริมา โฆษิตเจริญกุล^{1/}
Chanintorn Doungsa-ard^{1/*} Wanwisa Pet-amphai^{1/} Suneerat Seemadua ^{1/} Manorat Sudsanguan^{1/}
Amonrat Kitjaideaw^{1/} Pornsiri Bunphum^{1/} Tarntip Passabut^{1/} Suttinee Likhitrakulrung^{2/}
Pornpimon Athipunyakom^{3/} Nuttima Kositcharoenkul^{1/}

Received 22 Jul. 2025/Revised 9 Dec. 2025/Accepted 9 Dec. 2025

ABSTRACT

Fusarium wilt in bananas, caused by the soil-borne fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), colonizes the vascular system, leading to severe wilting and plant death. This disease poses a critical threat to global banana production. In Thailand, Foc race 1 has long been present, whereas Foc tropical race 4 (TR4)—a devastating emerging pathogen affecting Cavendish bananas—has been detected through surveillance activities. Due to reports of *Fusarium*-like wilt symptoms of uncertain etiology, accurate identification is essential for establishing effective disease control measures. This research aimed to identify the species of *Fusarium* collected from symptomatic bananas across major cultivation areas in Thailand and also the *Fusarium* isolates collected from a pest control area, where eradication measures were implemented and which are currently no longer present in Thailand. The isolates of *Fusarium* have been preserved at the Department of Agriculture, which serves as the National Plant Protection Organization (NPPO) of Thailand under the International Plant Protection Convention (IPPC). The methodology involved fungal isolation, DNA extraction, PCR amplification, and nucleotide sequencing of the *tef1* and *rpb2* gene regions. The phylogenetic analyses were conducted for species identification. The results revealed significant genetic diversity among Foc race 1 isolates in Thailand, identifying them as *F. tardichlamydosporum*, *F. duoseptatum*, and *F. grosmichelii*.

^{1/} สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช 50 ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{1/} Plant Protection Research and Development Office, 50 Phahonyothin Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^{2/} สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100

^{2/} Office of Agricultural Research and Development Region 1, Mae Hia, Mueang, Chiang Mai 50100, Thailand

^{3/} ข้าราชการเกษียณอายุ กรมวิชาการเกษตร 50 ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{3/} Retired government officer, Department of Agriculture, 50 Phahonyothin Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: chanintorn.dd@gmail.com

Additionally, *F. kalimantanense* was identified within the non-race group. Notably, the isolates from Cavendish bananas were identified as *F. odoratissimum* (syn. TR4), a pathogen currently classified as "not present" in Thailand. This study concludes that these species are phylogenetically closely related. Accurate identification within these species complexes requires molecular diagnostics to ensure precise differentiation and biosecurity management.

Keywords: species complex; *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*; taxonomy

บทคัดย่อ

โรคตายพรายในกล้วยเกิดจากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) ซึ่งทำลายท่อลำเลียง ทำให้ต้นกล้วยเหี่ยวและตาย เป็นภัยร้ายแรงต่อการปลูกกล้วยทั่วโลกในประเทศไทย เชื้อรา Foc race 1 มีระบาดมานานแล้ว ในขณะที่เชื้อรา Foc tropical race 4 (TR4) ซึ่งเป็นศัตรูพืชร้ายแรงอุบัติใหม่ในกล้วยคาเวนดิชและตรวจพบจากการแผ่รังสีเชื้ออาการเหี่ยวจากเชื้อรา *Fusarium* ที่ยังไม่ทราบชนิดที่แน่ชัด จำเป็นต้องจำแนกชนิดให้ถูกต้อง เพื่อกำหนดมาตรการที่เหมาะสมในการควบคุมโรค งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกชนิดของเชื้อรา Foc ที่พบในกล้วยซึ่งแสดงอาการเหี่ยวจากแหล่งปลูกที่สำคัญของจังหวัดต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลและวิธีการทางชีวโมเลกุล รวมทั้งตรวจสอบชนิดของเชื้อรา *Fusarium* ที่เคยพบในกล้วยคาเวนดิชจากเขตควบคุมศัตรูพืชซึ่งได้ดำเนินควบคุมกำจัดศัตรูพืชและปัจจุบันไม่ปรากฏในประเทศไทย โดยได้นำเชื้อรามาเก็บรักษาไว้ที่กรมวิชาการเกษตรซึ่งทำหน้าที่องค์กรอารักขาพืชแห่งชาติ (NPPO) ของประเทศไทย

ภายใต้อนุสัญญาอารักขาพืชระหว่างประเทศ (IPPC) นำมาแยกเชื้อ สกัด และเพิ่มปริมาณ DNA ตำแหน่ง *tef1* และ *rpb2* ด้วยเทคนิค PCR วิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ และความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการเพื่อจำแนกชนิด พบว่า Foc race 1 ในประเทศไทยมีความหลากหลายทางพันธุกรรม สามารถจำแนกได้เป็น *F. tardichlamydosporum* *F. duoseptatum* และ *F. grosnichelii* นอกจากนี้ยังพบในกลุ่ม non-race คือ *F. kalimantanense* โดยเชื้อราจากกล้วยคาเวนดิช คือ *F. odoratissimum* (syn. TR4) ซึ่งปัจจุบันเชื้อราชนิดนี้มีสถานะไม่ปรากฏในประเทศไทย เชื้อราทุกชนิดมีความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการที่ใกล้ชิดกันมาก การระบุชนิดจำแนกชนิดในกลุ่มที่เป็น species complex ต้องใช้การวินิจฉัยระดับห้องปฏิบัติการด้วยข้อมูลชีวโมเลกุลมาช่วยในการศึกษา

คำสำคัญ: ชนิดที่ซับซ้อน; *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*; อนุกรมวิธาน

บทนำ

กล้วยเป็นหนึ่งในผลไม้ที่สำคัญของโลก (Ploetz, 2015) ที่นิยมปลูกกว่า 148 ประเทศ โดยเฉพาะในเขตร้อนชื้น มีปริมาณผลผลิตออกสู่ตลาดโลกในปี พ.ศ. 2565 กว่า 19.2 ล้านตัน และมีมูลค่ากว่าพันล้านบาท (FAO, 2022a) ปัญหาสำคัญที่กระทบต่อการผลิตกล้วยทั่วโลก คือ การระบาดของโรคตายพราย (*Fusarium wilt* หรือ Panama disease) สาเหตุจากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* W.C. Snyder & H.N. Hansen (Foc) เชื้อราดังกล่าวอยู่ในกลุ่มของ *F. oxysporum* species complex (Michielse and Rep, 2009; O'Donnell et al., 2009) มีพืชอาศัยแคบ สามารถเข้าทำลายและก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชวงศ์กล้วย (*Musa*) (Stover and Buddenhagen, 1986; Stover and

Simmonds, 1987; Ploetz et al., 2015) การเข้าทำลายของเชื้อรา Foc ก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบท่อลำเลียงของพืช ส่วนใหญ่เชื้อรามักจะเข้าทำลายทางราก เจริญขึ้นไปตามท่อน้ำ (xylem) เริ่มจากบริเวณกาบใบด้านนอกของส่วนลำต้น เชื้อรา Foc เป็น soil borne สามารถคงอยู่ได้ในดิน เศษซากพืช หรือบริเวณรากของพืชอาศัยในรูปแบบของ chlamydospore ได้นานกว่า 30 ปี (Stover, 1962)

เชื้อรา Foc แต่ละชนิดมีความสามารถในการก่อโรคที่แตกต่างกันในกล้วยแต่ละพันธุ์ จากความแตกต่างนี้ทำให้เชื้อรา Foc จัดเป็น 4 สายพันธุ์ (race) ได้แก่ race 1 เข้าทำลายกล้วย เช่น พันธุ์ Gros Michel (กล้วยหอมทอง genome type AAA) Pisang Awak (กล้วยน้ำว้า genome type ABB) เป็นต้น race 2 เข้าทำลายกล้วย เช่น พันธุ์ Bluggoe (กล้วยหักมุก genome type ABB) เป็นต้น race 3 เข้าทำลายพืชในสกุล *Heliconia* ซึ่งต่อมาได้จำแนกเป็นเชื้อชนิดใหม่และไม่จัดอยู่ในกลุ่มของเชื้อรา Foc (Ploetz, 2005) และ race 4 เข้าทำลายกล้วยพันธุ์คาเวนดิช (กล้วยหอมเขียว genome type AAA) โดย race 4 นี้แยกออกเป็น 2 strains คือ subtropical race 4 (Foc SR4) พบการระบาดเฉพาะในเขต subtropics และ tropical race 4 (Foc TR4) พบในเขต tropics ซึ่งทั้ง 2 strains จัดเป็นศัตรูพืชชนิดร้ายแรงที่มีความสำคัญทางด้านกักกันพืช โดยเฉพาะ Foc TR4 ทำความเสียหายและแพร่ระบาดในพื้นที่ปลูกกล้วยคาเวนดิชในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอุตสาหกรรมการผลิตกล้วยทั่วโลก (FAO, 2014) การทราบ race ของเชื้อรา Foc จึงมีความสำคัญต่อการจัดการโรค

การจำแนก race ของเชื้อรา Foc ไม่สามารถใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาได้ เนื่องจากมีความแตกต่างไม่เพียงพอ จึงมีความพยายามในการจำแนกโดยใช้ลักษณะการแสดงออกของเชื้อรา (phenotyping)

การทำปฏิกิริยาระหว่างสายพันธุ์ โดยใช้วิธีการ vegetative compatibility groups (VCGs) ที่ออกแบบโดย Cove (1976) และปรับปรุงวิธีการโดย Puhalla (1985) และ Correll et al. (1987) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ค่อนข้างยุ่งยากและมีข้อจำกัด เช่น ต้องมี Foc จากแต่ละกลุ่ม VCGs เพื่อใช้ในการทดสอบ ซึ่งห้องปฏิบัติการที่พร้อมมีจำกัด อีกทั้งการจัดจำแนกด้วย VCGs ใช้เวลาในการตรวจสอบค่อนข้างนาน จึงหันมาจำแนกทางชีวโมเลกุลโดยการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ ซึ่งมีความรวดเร็วกว่าการจำแนกชนิดด้วย VCGs (Dita et al., 2010; Dita et al., 2011; Fraser-Smith et al., 2014) และยังสามารถระบุถึงชนิด species ด้วยวิธีการทางชีวโมเลกุลโดยใช้ข้อมูลของ systematics และ genealogical concordance โดยใช้ข้อมูลของยีนตำแหน่ง *rpb1* *rpb2* และ *tef1* ซึ่งพบว่า เชื้อรา Foc นั้นมีความหลากหลายทางพันธุกรรมและเชื้อรา Foc แต่ละ race สามารถจำแนกชนิดได้ดังนี้ race 1 ประกอบไปด้วย 6 species ได้แก่ *F. duoseptatum*, *F. gromichellii*, *F. hexaseptatum*, *F. phialophorum*, *F. purpurascens* และ *F. tardichlamydosporum* สำหรับ race 2 ได้แก่ *F. cugenangense* และ tropical race 4 ได้แก่ *F. odoratissimum* ทั้งนี้ไม่พบ subtropical race 4 ในประเทศไทย นอกจากนี้ยังพบกลุ่ม none-race หรือเชื้อรา Foc ที่ไม่เคยมีการระบุ race มาก่อน 3 species คือ *F. kalimantanense*, *F. sangayamense* และ *F. tardicrescens* (Maryani et al., 2019)

เชื้อรา Foc tropical race 4 (TR4) จัดเป็นศัตรูพืชร้ายแรงอุบัติใหม่ที่กำหนดโดย FAO (TCP/RAS/3619) จึงได้มีการเฝ้าระวังการระบาด และพบอาการเหี่ยวในต้นกล้วยคาเวนดิชใน อ.พญาเม็งราย จ.เชียงราย ซึ่งเกิดอาการเหี่ยวจากเชื้อรา *Fusarium* ที่ยังไม่ทราบว่าเป็นชนิดใด อนึ่ง เชื้อรานี้อยู่ในกลุ่ม

ของ *F. oxysporum* species complex (FOSC) เป็นกลุ่มของเชื้อราที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกันจนไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ แต่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง กล่าวคือมีลักษณะสัณฐานวิทยาเหมือนกันแต่เป็นคนละชนิดในเชิงสายวิวัฒนาการ การจำแนกชนิดที่แม่นยำต้องวิเคราะห์ด้วยลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน เช่น *tef1* และ *rpb2* เพื่อระบุชนิดที่แท้จริง (O'Donnell et al., 2009; O'Donnell et al., 2010) รวมถึงเชื้อรา Foc ที่พบในกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่แสดงอาการเหี่ยวของประเทศไทยยังไม่ทราบชนิดที่แน่ชัดเนื่องจากอยู่ในกลุ่มของ FOSC นี้เช่นกัน ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกชนิดและสายวิวัฒนาการของเชื้อรา Foc ที่พบในกล้วยซึ่งแสดงอาการเหี่ยว จากแหล่งปลูกที่สำคัญของจังหวัดต่าง ๆ ในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลและวิธีการทางชีวโมเลกุล รวมถึงตรวจสอบชนิดของเชื้อรา *Fusarium* ที่พบในกล้วยคาเวนดิชจากการเฝ้าระวังเชื้อ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อด้านอนุกรมวิธานของเชื้อสาเหตุโรคตายพรายกล้วย การป้องกันกำจัด การปรับปรุงพันธุ์ และการส่งออกต่างประเทศ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อกล้วย

เก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อสีน้ำตาลบริเวณโคนต้นที่แสดงอาการของโรคตายพราย 225 ตัวอย่าง จากแหล่งปลูกกล้วยที่สำคัญ 36 จังหวัด ได้แก่ กาญจนบุรี กำแพงเพชร ขอนแก่น จันทบุรี ชลบุรี เชียงราย เชียงใหม่ นครปฐม กรุงเทพมหานคร นครพนม นครราชสีมา น่าน ประจวบคีรีขันธ์ พะเยา พิษณุโลก เพชรบูรณ์แพร่ ภูเก็ต แม่ฮ่องสอน ลำพูน เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สงขลา สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สระบุรี สุโขทัย สุพรรณบุรี สุรินทร์ หนองคาย หนองบัวลำภู อุดรธานี อุดรดิตถ์ อุทัยธานี และอุบลราชธานี แต่ละ

ตัวอย่างห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ บันทึกข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ วันที่เก็บตัวอย่าง ผู้เก็บตัวอย่างพันธุ์ของกล้วยที่เก็บตัวอย่าง และเขียนรายละเอียดกำกับให้ชัดเจน ก่อนนำมาตรวจสอบและแยกเชื้อในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งตัวอย่างจากพื้นที่โครงการ “Capacity development on diagnostic and surveillance system of banana *Fusarium* wilt disease (TCP/RAS/3619)” ซึ่งกรมวิชาการเกษตรได้ประกาศเป็นเขตควบคุมศัตรูพืชและดำเนินควบคุมกำจัดศัตรูพืช ตามแผนปฏิบัติการฉุกเฉินสำหรับ FOC TR 4 และพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 มาตรา 17 ฉบับแก้ไขเพิ่มเติมแล้ว ซึ่งตามหลักเกณฑ์การกำหนดสถานภาพศัตรูพืช (pest status) ของ ISPM 8 (FAO, 2021) เชื้อราชนิดนี้มีสถานะไม่ปรากฏในประเทศไทย (FAO, 2022b) แต่เพื่อประโยชน์ต่อด้านอารักขาพืชจึงได้นำเชื้อรา *Fusarium* มาเก็บรักษาไว้ที่กรมวิชาการเกษตร ซึ่งทำหน้าที่องค์การอารักขาพืชแห่งชาติ (NPPO) ของประเทศไทย ภายใต้อนุสัญญาอารักขาพืชระหว่างประเทศ (IPPC) และได้นำมาวิจัยจำนวน 24 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 249 ตัวอย่าง

2. การแยกเชื้อรา *Fusarium* และการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา

แยกเชื้อราโดยวิธี tissue transplanting นำตัวอย่างส่วนของท่อน้ำท่ออาหารของต้นกล้วยที่มีสีน้ำตาลแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่มี active ingredient ของ NaOCl 1% เป็นเวลา 3-5 นาที ล้างในน้ำที่นิ่งฆ่าเชื้อแล้ว 3 ครั้ง นำไปซัฟให้แห้งบนกระดาษที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ตัดเป็นเส้นเล็ก ๆ ขนาดความยาว 0.5-1 ซม. โดยประมาณ แล้วนำไปเลี้ยงบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิห้องปฏิบัติการ นาน 7-21 วัน แยกทำให้บริสุทธิ์โดยการถ่ายเชื้อบริเวณปลายเส้นใย และเลี้ยงบนอาหาร PDA จานใหม่ ตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ และ

กล้องจุลทรรศน์เชิงซ้อน โดยตรวจดูลักษณะเส้นใย conidiophore สปอร์ และโครงสร้างอื่น ๆ ของเชื้อรา โดยการ mount slide ด้วยน้ำหรือ shear's solution จากนั้นเปรียบเทียบกับข้อมูลของเชื้อรา *Fusarium* โดยอ้างอิงรายงานของ Booth (1971) และ Brayford (1992)

3. การสกัดดีเอ็นเอ การเพิ่มปริมาณ และการวิเคราะห์ ลำดับนิวคลีโอไทด์

แยกเชื้อราให้บริสุทธิ์ โดยวิธี single spore isolation ย้ายสปอร์เดี่ยวของเชื้อรา เลี้ยงลงบนอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิห้องปฏิบัติการ นาน 7-14 วัน หากไม่มีการปนเปื้อน จึงดำเนินการสกัดดีเอ็นเอ โดยตัดและย้ายเส้นใยของเชื้อรา *Fusarium* ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA ประมาณ 0.2-0.5 ก. ลงในหลอดสำหรับสกัดดีเอ็นเอ และทำการสกัดตามวิธีของ Dongsard et al. (2015) เก็บรักษาดีเอ็นเอที่สกัดได้จากแต่ละตัวอย่าง ไว้ที่อุณหภูมิ -20 หรือ -40°C. เพื่อรักษาสภาพและคุณภาพของดีเอ็นเอ นำดีเอ็นเอที่สกัดได้จากแต่ละตัวอย่าง มาทำการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ เป้าหมายของ *Fusarium* spp. ตำแหน่ง the RNA polymerase second largest subunit gene (*rpb2*) ด้วยไพรเมอร์ RPB2-5f2/RPB2-7cr (O'Donnell et al., 2010) และ the translation elongation factor1-alpha gene (*tef1*) (O'Donnell et al., 1998) กำหนด annealing temperature ของแต่ละตำแหน่งที่ 56°C. ด้วยวิธี polymerase chain reaction (PCR) โดยใช้ Taq DNA polymerase ใช้ cycling และ condition ของปฏิกิริยาตามที่ผู้ผลิตแนะนำ ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำ PCR โดยตรวจสอบขนาดของชิ้นส่วนของดีเอ็นเอที่ต้องการด้วยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิส (electrophoresis) ทำการผสมผลิตภัณฑ์ PCR ด้วย loading dye และ stain ในปริมาตร 4.1 และ 1 ไมโครลิตร ตามลำดับ ผสมให้เข้ากันจากนั้นหยอดลงใน agarose gel ที่ความเข้มข้น 1% ให้ผลิตภัณฑ์ PCR เคลื่อนที่

ผ่านสารละลาย lithium borate buffer (LB buffer) ส่งผลิตภัณฑ์ PCR ไปยัง บริษัท MacroGen Korea เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ PCR บริสุทธิ์ด้วยวิธี enzymatic purification (ExoSap-IT/ExoStar) และหาลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยวิธี Sanger sequencing

เชื้อรา *Fusarium* ที่ได้เก็บรักษาสายพันธุ์เชื้อราใน culture collection ดีเอ็นเอต้นแบบ (DNA templates) ข้อมูลรหัสดีเอ็นเอ (DNA barcodes หรือ consensus sequences) ได้รับการเก็บบันทึกและใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง รวมถึงสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบในการศึกษาด้านวิวัฒนาการต่อไป จัดเก็บดีเอ็นเอต้นแบบไว้ที่อุณหภูมิ -40°C. ณ พิพิธภัณฑ์โรคพืช กลุ่มวิจัยโรคพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการ

นำข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์มาทำการวิเคราะห์ โดยนำ forward sequence และ reverse sequence ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ โดยใช้โปรแกรม Geneious Prime 2024 (Kearse et al., 2012) บันทึกข้อมูลของลำดับนิวคลีโอไทด์ในรูปแบบไฟล์ชนิด fasta ทำการตรวจสอบความถูกต้องของชนิดของจุลินทรีย์ที่ทำการศึกษา กับฐานข้อมูลทางพันธุกรรม เช่น GenBank และ Mycobank นำ contig ของลำดับนิวคลีโอไทด์ (consensus sequence ที่บันทึกไว้ในรูปแบบ fasta ไฟล์) มาจัดเรียง (align) ด้วยโปรแกรม MAFFT 6.611 (Katoh and Toh, 2008) จากนั้นตรวจสอบการจัดเรียงโดยวิธี MUSCLE ในโปรแกรม the MEGA (Kumar et al., 2016) จากนั้นใช้โปรแกรม Gblocks (Talavera and Castresana, 2007) ทำการรวมชุดข้อมูลของดีเอ็นเอตำแหน่ง *rpb2* และ *tef1* เป็น combined dataset รวมกับ type sequence ของเชื้อรา Foc race ต่าง ๆ (Table 1) ซึ่งข้อมูลของดีเอ็นเอตำแหน่ง *rpb2* และ *tef1* เพียงพอต่อการระบุชนิดของตัวอย่างเชื้อรา Foc ที่ใช้ในการศึกษานี้

บันทึกชุด alignment ในรูปแบบไฟล์ nexus หรือ nex โดยใช้โปรแกรม Mesquite วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการเพื่อการจัดจำแนกโดย

ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล ใช้เกณฑ์มาตรฐาน คือ maximum likelihood ใช้โปรแกรม RAxML 8.1.15 (Stamatakis, 2014)

Table 1 List of taxa for *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* identification at race level and specimens included in this study

<i>Fusarium</i>	Accession number	Location	Host, genotype	GenBank number	
				<i>tef1</i>	<i>rpb2</i>
<i>F. duoseptatum</i> (race 1)	INACC F835	Indonesia	Cavendish	LS479764	LS479315
	INACC F916*	Indonesia	Musa ABB	LS479688	LS479239
	INACC F921	Indonesia	Musa ABB	LS479694	LS479245
	INACC F979	Indonesia	Musa AAB	LS479749	LS479300
	M0288	Phetchabun	Musa ABB	PX512734	na
	M0334	Chanthaburi	Musa ABB	PX512735	na
	M0342	Saraburi	Musa ABB	PX512738	na
	M0436	Chiang Rai	Musa ABB	PX512741	na
	M0442	Chiang Mai	Musa ABB	PX512742	na
	M0449	Uttaradit	Musa ABB	PX512745	na
	M0452	Uttaradit	Musa ABB	PX512724	na
	M0880	Nakhon Pathom	Musa ABB	PX512750	na
	M0881	Nakhon Pathom	Musa ABB	PX512751	na
	M0882	Nakhon Pathom	Musa ABB	PX512752	na
	M0996	Phitsanulok	Musa ABB	PX512753	na
	M0997	Phitsanulok	Musa ABB	PX512754	na
	M1182	Khon Kaen	Musa ABB	PX512757	na
	M1183	Khon Kaen	Musa ABB	PX512758	na
	M1258	Uthai Thani	Musa ABB	PX512768	na
	M1260	Phitsanulok	Musa ABB	PX512769	na
<i>F. grosnichelii</i> (race 1)	INACC F833	Indonesia	Musa ABB	LS479744	LS479295
	InaCC F855	Indonesia	Musa AAA	LS479794	LS479346
	InaCC F854	Indonesia	Musa AAA	LS479793	LS479345
	InaCC F884	Indonesia	Musa AAA	LS479824	LS479382
	M0337	Loei	Musa ABB	PX512737	na
	M0345	Nong Khai	Musa ABB	PX512739	na
	M0421	Sakon Nakhon	Musa ABB	PX512740	na
	M0447	Nong Bua Lamphu	Musa ABB	PX512743	na
	M0456	Chiang Rai	Musa ABB	PX512746	na
	M0462	Phayao	Musa ABB	PX512747	na
	M1238	Sukhothai	Musa ABB	PX512725	na
<i>F. tardichlamyosporum</i> (race 1)	INACC F958	Indonesia	Musa AAB	LS479729	LS479280
	M0336	Phitsanulok	Musa	PX512736	PX512727
	M0448	Chiang Mai	Musa ABB	PX512744	PX512728
	M0463	Lamphun	Musa	PX512748	PX512729
	M1256	Uthai Thani	Musa ABB	PX512766	PX512731
<i>F. tardicrescens</i> (race 1)	NRRL 36113	Malawi	Musa	LS479665	LS479217
	NRRL 54005	-	<i>Raphanus</i>	LS479674	LS479226
	NRRL 54008	-	<i>Raphanus</i>	LS479673	LS479225

Table 1 Cont.

<i>Fusarium</i>	Accession number	Location	Host, genotype	GenBank number	
				<i>tef1</i>	<i>rpb2</i>
<i>F. cugenangense</i>	INACC F984	Indonesia	Musa ABB	LS479757	LS479308
(race 2)	INACC F983	Indonesia	Musa ABB	LS479756	LS479307
	NRRL 25433	-	<i>Gossypium</i>	LS479648	LS479202
<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>cubense</i>	CAV1788	South Africa	<i>Heliconia</i>	FJ664919	na
(race 3)	Foc807	Brazil	Musa AAB	KY436227	na
	Race 3	China	Musa ABB	KC889021	na
<i>F. odoratissimum</i>	INACC F822	Indonesia	AAB, AAA, ABB	LS479828	LS479386
(tropical race 4)	VCG 01213	Indonesia	-	MG211817	na
	NRRL 36102	China	Cavendish	LS479655	LS479209
	INACC F927	Indonesia	AAB, AAA, ABB	LS479701	LS479252
	INACC F936	Indonesia	Musa AAA	LS479711	LS479262
	INACC F931	Indonesia	Musa AAB	LS479705	LS479256
	M0116	Chiang Rai**	Cavendish	PX512733	PX512726
	M0215	Chiang Rai**	Cavendish	PX512723	na
	M0501	Chiang Rai**	Cavendish	PX512749	PX512730
<i>F. kalimantanense</i>	INACC F917	Indonesia	Musa AAB	LS479690	LS479241
(non-race)	INACC F918	Indonesia	Musa AAB	LS479691	LS479242
	INACC F922	Indonesia	Musa AAB	LS479695	LS479246
	M1146	Nakhon Phanom	Musa ABB	PX512755	na
	M1147	Nakhon Phanom	Musa ABB	PX512756	na
<i>F. sangayamense</i> (non-race)	INACC F960	Indonesia	Musa ABB	LS479732	LS479283
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>batatas</i>	NRRL 26360	-	-	AY527522	na
<i>F. fujikuroi</i>	CBS 221.76	-	-	MN534010	KU604255
<i>F. sacchari</i>	LC13681	-	-	MW580548	MW474494

na= not available; * The numbers in “**bold**” are type sequences

** The Department of Agriculture declared the TR4-affected area a pest-controlled zone in 2019, implementing control and eradication measures

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การจำแนกเชื้อรา *Fusarium*

เมื่อพิจารณาลักษณะของเชื้อเหี่ยวของลำต้นกล้วยที่เชื้อเข้าทำลายพบว่า มีความแตกต่าง โดยมีทั้งลักษณะของเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายเป็นสีน้ำตาลจนถึงน้ำตาลแดงอย่างชัดเจน รวมถึงที่มีลักษณะสีน้ำตาลอ่อนจาง หรือพบเล็กน้อยในลำต้น อย่างไรก็ตาม เมื่อนำตัวอย่างเนื้อเยื่อมาแยกเชื้อโดยวิธี tissue transplanting พบว่า แม้ลักษณะของเนื้อเยื่อจะมีความแตกต่างของลักษณะเนื้อเยื่อสีน้ำตาลที่พบยังสามารถแยกได้เชื้อรา *Fusarium* (Figure 1) 158 ไอโซเลท แยกเป็น 135 ไอโซเลทจากตัวอย่างเนื้อเยื่อกล้วย 225 ตัวอย่าง และ 23 ไอโซเลทจากเนื้อเยื่อ

กล้วยคาเวนดิช 24 ตัวอย่าง เมื่อจำแนกชนิดเบื้องต้นด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ และกล้องจุลทรรศน์เชิงซ้อน และจำแนกชนิดเบื้องต้นด้วยวิธี phylogenetic reconstruction ด้วยข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *tef1* พบว่า เป็นเชื้อรา *F. oxysporum* จำนวน 108 ไอโซเลท และเป็น *Fusarium* spp. อื่น ๆ อีก 50 ไอโซเลท เช่น *F. solani*, *F. incarnatum*, *F. equiseti* และ *F. fujikuroi* (Figure 1A) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจำแนกชนิดเชื้อรา *Fusarium* ด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาถึงแม้จะสามารถระบุ species ได้ แต่ก็ยังเป็นการจำแนกได้ในระดับกลุ่มใหญ่ สอดคล้องกับการรายงานของ O'Donnell et al. (2009)

ที่รายงานว่าเป็นเชื้อรา *Fusarium* แต่ละชนิดมีความซับซ้อนโดยมีมากกว่า 1 ชนิด ภายใต้ชื่อเดียวกัน (complex species) โดยเฉพาะ *F. oxysporum* complex ดังนั้น การวินิจฉัยระดับห้องปฏิบัติการด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยา สามารถระบุได้เพียงว่าอยู่ในกลุ่ม complex ของ *F. oxysporum* ซึ่งยังไม่สามารถแยกความแตกต่างของชนิดได้ในระดับลึก

2. ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของเชื้อรา *F. oxysporum* f.sp. *cubense*

นำเชื้อรา *F. oxysporum* ที่มีความใกล้ชิดกับ Foc จากการวิเคราะห์เบื้องต้นด้วยข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *tef1* (Figure 1A) 40 ไอโซเลทมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการโดยใช้ชุด

ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์จาก *tef1-rpb2* loci ของเชื้อรา Foc ที่ศึกษาวิเคราะห์รวมกับ type sequence ของเชื้อรา Foc race ต่าง ๆ (Table 1) พบว่า ไอโซเลทของ Foc race 1 สามารถจำแนกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ *F. tardichlamydosporum* 5 ไอโซเลท *F. duoseptatum* 16 ไอโซเลท และ *F. gros-michelii* 14 ไอโซเลท กลุ่ม non-race พบ 1 ชนิด คือ *F. kalimantanense* 2 ไอโซเลท และ Foc TR4 คือ *F. odoratissimum* 3 ไอโซเลท (Figure 2) ซึ่งผลการศึกษพบว่า เชื้อรา Foc race 1 ในประเทศไทยมีความหลากหลาย โดยในกลุ่มนี้ประกอบไปด้วยเชื้อรา *Fusarium* อย่างน้อย 3 ชนิด ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานพบความหลากหลายของ Foc race 1 โดย Maryani et al. (2019)

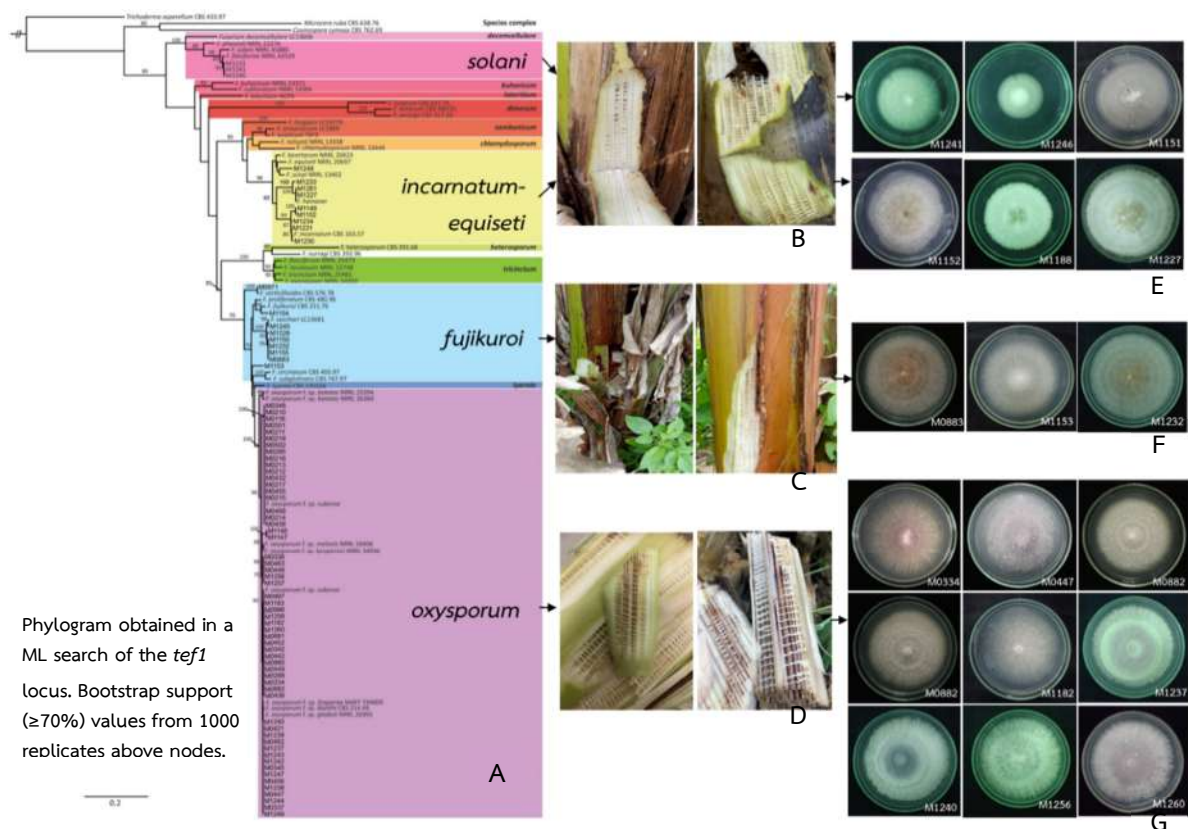


Figure 1 *Fusarium* spp. were recovered from pseudostem tissues exhibiting diverse pigmentation. (A) the phylogram obtained in an ML search of the *tef1* dataset represents the preliminary identification of the *Fusarium* isolates obtained from pseudostem tissues; (B,C,D) the various coloration observed on the banana pseudostem; (E,F,G) the *Fusarium* isolates obtained from the pigmented pseudostem tissues

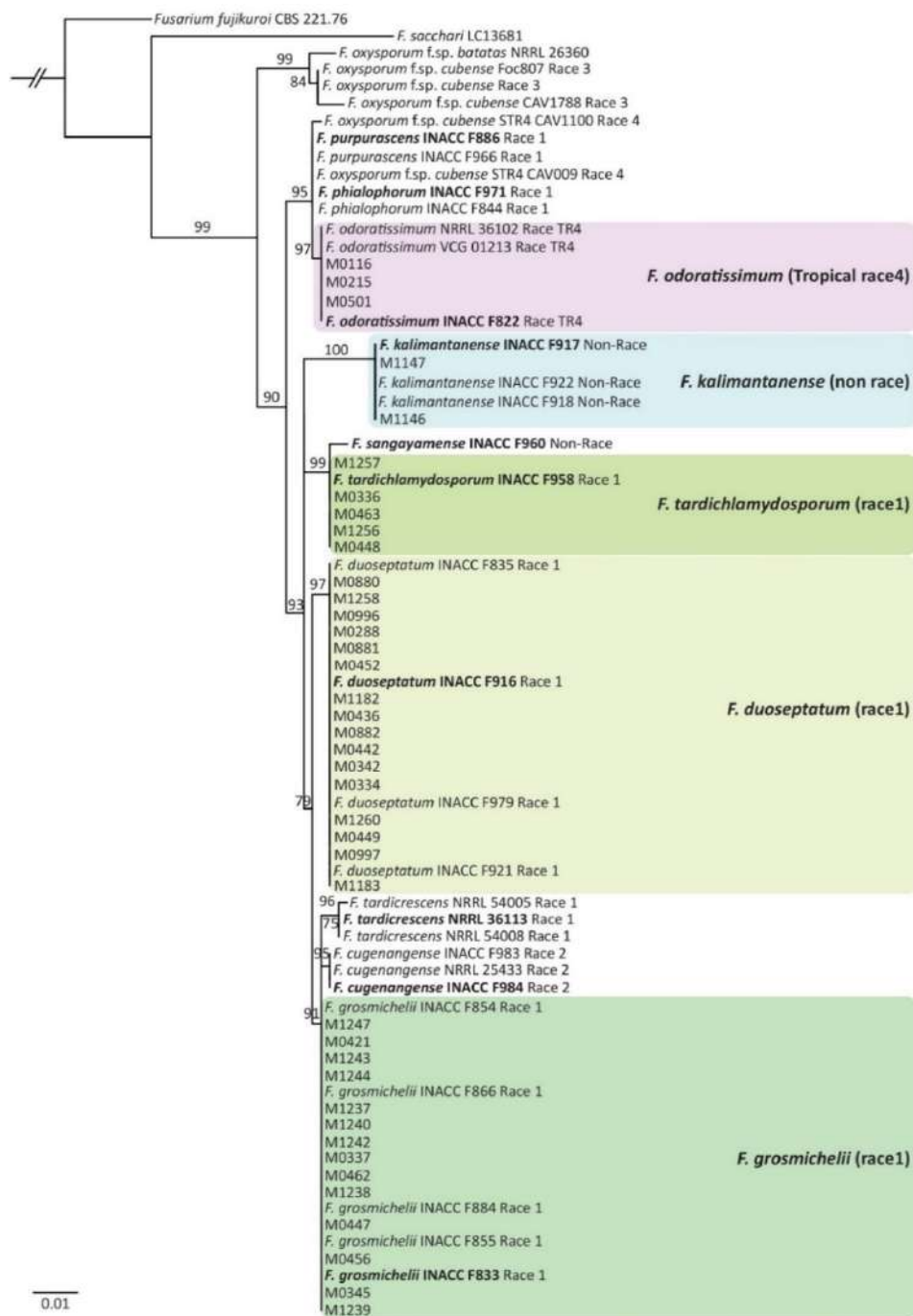


Figure 2 Phylogram obtained from a ML search of the concatenated dataset of the *tef1-rpb2* loci. Bootstrap support ($\geq 70\%$) values from 1000 replicates above nodes; the samples with M followed by number collected from this study

จากตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งปลูกกล้วยพบว่า ลักษณะของเนื้อเยื่อลำต้นกล้วยมีความแตกต่าง โดยมีตั้งแต่ลักษณะเนื้อเยื่อสีน้ำตาลจางเป็นเส้นเล็ก ๆ จนถึงเป็นสีน้ำตาลเข้มทั่วทั้งลำต้น เมื่อเปรียบเทียบ

กับชนิดของเชื้อรา *Fusarium* ที่จำแนกได้ด้วยวิธีการทางชีวโมเลกุลพบว่า ตัวอย่างเนื้อเยื่อที่มีสีอ่อน เส้นน้ำตาลจาง ๆ ไม่ได้ทำให้เกิดอาการที่รุนแรงจนทำให้เนื้อเยื่อกลายเป็นสีน้ำตาลแดง หรือน้ำตาลเข้ม

และภายนอกไม่พบลักษณะอาการเหี่ยว แต่พบเพียงลักษณะของใบเหลืองเพียงเล็กน้อยพบว่า เกิดจากเชื้อรา กลุ่ม *F. solani* complex, *F. incarnatum-equiseti* complex, *F. fujikuroi* complex รวมถึงกลุ่ม non-race เช่น *F. kalimantanense* และตัวอย่างเนื้อเยื่อที่ได้จากต้นกล้วยที่แสดงอาการเหี่ยวอย่างชัดเจน ซึ่งเนื้อเยื่อลำต้นกลายเป็นสีน้ำตาลเข้มพบว่าเกิดจากเชื้อรา *F. duoseptatum* และ *F. gros-michelii* ซึ่งอยู่ในกลุ่มของ race 1 และ *F. odoratissimum* (TR4)

ผลจากการศึกษาสามารถแบ่งระดับการวินิจฉัยโรคเหี่ยวของกล้วยได้ว่า การวินิจฉัยระดับแปลงปลูก เมื่อพิจารณาจากลักษณะอาการ การเข้าทำลายท่อน้ำเลี้ยงสามารถยืนยันได้เพียงอาการของโรคว่าเป็นโรคเหี่ยวหรือตายพราย การวินิจฉัยระดับห้องปฏิบัติการด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาสามารถระบุได้เพียงว่าอยู่ในกลุ่มของ *F. oxysporum*, *F. fujikuroi*, *F. incarnatum-equiseti* หรือ *F. solani* ซึ่งเป็นกลุ่ม *Fusarium* species complex รวมถึง Foc (O'Donnell et al., 2013) (Figure 1) ซึ่งยังไม่สามารถแยกความแตกต่างของชนิดได้ในระดับลึกกว่าระดับของกลุ่ม complex ดังนั้น การจำแนกชนิดในกลุ่มที่เป็น species complex เพื่อให้สามารถระบุชนิดที่ชัดเจนต้องวินิจฉัยระดับห้องปฏิบัติการด้วยข้อมูลชีวโมเลกุลเท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเชื้อรา Foc race 1 โอโซเลทต่างๆ ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไม่ใช่ชนิดเดียวกันและมีความแตกต่างในระดับ species (Figure 2)

ผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเชื้อรา *Fusarium* ในกลุ่มของ race 1 นั้นมีความหลากหลายของสายพันธุ์ มีทั้งที่เป็นสาเหตุโรคพืชโดยที่ทำให้เกิดอาการรุนแรง และไม่ได้ทำให้เกิดอาการรุนแรง รวมถึงสายพันธุ์ที่อยู่ในกลุ่มที่อาศัยอยู่ในพืชโดยไม่แสดงอาการ การจำแนกชนิดที่แม่นยำโดยใช้ข้อมูลของยีน *tef1* และ *rpb2* ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

เชิงวิวัฒนาการช่วยให้สามารถจำแนกชนิดของเชื้อรา Foc ได้อย่างละเอียด โดยสามารถระบุ species ของเชื้อราได้อย่างชัดเจน ซึ่งมีความแม่นยำและวินิจฉัยได้ในระดับลึกกว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยา ที่สามารถระบุได้ที่ระดับกลุ่ม complex เท่านั้น ทั้งนี้จากการจำแนกชนิดและพบ *F. gros-michelii*, *F. duoseptatum*, *F. tardichlamydosporum* และ *F. kalimantanense* รวมถึงศัตรูพืชกักกันอย่าง *F. odoratissimum* ที่ได้รับการควบคุมและกำจัดตามแผนปฏิบัติการฉุกเฉินสำหรับ FOC TR 4 และพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 มาตรา 17 ฉบับแก้ไขเพิ่มเติมแล้ว และมีสถานะไม่ปรากฏในประเทศไทย (FAO, 2022b)

การค้นพบนี้เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญต่อการบริหารจัดการโรค การพิจารณากำหนดแนวทางการป้องกันกำจัดเมื่อทราบชนิดที่ถูกต้อง จะช่วยเสริมสร้างความแข็งแกร่งในการรับมือกับโรคเหี่ยวในกล้วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์กล้วยให้ต้านทานต่อเชื้อราสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่พบในประเทศไทย ข้อมูลที่ได้ทำให้เข้าใจอนุกรมวิธานของเชื้อรา Foc มากขึ้น สามารถนำไปกำหนดมาตรการควบคุมและป้องกันกำจัดที่เหมาะสม อีกทั้งยังสนับสนุนการกักกันพืชที่มีประสิทธิภาพและการเจรจาการค้าสินค้าเกษตรภายใต้มาตรการสุขอนามัยพืช

สรุปผลการทดลอง

การจำแนกชนิดและวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของเชื้อรา Foc ที่พบในกล้วยที่แสดงอาการของโรคตายพรายจากแหล่งปลูกที่สำคัญของประเทศไทย และตรวจสอบชนิดของเชื้อรา *Fusarium* ในกล้วยคาเวนดิชด้วยวิธีทางชีวโมเลกุลพบว่า เชื้อรา Foc กลุ่ม race 1 ที่พบในประเทศไทยมีความหลากหลายทางพันธุกรรมโดยสามารถจำแนก

ชนิดได้ 3 species ได้คือ *F. tardichlamydosporum*, *F. duoseptatum* และ *F. gros-michelii* และพบในกลุ่ม non-race คือ *F. kalimantanense* ส่วนเชื้อรา *Fusarium* ที่แยกได้จากตัวอย่างต้นกล้วยคาเวนดิช คือ *F. odoratissimum* (syn. *F. oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical race 4) ซึ่งเชื้อราทั้ง 5 ชนิด มีความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการที่ใกล้ชิดกันมาก การจำแนกชนิดด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาและข้อมูลพีซีดีดีเอ็นเอไม่สามารถบ่งชี้ความแตกต่างระหว่างชนิดได้ จึงจัดกลุ่มให้อยู่ใน *F. oxysporum* f. sp. *cubense* ทั้งหมด แต่การจำแนกชนิดด้วยข้อมูลความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการสามารถแยกความแตกต่างได้ ซึ่งความแตกต่างที่พบนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการโรค การปรับปรุงพันธุ์ รวมถึงการกักกันพืชของประเทศต่อไป

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ Professor Dr. Roger Shivas และ Dr. Yu Pei Tan จาก University of Southern Queensland, Australia ที่ให้คำปรึกษาในการเก็บตัวอย่างและแยกเชื้อจากเนื้อเยื่อต้นกล้วย รวมถึงคำแนะนำการวิเคราะห์ผล และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนด้านงบประมาณสำหรับการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Booth, C. 1971. The Genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, 237p.
- Brayford, D. 1992. IMI Descriptions of Fungi and Bacteria No. 1112. *Fusarium oxysporum* f. sp. *Batatas*. Mycopathologia. 118(1): 41-42.
- Correll, J.C., C.J.R. Klittich and J.F. Leslie. 1987. Nitrate non-utilizing mutants of *Fusarium oxysporum* and their use in vegetative compatibility tests. Phytopathology. 77(12): 1640-1646.
- Cove, D.J. 1976. Chlorate toxicity in *Aspergillus nidulans*: the selection and characterisation of chlorate resistant mutants. Heredity. 36(2): 191-203.
- Dita, M.A., C. Waalwijk, I.W. Buddenhagen, M.T. Jr Souza and G.H.J. Kema. 2010. A molecular diagnostic for tropical race 4 of the banana fusarium wilt pathogen. Plant Pathology. 59(2): 348-357.
- Dita, M.A., C. Waalwijk, I.W. Buddenhagen, M.T. Jr Souza and G.H.J. Kema. 2011. Corrigendum. Plant Pathology. 60: 384.
- Doungsa-ard, C., A.R. McTaggart, A.D. Geering, T.U. Dalisay, J. Ray and R.G. Shivas. 2015. *Uromycladium falcatarium* sp. nov., the cause of gall rust on *Paraserianthes falcataria* in south-east Asia. Australasian Plant Pathology. 44(1): 25-30.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2014. Prevention and diagnostic of fusarium wilt (Panama disease) of banana caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 (TR4). Available at: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/br126e>. Accessed: December 20, 2023.
- FAO. 2021. ISPM 8: Determination of pest status in an area. Available at: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/x2968e>. Accessed: December 20, 2023.
- FAO. 2022a. FAOSTAT Database. Rome, Italy: FAO. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Accessed: January 8, 2024.
- FAO. 2022b. Detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 in Thailand. Available at: <https://www.ippc.int/en/countries/thailand/pestreports/2019/11/detection-of-fusarium-oxysporum-f-sp-cubense-tropical-race-4-in-thailand/>. Accessed: December 20, 2023.
- Fraser-Smith, S., E. Czişlowski, R.A. Meldrum, M. Zander, W. O'Neill, G.R. Balali and E.A.B. Aitken. 2014. Sequence variation in the putative effector gene SIX8 facilitates molecular differentiation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. Plant Pathology. 63(5): 1044 –1052.

- Katoh, K. and H. Toh. 2008. Recent developments in the MAFFT multiple sequence alignment program. *Briefings in Bioinformatics*. 9(4): 286-298.
- Kearse, M., R. Moir, A. Wilson, S. Stones-Havas, M. Cheung, S. Sturrock, S. Buxton, A. Cooper, S. Markowitz, C. Duran, T. Thierer, B. Ashton, P. Mentjies and A. Drummond. 2012. Geneious Basic: An integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of sequence data. *Bioinformatics*. 28(12): 1647-1649.
- Kumar, S., G. Stecher and K. Tamura. 2016. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7.0 for Bigger Datasets. *Molecular Biology and Evolution*. 33(7): 1870-1874.
- Michielse, C.B. and M. Rep. 2009. Pathogen profile update: *Fusarium oxysporum*. *Molecular Plant Pathology*. 10(3): 311-324.
- Maryani, N., L. Lombard, Y.S. Poerba, S. Subandiyah, P.W. Crous and G.H.J. Kema. 2019. Phylogeny and genetic diversity of the banana *Fusarium* wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in the Indonesian centre of origin. *Studies in Mycology*. 92(1): 155-194.
- O'Donnell, K., C. Gueidan, S. Sink, P.R. Johnston, P.W. Crous, A. Glenn, R. Riley, N.C. Zitomer, P. Colyer, C. Waalwijk, T.v. Lee, A. Moretti, S. Kang, H.S. Kim, D.M. Geiser, J.H. Juba, R.P. Baayen, M.G. Crome, S. Bithell, D.A. Sutton, K. Skovgaard, R. Ploetz, K.H. Corby, M. Elliott, M. Davis and B.A. Sarver. 2009. A two-locus DNA sequence database for typing plant and human pathogens within the *Fusarium oxysporum* species complex. *Fungal Genetics and Biology*. 46(12): 936-948.
- O'Donnell, K., D.A. Sutton, M.G. Rinaldi, B.A. Sarver, S.A. Balajee, H.J. Schroers, R.C. Summerbell, V.A. Robert, P.W. Crous, N. Zhang, T. Aoki, K. Jung, J. Park, Y.H. Lee, S. Kang, B. Park and D.M. Geiser. 2010. Internet-accessible DNA sequence database for identifying fusaria from human and animal infections. *Journal of Clinical Microbiology*. 48(10): 3708-3718.
- O'Donnell, K., H.C. Kistler, E. Cigelnik and R.C. Ploetz. 1998. Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 95(5): 2044-2049.
- Ploetz, R.C. 2005. Panama disease: An old nemesis rears its ugly head Part 2. The Cavendish era and beyond. Online APS Publications. The American Phytopathological Society (APS). Minnesota, USA. Available at: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHP-2006-0308-01-RV>. Accessed: January 8, 2022.
- Ploetz, R.C. 2015. *Fusarium* wilt of banana. *Phytopathology*. 105(12): 1512-1521.
- Ploetz, R.C., G.H. Kema and L.J. Ma. 2015. Impact of diseases on export and smallholder production of banana. *Annual Review of Phytopathology*. 53(1): 269-288.
- Puhalla, J.E. 1985. Classification of strains of *Fusarium oxysporum* on the basis of vegetative compatibility. *Canadian Journal of Botany*. 63(2): 179-183.
- Stamatakis, A. 2014. RAXML version 8: A tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinformatics*. 30(9): 1312-1313.
- Stover, R. H. 1962. *Fusarial wilt (Panama Disease) of bananas and other Musa species*. Commonwealth Mycological Institute. Phytopathological Paper No. 4. Kew, Surrey, England. 117 p.
- Stover, R.H. and I.W. Buddenhagen. 1986. Banana breeding: Polyploidy, disease resistance and productivity. *Fruits*. 41(3): 175-191.
- Stover, R.H. and N.W. Simmonds. 1987. *Bananas*, 3rd ed. Longman, London, UK. 468p.
- Talavera, G. and J. Castresana. 2007. Improvement of phylogenies after removing divergent and ambiguously aligned blocks from protein sequence alignments. *Systematic Biology*. 56(4): 564-5

กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1

Kluai Namwa Variety DOA Sukhothai1

เพ็ญจันทร์ สุทธานุกุล^{1/} อุทัยวรรณ ทรัพย์แก้ว^{1/*} รุ่งลาวัลย์ อินท๊ะวงศ์^{1/} สุภาภรณ์ สาขาดี^{2/}

เอกพล ภูวนารณนฤบาล^{2/} อารีรัตน์ พระเพชร^{1/}

Penchan Sutthanukul^{1/} Uthaiwan Supkaew^{1/*} Runglawan Intawong^{1/} Supaporn Sachati^{2/}

Eakpol Phuwanartnarubal^{2/} Areerat Prapet^{1/}

Received 11 Apr. 2025/Revised 17 Oct. 2025/Accepted 18 Oct. 2025

ABSTRACT

Kluai Namwa variety DOA Sukhothai1 (Sukhothai55-4) has been improved by creating mutations through tissue culture. The regenerated plants were established in a germplasm collection and subsequently selected at the Sukhothai Horticultural Research Center for high yield potential. The selected line exhibits high yield potential, producing no fewer than seven hands per bunch. The fruits are characterized by firm pulp with white to pale yellow flesh, a sweet taste, and good eating quality, making this variety suitable for commercial production and consumption. After comparing the plant lines and testing the varieties at three locations: Sukhothai Horticultural Research Center, Loei Agricultural Research and Development Center, and Phetchaburi Agricultural Research and Development Center, which have different geographical conditions and climates. The results showed that the Kluai Namwa DOA Sukhothai1 produced the highest yield in all three locations, with an average bunch weight of 16.1 kg and 9.8 hands per bunch. The fruit is relatively round, with light cream-colored flesh, a fine-grained, and sweet flesh without sourness. Nutritional analysis of flesh fruit showed higher vitamin B3 and potassium contents than the Mali Ong. The variety was officially certified as a recommended variety by the Department of Agriculture on August 15, 2019, under the name Kluai Namwa variety DOA Sukhothai1, for distribution to farmers. Evaluation of farmer and entrepreneur acceptance indicated the highest level of satisfaction regarding yield, income from sales, production costs, and processing potential. The quality traits including size and weight, fruit shape, starch content, ripe flesh color, and taste were also highly rated. This variety demonstrated strong potential for supporting local economic development through both fresh fruit marketing and value add processing.

Keywords: Kluai Namwa; DOA Sukhothai1; varietal improvement; yield; quality

^{1/} ศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย 64190

^{1/} Sukhothai Horticulture Research Centre, Si Satchanalai, Sukhothai, 64190, Thailand

^{2/} สถาบันวิจัยพืชสวน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{2/} Horticulture Research Institute, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

* Corresponding author: benmolee@hotmail.com

บทคัดย่อ

กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 (สท.55-4) เป็นพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกจากต้นที่กลายพันธุ์ด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งนำมาปลูกรวบรวมพันธุ์ และคัดเลือกสายต้นที่ศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย เพื่อให้ได้ผลผลิตสูง มีจำนวนหัวไม่ต่ำกว่า 7 หัว/เครือ เนื้อแน่น เนื้อมีสีขาวนวลถึงเหลือง รสชาติหวาน คุณภาพการบริโภคดี ผ่านการปลูกเปรียบเทียบสายต้น นำไปปลูกทดสอบเปรียบเทียบพันธุ์ในแหล่งผลิต คือ ศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเลย และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี พบว่า กวก. สุโขทัย1 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุด น้ำหนักเครือเฉลี่ย 16.1 กก. มี 9.8 หัว/เครือ ลักษณะผลค่อนข้างกลม เนื้อมีสีครีมอ่อน ละเอียดเหนียว รสหวาน ไม่ปนเปรี้ยว เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการพบมีวิตามินบี 3 และโพแทสเซียมสูงกว่ากล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง ผ่านการรับรองพันธุ์ประเภทพันธุ์แนะนำจากกรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 15 ส.ค. 2562 โดยใช้ชื่อว่า กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก.สุโขทัย1 เพื่อกระจายพันธุ์ให้เกษตรกร ซึ่งผลการยอมรับของเกษตรกร และผู้ประกอบการพบว่า มีความพึงพอใจมากที่สุดต่อปริมาณผลผลิต รายได้จากการจำหน่าย ต้นทุนการผลิต และการแปรรูป ลักษณะคุณภาพของผลผลิตในด้านขนาดและน้ำหนัก รูปร่างทรงผล ปริมาณแป้งกล้วย สีเนื้อผลสุก รสชาติผลสุก เป็นพืชที่สร้างโอกาสในการพัฒนาเศรษฐกิจท้องถิ่นของชุมชน ทั้งจำหน่ายผลสด และแปรรูป

คำสำคัญ: กล้วยน้ำว้า; กวก.สุโขทัย1; ปรับปรุงพันธุ์; ผลผลิต; คุณภาพ

บทนำ

กล้วยเป็นพรรณไม้ล้มลุกในสกุล *Musa* วงศ์ Musaceae อันดับ Zingiberales เป็นพืชเมืองร้อน มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชีย (เบญจมาศ, 2558)

เมื่อจำแนกตามจีโนม กล้วยน้ำว้าจัดอยู่ในกลุ่ม ABB พัฒนามาจากลูกผสมระหว่างกล้วยป่า (AA) กับกล้วยตานี (BB) แบ่งกลุ่มกล้วยน้ำว้าตามสีของเนื้อ ออกเป็น 3 ชนิด คือ น้ำว้าแดง น้ำว้าขาว และน้ำว้าเหลือง (เบญจมาศ, 2549) นอกจากนี้ยังมีกล้วยน้ำว้าดำ เปลือกมีสีครั่งปนดำ แต่เนื้อมีสีขาว (เบญจมาศ, 2558) ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้า 97,390 ไร่ หรือ 68% ของพื้นที่ปลูกกล้วยทั้งหมด ปลูกมากในภาคกลาง รองลงมาคือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ และ ภาคตะวันออก (ศูนย์สารสนเทศ, 2567) ส่วนใหญ่เป็นการปลูกแบบสวนหลังบ้าน หรือสวนขนาดเล็ก ให้ผลผลิตไม่แน่นอนมีความแปรปรวนจากสภาพแวดล้อม เช่น พันธุ์มะลิอ่อง เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นการค้าแต่มีเมล็ดในผลกล้วยค่อนข้างมาก ส่งผลให้คุณภาพในการบริโภคผลสด และแปรรูปลดลง (เพ็ญจันทร์, 2561) จึงจำเป็นต้องพัฒนาพันธุ์ใหม่ ๆ ที่ให้ผลผลิตและคุณภาพสูง

การปรับปรุงพันธุ์กล้วยมีทั้งได้จากการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติ และการผสมพันธุ์โดยมนุษย์ที่เกิดจากการผสมข้ามเนื่องจากดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกดอกกัน มีข้อจำกัดจากการไม่ติดเมล็ด ถ้ามีเมล็ดการเพาะเมล็ดใช้เวลานานและมีความงอกต่ำมาก ตั้งแต่ 6-40% (เบญจมาศ, 2558) จึงเน้นทำให้เกิดการกลายพันธุ์โดยการกลายพันธุ์จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการกลายพันธุ์โดยวิธีอื่น สามารถเพิ่มอัตราการฟื้นตัวของเซลล์ที่กลายพันธุ์ได้ดี ความเร็วในการกลายพันธุ์และอัตราการขยายพันธุ์ที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยทำให้การผลิตของสายพันธุ์กล้วยมีประสิทธิภาพมากขึ้น (เบญจมาศ, 2558) ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อนั้นอาหารที่นำมาใช้เลี้ยงประกอบด้วยสารเคมีและฮอร์โมนหลายชนิดซึ่งอาจก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ จึงมักพบต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีการกลายพันธุ์ Hwang et al. (1984) ได้ทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยคาเวนดิช

ที่ได้หวนจำนวนล้านต้น พบว่า มีการกลายพันธุ์ 5% ลักษณะที่เกิดขึ้นมี ต้นเตี้ย ใบต่าง ใบไม่เรียบ ใบมีขนาดเล็ก เป็นต้น และในกลุ่มต้นที่มีการกลายพันธุ์ พบต้นที่มีความต้านทานต่อโรค Panama disease race 4 ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการปลูกกล้วยเป็นการค้า จึงได้ทำการขยายพันธุ์ต้นดังกล่าวต่อมา และมีการคัดเลือกต่อไปอีกจนได้เป็นพันธุ์ทางการค้าในปัจจุบัน (เบญจมาศ, 2558) ทำนองเดียวกับกล้วยน้ำว้าพันธุ์ปากช่อง 50 ที่ได้จากการคัดเลือกกล้วยน้ำว้าพันธุ์ต่าง ๆ ที่มีการเก็บรวบรวมไว้ที่สถานีวิจัยปากช่อง ปลูกทดสอบและพัฒนาสายพันธุ์ที่มีเครือใหญ่ จำนวน 7-8 หวี/เครือ ใส่กลางไม่แข็งออกสีเหลือง เนื้อแน่น เมื่อสุกมีความหวานประมาณ 26°Bx (กัลยาณี, 2551)

กรมวิชาการเกษตรได้รวบรวมพันธุ์กล้วยน้ำว้าหลากหลายสายต้นในแต่ละท้องถิ่นไว้ จากข้อมูลเบื้องต้นของแปลงรวบรวมและอนุรักษ์พันธุ์กรรมกล้วย ศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย ซึ่งมีกล้วยน้ำว้าที่รวบรวมจากแหล่งต่าง ๆ สังเกตพบว่ามีต้นที่มีลักษณะกลายพันธุ์จำนวนมาก จากการศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์เบื้องต้นพบกล้วยน้ำว้ามีความแตกต่างกันในหลาย ๆ ลักษณะ เช่น ขนาดและสีของลำต้นเทียม ขนาดของเครือ จำนวนหวีต่อเครือ ขนาดหวี จำนวนผลต่อหวี เป็นต้น สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพันธุ์กรรมสำหรับพัฒนากล้วยน้ำว้าพันธุ์ดี จึงได้ทำการวิจัยเพื่อให้ได้สายพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูง เนื้อแน่น สีเนื้อมีสีขาวนวลถึงเหลือง รสชาติหวาน คุณภาพการบริโภคดี และเป็นที่ยอมรับของเกษตรกร

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การคัดเลือกพันธุ์

นำกล้วยน้ำว้าจากแปลงรวบรวมและอนุรักษ์พันธุ์กรรมกล้วยของศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย และที่รวบรวมได้เพิ่มเติมระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2547-2554 มากกว่า 30 ตัวอย่าง และต้นกล้วยน้ำว้าจากการ

เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อประมาณ 200 ตัวอย่าง ๆ จัดแบ่งแหล่งที่มาของพันธุ์เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่รวบรวมพันธุ์ดีจากแหล่งต่าง ๆ มากกว่า 30 สายต้น/พันธุ์ และกลุ่มที่ได้จากต้นเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากกรมส่งเสริมการเกษตร 200 สายต้น มาทำการปลูกเพื่อศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกล้วยที่รวบรวมตามแบบ Descriptor for Musa (IPGRI, 1996; Musanet, 2016) และประเมินศักยภาพของสายต้น/พันธุ์ เบื้องต้น ได้แก่ ให้ผลผลิตสูง ลักษณะผลกลม สีเนื้อมีสีขาวนวลถึงเหลือง รสชาติหวานไม่ปนเปรี้ยว คุณภาพการบริโภคดี

2. การเปรียบเทียบสายต้น

ดำเนินการเปรียบเทียบกล้วยน้ำว้า 7 สายต้น/พันธุ์ ที่คัดเลือกได้จากขั้นต้นกับพันธุ์การค้า (กล้วยน้ำว้ามะลิอ่อน) ที่ศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย ในปี พ.ศ. 2555-2557 วางแผนการทดลองแบบ RCBD 3 ซ้ำ ขนาดแปลงย่อย 8×24 ม. ระยะปลูก 4×4 ม. (2 แถว) เก็บผลผลิต 2 รุ่น (ต้นแม่ และหน่อรุ่นที่ 1) ใช้เกณฑ์การคัดเลือกคือ ผลผลิตสูง จำนวนหวีต่อเครือมากกว่า 7 หวี มีรสชาติหวานไม่เปรี้ยว เก็บผลผลิตได้แก่ น้ำหนักเครือ จำนวนหวี/เครือ น้ำหนักหวี วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) พร้อมทั้งศึกษาลักษณะทางการเกษตร (เพ็ญจันทร์และคณะ, 2556)

3. การทดสอบพันธุ์ในแหล่งผลิต

ดำเนินการทดสอบเปรียบเทียบในท้องถิ่นกับพันธุ์ที่เกษตรกรปลูกเป็นการค้าในแต่ละแหล่งปลูก คือ กล้วยน้ำว้าเพชรบุรี กล้วยน้ำว้าเขียวเลย และกล้วยน้ำว้ามะลิอ่อน ดำเนินการในศูนย์วิจัยฯ 3 แห่ง คือ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี (ศวพ.เพชรบุรี) ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเลย (ศวพ.เลย) และศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย (ศวส.สุโขทัย) ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2560 วางแผนการทดลองแบบ RCBD 4 ซ้ำ ขนาด

แปลงย่อย 12x32 ม. (3 แถว) ระยะปลูก 4x4 ม. เตรียมหน่อกล้วยทุกสายต้น/พันธุ์โดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อดูแลรักษาดำเนินการเช่นเดียวกับขั้นตอนการเปรียบเทียบพันธุ์ เก็บผลผลิต 2 รุ่น (ต้นแม่และหน่อรุ่นที่ 1) ได้แก่ น้ำหนักเครือ จำนวนหวี/เครือ วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

4. การทดสอบในแปลงเกษตรกร

ดำเนินการเพิ่มจำนวนต้นโดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อให้เพียงพอสำหรับแปลงทดลองในพื้นที่ของเกษตรกร 4 จังหวัด ๆ ละ 3 แปลง ซึ่งเป็นแหล่งปลูก ได้แก่ สุโขทัย เลย เพชรบุรี และกาฬสินธุ์ ปลูกพันธุ์ละ 100 ต้น/แปลง ทดสอบเปรียบเทียบในแปลงเกษตรกรกับพันธุ์การค้า (กล้วยน้ำว้ามะลิอ่อน) ในปี พ.ศ. 2560-2562 เก็บข้อมูลผลผลิต 2 รุ่น (ต้นแม่ และหน่อรุ่นที่ 1) ได้แก่ น้ำหนักเครือ จำนวนหวี/เครือ น้ำหนักหวี เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี t-test

นำตัวอย่างส่งวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับการจัดทำเอกสารประกอบการขอรับรองพันธุ์เป็นพันธุ์แนะนำของกรมวิชาการเกษตร เปรียบเทียบ กับพันธุ์การค้า และดำเนินการขยายพันธุ์เพื่อกระจายพันธุ์ให้เกษตรกรด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

5. การประเมินการยอมรับเกษตรกร และผู้ประกอบการ

เกษตรกรและผู้สนใจมาขอซื้อต้นพันธุ์กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 จึงดำเนินการขยายพันธุ์ด้วยวิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 จำนวน 26,550 ต้น และดำเนินการประเมินระดับความสำเร็จของการนำผลงานวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายในการเพิ่มศักยภาพการผลิตกล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 ในรายที่ได้รับกล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 ปลูกไม่ต่ำกว่า 100 ต้น และผลผลิตในรุ่นแรกออกจำหน่ายสู่ตลาดในปี พ.ศ. 2565-2566 โดยการสุ่มตัวอย่างสัมภาษณ์แบบสอบถามทั้งแบบปลายปิด และปลายเปิด

ประเมินความพึงพอใจจากเกษตรกรผู้ผลิตจำหน่ายผลสด 6 ราย และเกษตรกรผู้ผลิตและผู้ประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์ 4 ราย ในพื้นที่ จ. สุโขทัย กาญจนบุรี อุทัยธานี เพชรบูรณ์ พิษณุโลก และกำแพงเพชร

แบบสัมภาษณ์และการเก็บข้อมูลแบ่งเป็น 3 ตอน ได้แก่ 1) สภาพพื้นฐานทางเศรษฐกิจและสังคม บางประการของเกษตรกร ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา จำนวนสมาชิกแรงงานในครัวเรือน ประสบการณ์ในการปลูกกล้วย สภาพการใช้พื้นที่ ลักษณะการรวมกลุ่มของเกษตรกร แหล่งเงินทุน 2) สภาพการปลูกและเทคโนโลยีการผลิตกล้วยของเกษตรกร ได้แก่ จำนวนพื้นที่ปลูก ปริมาณผลผลิต สภาพพื้นที่ สภาพการใช้แรงงาน วิธีปลูก การดูแลรักษา และวิธีจำหน่ายผลผลิต ต้นทุนการผลิต รายได้ที่เกษตรกรขายได้ 3) ความพึงพอใจต่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 และความคิดเห็นของเกษตรกรที่ได้รับความรู้ แหล่งความรู้ ความต้องการความรู้เพิ่มเติม และปัญหาในการผลิตกล้วยของเกษตรกร โดยการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานทางสังคม พื้นฐานทางเศรษฐกิจ การได้รับความรู้ สภาพพื้นที่และที่ตั้งสวน การดูแลรักษากล้วยของเกษตรกร โดยลักษณะเป็นการวิเคราะห์เชิงพรรณนา สถิติที่ใช้คือ ค่าความถี่ ค่าเฉลี่ย การกำหนดระดับคะแนนในการประเมิน ดังนี้ คะแนน 3.51-4.00 หมายถึง มากที่สุด คะแนน 2.51-3.50 หมายถึง มาก คะแนน 1.51-2.50 หมายถึง น้อย คะแนน 1.00-1.50 หมายถึง น้อยที่สุด

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การคัดเลือกพันธุ์

จากผลการคัดเลือกพันธุ์โดยใช้เกณฑ์ประเมินศักยภาพของสายต้น/พันธุ์ เบื้องต้น ได้แก่ ให้ผลผลิตสูง ลักษณะผลกลม สีเนื้อมีสีขาวนวลถึงเหลือง รสชาติหวานไม่ปนเปรี้ยว คุณภาพการบริโภคดี สามารถคัดเลือก

กล้วยน้ำว้าตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ได้ 7 สายต้น/พันธุ์ ได้แก่ ในกลุ่มที่ 1 คัดเลือกได้ 3 สายต้น/พันธุ์ ได้แก่ กล้วยน้ำว้าฉลวยจันทร์ กล้วยน้ำว้าอุบลราชธานี กล้วยน้ำว้าปากช่อง50 และในกลุ่มที่ 2 คัดเลือก 4 สายต้น/พันธุ์ ได้แก่ กล้วยน้ำว้าสายต้น สท.43-1 กล้วยน้ำว้าสายต้น สท.43-2 กล้วยน้ำว้าสายต้น สท.55-3 และกล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 (สท.55-4)

2. การเปรียบเทียบสายต้น

การเปรียบเทียบสายต้น พบว่า กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 ให้ผลผลิตต้นแม่เป็นน้ำหนักรีดเฉลี่ย 24.7 กก. มี 11 หวี/เครือ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับพันธุ์เปรียบเทียบ ให้น้ำหนักหวีเฉลี่ย 1.96 กก. มีแนวโน้มสูงสุด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ หน่อรุ่นที่ 1 ให้ผลผลิตน้ำหนักรีดเฉลี่ย 18.5 กก. มี 11 หวี/เครือ น้ำหนักหวีเฉลี่ย 1.41 กก. มีแนวโน้มสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ (Table 1) ผลป้อมกลม ผิวเปลือกเมื่อดิบเป็นสีเขียว เนื้อสีครีม กล้วยน้ำว้าที่คัดเลือกให้ผลผลิตมากกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ ทั้งนี้เนื่องจากกล้วยน้ำว้าที่คัดเลือกทั้งต้นแม่ และหน่อรุ่นที่ 1 มีการเจริญเติบโตทั้งความสูงต้น และเส้นรอบวงโคนต้นดีกว่ากล้วยน้ำว้ามะลิอ่อนที่ใช้เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ ซึ่งกล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 เป็นพันธุ์ที่ได้มาจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งอาหารที่นำมาใช้เลี้ยงประกอบด้วยสารเคมีและฮอร์โมนหลายชนิดอาจก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ (เบญจมาศ, 2558) จึงส่งผลให้ได้ลักษณะที่ดีกว่าพันธุ์การค้าที่เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ

3. การทดสอบพันธุ์ในแหล่งผลิต

3.1 ศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย ผลผลิตต้นแม่ มีน้ำหนักรีดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ กล้วยน้ำว้าพันธุ์กวก. สุโขทัย1 มีน้ำหนักรีดมากที่สุด 19.8 กก. ขณะที่จำนวนหวีต่อเครือเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1

มีจำนวนหวีมากที่สุด 12 หวี (Table 2) หน่อรุ่นที่ 1 ทุกพันธุ์ให้ผลผลิตน้ำหนักรีดมากกว่าต้นแม่แต่ทุกพันธุ์ให้ผลผลิตไม่แตกต่างทางสถิติกัน กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 มีน้ำหนักรีดเฉลี่ย 24.5 กก. 13 หวี/เครือ สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของหน่อรุ่นที่ 1 ที่ดีกว่า ซึ่งปกติขนาดของต้นและผลผลิตกล้วยน้ำว้าจะมีขนาดใหญ่ในปีแรกที่ปลูก แล้วเล็กลงในปี (รุ่น) ต่อ ๆ ไป เมื่อพิจารณาข้อมูลสภาพอากาศในปี พ.ศ. 2558 ที่มีความแห้งแล้งยาวนาน ความชื้นสัมพัทธ์ช่วงกลางวันค่อนข้างต่ำ แม้ให้น้ำกล้วยอย่างสม่ำเสมอแล้วก็ตามต่างจากช่วงเวลาของหน่อรุ่นที่ 1 ที่เหมาะสมกว่า สอดคล้องกับ FAO (2019) ที่การปลูกกล้วยควรมีสภาพอากาศอบอุ่น ชุ่มชื้น อุณหภูมิที่เหมาะสม 27-38°ซ. หากสูงหรือต่ำมากจะส่งผลให้กล้วยชะงักการเจริญเติบโต ออกดอกหรือแทงปลีช้า และความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่า 60% ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 20-22 ซม./เดือน

3.2 ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเลย กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 ต้นแม่ให้น้ำหนักรีดเฉลี่ยสูงสุด 8.09 กก. ขณะที่หน่อรุ่นที่ 1 ให้น้ำหนักรีดเฉลี่ยสูงสุด 8.99 กก. ขณะที่จำนวนหวีไม่มีความแตกต่างกันเฉลี่ย 5.82-6.54 หวี/เครือ ขนาดและน้ำหนักรีดที่ ศวพ. เลย ค่อนข้างน้อยกว่าแหล่งทดสอบอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากสภาพดินที่เป็นดินเหนียวปนทรายแบ่งค่อนข้างเป็นกรดมีอินทรีย์วัตถุค่อนข้างต่ำ อีกทั้งการระบายน้ำค่อนข้างเลว ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของกล้วย (Table 2)

3.3 ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 ให้น้ำหนักรีดเฉลี่ยสูงสุด 18.3 กก. จำนวนหวีไม่มีความแตกต่างกันเฉลี่ย 8-9 หวี/เครือ เนื่องจากสภาพแห้งแล้งในปลายปี พ.ศ. 2558 ประกอบกับขาดแหล่งน้ำจึงชะลอการปลูกจนเข้าฤดูฝนในปี พ.ศ. 2559 ทำให้เก็บข้อมูลได้เพียงรุ่นเดียว (ต้นแม่) (Table 2)

Table 1 Average yield and yield components of Kluai Namwa for mother tree and tree clones at Sukhothai Horticultural Research Center in 2012 – 2014

Clone/Variety	Mother tree			Tree clones		
	Weight of bunch (kg)	No. hand/ bunch (hands)	Weight of hand (kg)	Weight of bunch (kg)	No. hand/ bunch (hands)	Weight of hand (kg)
Nuan Chan	12.5 e	8 cd	1.20 c	15.2 abc	9.28 bc	1.70
Ubon Ratchathani	18.7 bc	9 bc	1.84 ab	17.9 ab	10.6 a	1.63
Sukhothai43-1	16.0 cd	8 cd	1.75 ab	14.6 bc	8.33 cd	1.71
Sukhothai43-2	13.4 de	8 cd	1.60 b	12.6 c	8.33 cd	1.41
Sukhothai55-3	17.6 bc	9 bd	1.80 ab	17.6 ab	10.1 ab	1.53
DOA Sukhothai1	24.7 a	11 a	1.96 a	18.5 a	11.2 a	1.41
Pak Chong50	20.0 b	10 ab	1.70 ab	17.4 ab	10.6 a	1.56
Mali Ong	10.1 f	7 d	1.23 c	14.7 bc	8.00 d	1.53
CV (%)	9.63	10.6	8.5	11.2	7.3	15.3

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

ผลการทดสอบทั้ง 3 แหล่ง พบว่า กล้วยน้ำว่า พันธุ์ กวก. สุโขทัย1 ให้ผลผลิตของต้นแม่ และหน่อรุ่นที่ 1 มากที่สุด มีน้ำหนักเครือมากกว่าพันธุ์หรือสายพันธุ์อื่นทั้ง 3 แหล่งทดสอบ (ข้อมูลเฉลี่ย 2 ปี พ.ศ. 2558-2560) คือ 16.1 กก. ขณะที่กล้วยน้ำว่าเพชรบุรี กล้วยน้ำว่าเขียวเลย และกล้วยน้ำว่ามะลิอ่อนให้ผลผลิตเฉลี่ย 2 ปี ใกล้เคียงกัน คือ 13.2 13.3 และ 13.7 กก. ตามลำดับ (Table 2) จำนวนหวีเฉลี่ยทั้ง 3 สถานที่ กล้วยน้ำว่าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 เฉลี่ย 9.8 หวี/เครือ ไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์อื่น ๆ (Table 3) ซึ่งพบว่า มีการตอบสนองของพันธุ์กล้วยในแต่ละพันธุ์แตกต่างกันตามสายพันธุ์และความสามารถในการปรับตัวที่แตกต่างกันของจีโนมในแต่ละพันธุ์ (Lamessa, 2021) ดังนั้นการประเมินการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์และสิ่งแวดล้อมสำหรับลักษณะเฉพาะในภูมิภาคทางนิเวศวิทยาที่แตกต่างกันเป็นสิ่งสำคัญมาก (Gubbuk et al., 2004) ซึ่งกล้วยน้ำว่าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 เป็นสายต้นที่ได้จากต้นเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งในระหว่างกระบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเซลล์พืชอาจมีการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ

ทำให้เกิดลักษณะใหม่ ๆ ที่แตกต่างจากต้นแม่ ตามที่ Larkin and Scowcroft (1981) ได้กล่าวว่าการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสามารถเกิดการแปรผันในระดับเซลล์ (soma clonal variation) ได้ ซึ่งเมื่อเกิดการกลายพันธุ์แล้วสามารถคัดเลือกต้นกล้วยที่มีลักษณะดีตามต้องการเพื่อนำไปพัฒนาพันธุ์ใหม่ต่อไป โดยปัจจัยที่มีผลต่อการแปรผันในระดับเซลล์นี้ พืชที่มีจีโนไทป์แตกต่างกัน จะมีการผันแปรไม่เท่ากัน เช่น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยพันธุ์ New Guinea Cavendish จะมีการผันแปรสูงกว่าพันธุ์ William (Karp, 1995)

4. การทดสอบในแปลงเกษตรกร

จากการทดสอบในแปลงเกษตรกร พบปัญหา กล้วยน้ำว่าเป็นโรคตายพรายในพื้นที่ จ. เลย 2 แปลง สุโขทัย 1 แปลง และกาฬสินธุ์ 2 แปลง ส่งผลเสียหายต่อผลผลิต จึงเก็บผลผลิตจาก 7 แปลงที่เหลือ พบว่า กล้วยน้ำว่าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 มีน้ำหนักเครือเฉลี่ย 8.12 กก. มากกว่ากล้วยน้ำว่ามะลิอ่อน (4.82 กก.) เฉลี่ย 7.93 หวี/เครือ มากกว่ากล้วยน้ำว่ามะลิอ่อน (5.36 หวี) น้ำหนักหวีเฉลี่ย 877 ก. มากกว่ากล้วยน้ำว่ามะลิอ่อน (646 ก.) (Table 4)

Table 2 Average bunch weight (kg) of Kluai Namwa for mother tree and tree clones at Sukhothai Horticultural Research Center, Loei Agricultural Research and Development Center, and Phetchaburi Agricultural Research and Development Center between 2015 and 2017

Variety	Mother tree				Tree clones		
	Sukhothai	Loei	Phetchaburi	Average	Sukhothai	Loei	Average
DOA Sukhothai1	19.8 a	8.09	18.3 a	15.4	24.5	8.99	16.7
Phetchaburi	14.4 b	6.81	15.3 c	12.2	20.6	7.86	14.2
Khiew Loei	14.2 b	6.77	17.2 abc	12.7	20.0	7.91	14.0
Mali Ong	15.9 b	6.88	16.0 bc	12.9	19.6	8.34	14.5
CV (%)	14.4	13.1	7.5		11.1	17	

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

Table 3 Number hands per bunch of Kluai Namwa at Sukhothai Horticultural Research Center, Loei Agricultural Research and Development Center, and Phetchaburi Agricultural Research and Development Center between 2015 and 2017

Variety	Mother tree				Tree clones		
	Sukhothai	Loei	Phetchaburi	Average	Sukhothai	Loei	Average
DOA Sukhothai1	12	6.54	9	9.18	12.6	8.15	10.4
Phetchaburi	9	5.92	8	7.64	10.4	7.19	8.80
Khiew Loei	9	5.82	9	7.94	10.8	6.12	8.46
Mali Ong	10	6.19	9	8.40	11.2	7.57	9.39
CV (%)	10.9	6.3	7		8.2	7.9	

5. ลักษณะทางการเกษตรและคุณค่าทางโภชนาการ

กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 มีลักษณะลำต้นเทียมสูง 4.9 ม. เส้นรอบวง 69 ซม. สีเขียวอมเหลือง (YG 152A) โดยเฉพาะตำแหน่งของหน่อข้างขนานกับต้นแม่เฉลี่ย 11 หน่อ/กอ ลักษณะป็นบนโคนก้านใบมีปาน ร่องก้านใบเปิดโค้งเข้าหากัน แผ่นใบยาว 238 ซม. กว้าง 60 ซม. ก้านใบยาว 78 ซม. ขนาดเส้นรอบวงปลี 37.3 ซม. กว้าง 12.3 ซม. ยาว 32 ซม. ในระยะเก็บเกี่ยวมีรูปร่างเครือเป็นแบบบันไดเวียนมีลักษณะผลค่อนข้างกลม ขนาดผลค่อนข้างใหญ่ (กว้าง 3.8 ซม. และยาว 14.2 ซม.) รูปร่างหน้าตัดผลตามขวางค่อนข้างกลม รูปร่างปลายผลค่อนข้างมน มีสีของเปลือกผลทั้งดิบสีเขียวอมเหลือง (YG 144A) และเปลือกผลสุกมีเหลือง (Y 8C)

เนื้อผลทั้งดิบ และผลสุกมีสีครีมอ่อน (YW 158D YW 158C ตามลำดับ) ความหนาเปลือก 0.1 ซม. น้ำหนักเครือเฉลี่ย 16.1 กก. สูงกว่ากล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง 17% จำนวนหวีเฉลี่ย 9.8 หวี/เครือสูงกว่ากล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง 10% TSS ระหว่าง 22-24 °Bx และเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่ม เหมาะสำหรับการบริโภคสดและแปรรูป (Figure 1)

เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการต่อกล้วยน้ำว้า 100 ก. กล้วยน้ำว้า กวก. สุโขทัย1 มีวิตามินบี 3 (0.006 มก.) สูงกว่ากล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง (0.003 มก.) 97% โพแทสเซียม 309 มก. สูงกว่ากล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง (279 มก.) 11% (Table 5) มีความหวานและเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่ม เหมาะสำหรับการบริโภคสดและแปรรูป

Table 4 Average yield and yield components of Kluai Namwa conducted at 7 farmer's plantations in 2017-2019

Variety	Weight of bunch (kg)	No. bunch	No. hand/bunch (hands)	Weight of hand (g)
DOA Sukhothai1	8.12	7.93	7.93	877
Mali Ong	4.82	5.36	5.36	646
t-test	3.97**	9.29**	3.89**	5.50**

Note: Averaged from 7 farms: Loei 1 farm; Sukhothai 2 farms, Phetchaburi 3 farms and Kalasin 1 farm;

**=significant at $p < 0.01$

Table 5 Nutritional value of Kluai Namwa variety DOA Sukhothai1 and Mali Ong

List	DOA Sukhothai1	Mali Ong
Energy (kcal)	361	353
Protein (percentage by dry weight)	2.38	2.3
Ash (percentage by dry weight)	2.33	2.31
Carbohydrate (percentage by dry weight)	87.0	84.8
Vitamin B3 (mg/100 g)	0.006	0.003
Potassium (mg/100 g)	309	279
Magnesium (mg/100 g)	375	368
Phosphorus (mg/100 g)	351	331



Figure 1 Fruit characteristics of Kluai Namwa variety DOA Sukhothai1

กล้วยน้ำว้านี้ได้ผ่านการพิจารณาจาก คณะกรรมการวิจัยปรับปรุงพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร รับรองเป็นพันธุ์แนะนำเมื่อ 15 ส.ค. 2562 โดยให้ใช้ชื่อว่า กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กว.สุโขทัย1 (กรมวิชาการเกษตร,

2565) และได้รับการเผยแพร่ข้อมูลในสื่อสาธารณะ ตั้งแต่ 28 ม.ค. 2563 เกษตรกรและผู้สนใจนำพันธุ์ ไปปลูก จำหน่ายผลผลิตสู่ตลาด แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ทั้งเป็นกล้วยทับ กล้วยตาก กล้วยม้วน และผลิตภัณฑ์

แบ้งกล้วย มีจุดเด่นด้านรสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการ ต่อมาเอกพลและคณะ (2568) ได้นำกล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 มาปรับปรุงให้มีความต้านทานโรคตายพราย โดยทำให้เกิดการแปรปรวนทางพันธุกรรมด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในสภาพที่มีสาร FA 0.25 mM และ 0.4 mM พบว่า สามารถคัดเลือก soma clonal เบื้องต้นได้ เพื่อจะนำไปทดสอบความต้านทานในโรงเรือน และแปลงปลูกต่อไป

6. การประเมินการยอมรับของเกษตรกร และผู้ประกอบการ

จากการสัมภาษณ์เกษตรกร พบว่า เกษตรกรปลูกกล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก.สุโขทัย1 ในพื้นที่ประมาณ 1-2 ไร่ ปลูกแซมกับพืชหลักชนิดอื่น เพื่อช่วยลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนของสภาพอากาศ เช่น ลมฝน อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เกษตรกรมีรายได้จากการปลูกกล้วยในระยะแรกก่อนที่จะพืชหลักมีผลผลิต โดยปลูกร่วมกับ อินทผาลัม มะม่วง กระเทียม มะปราง ทุเรียน เป็นต้น มีการให้น้ำทั้งโดยการปล่อยน้ำท่วมแปลง และแบบมินิสปริงเกอร์ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ขี้วัว ขี้ไก่ ร่วมกับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ และบางรายใส่ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ยังไม่พบการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืช และโรคพืช มีการตัดแต่งหน่อกล้วยและใบกล้วยและกำจัดวัชพืชโดยใช้แรงงานคน

เกษตรกรมีความพึงพอใจในกล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 ในระดับมากที่สุด (คะแนน 3.6-4.0) ในด้านการผลิต ได้แก่ ดูแลรักษาง่าย การเข้าทำลายโรคแมลงไม่มาก การเจริญเติบโตดี ผลผลิตสูง มีน้ำหนักเครือ จำนวนหวี ขนาด ปริมาณแบ้งกล้วย (ผลดิบ) มาก ระยะเวลาเวลาการสุกช้า สีเนื้อผลสุกสีครีมอ่อน รสชาติไม่เปรี้ยว ส่วนความพึงพอใจเมื่อเทียบกับพันธุ์การค้าเดิมที่ปลูก มีความพึงพอใจในระดับคะแนน 3.9 โดยพอใจในด้านลักษณะทาง

พฤกษศาสตร์ของพันธุ์นี้ ความสูง ลำต้น การแตกกอ ใบ ปลี ผล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการที่สามารถนำไปแปรรูปต้นทุนการผลิต และรายได้ที่ได้รับ

ต้นทุนการผลิต จากการสัมภาษณ์ พบว่า การผลิตกล้วยน้ำว้า กวก. สุโขทัย1 ต้นทุนประกอบด้วย ต้นทุนผันแปรในด้านค่าวัสดุการเกษตร ได้แก่ ค่าต้นพันธุ์ ค่าสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยน้ำ ฮอร์โมน ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงหล่อลื่น และค่าเตรียมดิน ค่าแรงงานกำจัดวัชพืช ค่าแรงงานดูแลรักษา (ใส่ปุ๋ย พ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช รดน้ำ) ค่าแรงงานเก็บเกี่ยว เฉลี่ย 14,771 บาท/ไร่/ปี ต้นทุนคงที่ คือ ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณผลผลิต เป็นเงิน 3,159 บาท/ไร่/ปี รวมต้นทุนทั้งสิ้น 17,930 บาท/ไร่/ปี ผลผลิตเฉลี่ย 100 ต้น(กอ)/ไร่ 1 ต้น (กอ) ได้ 4 เครือ น้ำหนักเครือเฉลี่ย 10 กก./เครือ หรือ 4,000 กก./ไร่ ราคาที่เกษตรกรขายได้ 10 บาท/กก. รายได้ 40,000 บาท/ไร่ กำไรสุทธิ 22,070 บาท/ไร่ เมื่อเกษตรกรแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กล้วยตากแบน กล้วยตากแผ่น ผลผลิตเฉลี่ย 4,000 กก./ไร่ แปรรูปได้ 800 กก. หรือสัดส่วนในการแปรรูป คือ 5:1 เท่าของผลผลิตสด ขายได้ 150 บาท/กก. มีรายได้ 120,000 บาท ต้นทุนการผลิตและแปรรูป 25,930 บาท/ไร่ มีกำไรสุทธิ 94,070 บาท/ไร่/ปี

หากแปรรูปเป็นกล้วยม้วน ผลผลิตเฉลี่ย 4,000 กก./ไร่ ได้กล้วยม้วน 400 กก. หรือสัดส่วนในการแปรรูปคือ 10:1 เท่าของผลผลิตสด กก. ละ 200 บาท คิดเป็นเงิน 80,000 บาท ต้นทุนการแปรรูป 21,930 บาท/ปี กำไรสุทธิ 58,070 บาท/ไร่/ปี

การแปรรูปเป็นกล้วยผง จากกล้วยผลดิบ 7 กก. ได้ผงกล้วย 1 กก. หรือสัดส่วนในการแปรรูปคือ 7:1 เท่าของผลผลิตสดผลิตภัณฑ์เป็นผงกล้วยผสมผงกระเจี๊ยบเขียว ชงดื่ม อัตราส่วน 70:30 โดยปริมาตร ผลผลิตเฉลี่ย 4,000 กก./ไร่ ได้ผงกล้วยดิบ 570 กก. (140 ก./ห่อ)

ได้ผงกล้วยผสมผงกระเจี๊ยบเขียวขงเดิมประมาณจำนวน 4,000 ห่อ (200 ก./ห่อ) ราคาขาย 150 บาท/ห่อ เป็นเงิน 600,000 บาท ต้นทุนการแปรรูป 197,930 บาท/ปี กำไรสุทธิ 402,070 บาท/ไร่ (Table 6)

เกษตรกรสามารถแปรรูปขายเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยในรูปแบบต่าง ๆ ได้ จะสามารถทำให้มีความคุ้มค่ามากกว่าการขายแบบผลผลิตสด สอดคล้องกับงานวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์กล้วยในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ อาทิ อาริรัตน์และคณะ (2558) ได้พัฒนาอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากกล้วย พบว่า กล้วยน้ำว้ามีศักยภาพที่ดีที่สุดในการพัฒนาเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ต่ำ การผลิตพลาสติกชีวภาพจากต้นกล้วยเพื่อประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ การผลิตฟรุตแตนมจากกล้วยและประโยชน์จากกล้วย การใช้แป้งกล้วยชนิดต่าง ๆ ทดแทนแป้งในผลิตภัณฑ์อาหารเส้น โดยการใช้แป้งกล้วยน้ำว้าและแป้งกล้วยไข่ ทดแทนแป้งสาลีดูรเบเชโมลินาได้สูงสุด 20% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด หากทดแทนด้วยแป้งกล้วยในปริมาณสูงกว่านี้ แรงต้านแรงดึงขาดของเส้นพาสต้าลดลงแป้งไม่สามารถรีดเป็นแผ่นและตัดเส้นได้ นาฏยาและอโนชา (2566) ได้ศึกษาการเตรียมแป้งกล้วยดิบจากเนื้อมีกล้วยและจากกล้วยทั้งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพเคมี ฟิสิกส์และค่าดัชนีไกลซีมิก (glycemic index, GI) ของ

แป้งกล้วยดิบ พบว่า แป้งกล้วย (flour) จากกล้วยน้ำว้ามีความสามารถในการย่อยได้ต่ำกว่าแป้งกล้วยจากกล้วยหอม ในการใช้ทั้งผลโดยรวมเปลือกกล้วยรวมไปในการทำแป้งผลด้วยจะทำให้มีไขมันมากขึ้น เนื่องจากเปลือกกล้วยมีเบตาแคโรทีนและสารประกอบฟีนอลิกสูง โดยในเปลือกกล้วยหอมจะมีมากกว่าเปลือกกล้วยน้ำว้า โดยมีค่าดัชนีไกลซีมิกของแป้งกล้วยหอมและกล้วยน้ำว้ามีค่าในช่วง 40.46-45.22 ส่วนในการทำพาสตาควรใช้แป้งจากเนื้อมีกล้วยหอมหรือกล้วยน้ำว้า เนื่องจากการรวมเปลือกผลไปด้วยทำให้เส้นพาสตามีสีน้ำตาลมากกว่าที่เคยใช้บริโภค และโกเมศ (2563) พบว่า กล้วยน้ำว้าและกล้วยหินสามารถผลิตแป้งกล้วยที่มีศักยภาพและมีคุณค่าทางอาหารสูง โดยมีเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการในพื้นที่ จ.สุโขทัย ปทุมธานี และตาก สามารถพัฒนากลุ่มเกษตรกรต้นแบบบ้านปลูกรัก อ. แม่ระมาด จ. ตาก ผลิตแป้งกล้วยน้ำว้าและจัดจำหน่าย ภายใต้แบรนด์น้ำว้า (Nam Wah) ซึ่งเกษตรกรบ้านปลูกรักยังได้รับการพัฒนายกระดับมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ USDA และได้รับการขึ้นทะเบียน อย. สร้างรายได้ 5 แสนบาท/เดือน นอกจากนี้ บ.น้ำว้าทวีผล ยังมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบการพัฒนาแป้งกล้วยผสมผงสมุนไพร เช่น ผงขมิ้นและผงอบเชย เพื่อสร้างทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย

Table 6 Production income data and processing of banana produce by farmers

Sales model	Fresh weight (kg/rai/year)	Proportion of fresh banana production	Processing volume (kg/rai/year)	Sale price (baht/kg)	Income (baht/rai/year)	Net Income (baht/rai/year)
Fresh fruit	4,000		-	10	40,000	22,070 ^{1/}
Flat dried banana products, Dried banana chips		5:1	800	150	120,000	94,070 ^{2/}
Banana roll products		10:1	400	200	80,000	58,070 ^{3/}
Banana powder products		7:1	570	1,052.63	600,000	402,070 ^{4/}

^{1/} Average total production costs are 17,930 baht/rai/year

^{2/} Average total production costs and processing costs 25,930 baht/rai/year

^{3/} Average total production costs and processing costs 21,930 baht/rai/year

^{4/} Average total production costs and processing costs 197,930 baht/rai/year

กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 ได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกในพื้นที่ จ. สุโขทัย มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการวัตถุดิบแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกล้วยน้ำว้าให้กับผู้ประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์กล้วย และกลุ่มอาชีพ 10 กลุ่ม สามารถสร้างเครือข่ายให้เป็นที่รู้จักและยอมรับมากขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรผู้ปลูกกล้วยได้ขายผลผลิตในราคาที่เป็นธรรม คาดการณ์รายได้เมื่อผลผลิตออกมา และได้วัตถุดิบจากแหล่งผลิตที่ดีที่สุด ผลิตสินค้าสู่ท้องตลาดด้วยราคาที่แข่งขันได้ ผลิตสินค้าที่ดีมีเอกลักษณ์โดดเด่นจากสุโขทัยสู่ตลาดโลก (สุภาวดีและคณะ, 2566) ผลักดันให้กล้วยน้ำว้าเป็นพืชที่สร้างโอกาส และจุดแข็งทางด้านเศรษฐกิจของ จ.สุโขทัย (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสุโขทัย, 2563) มีสหกรณ์แปรรูปกล้วย ต.หนองตูม เป็นแหล่งแปรรูปกล้วยใหญ่ที่สุดในประเทศไทย แปรรูปกล้วยน้ำว้าในรูปแบบกล้วยฉาบ กล้วยตาก กล้วยอบเนย กล้วยเบรคแตก ฯลฯ มีปริมาณการผลิต 11,322 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่ามากกว่า 1,132 ล้านบาท (จิรวรรณ, 2565)

สรุปผลการทดลอง

กล้วยน้ำว้าพันธุ์ กวก. สุโขทัย1 ได้จากการคัดเลือกสายต้นที่รวบรวมจากแปลงรวบรวมและอนุรักษ์พันธุ์กรรมกล้วยของศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย เปรียบเทียบและทดสอบในแหล่งปลูกพบว่า มีผลผลิตสูงกว่าพันธุ์การค้า มีน้ำหนักเครือเฉลี่ย 16.1 กก. สูงกว่ากล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง 17% จำนวนหวีเฉลี่ย 9.8 หวี/เครือ สูงกว่ากล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง 10% TSS ระหว่าง 22-24°Bx และเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่ม มีวิตามินบี 3 สูงกว่ากล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง 97% โพแทสเซียม 309 มก./100 ก. เหมาะสำหรับบริโภคสดและแปรรูป ได้รับการยอมรับจากเกษตรกรและผู้ประกอบในด้านผลผลิตและคุณภาพ

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณคณะกรรมการที่ปรึกษาด้านวิชาการของกรมวิชาการเกษตร และคณะกรรมการวิจัยสถาบันวิจัยพืชสวน ที่ให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ผู้อำนวยการศูนย์วิจัย ตลอดจนนักวิชาการ พนักงานราชการ และผู้เกี่ยวข้องทุกคน ทุกหน่วยงาน ที่ให้ความร่วมมือ ให้การสนับสนุน และอำนวยความสะดวก จนสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2565. พันธุ์รับรอง-พันธุ์แนะนำ 2561-2565. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- กัลยาณี สุวิทวัส. 2551. กล้วยน้ำว้าปากช่อง 50. แหล่งข้อมูล: https://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/54/GroupEconomic/17-4-Kunlayanee_Suv/template.html. สืบค้น: 2 มีนาคม 2568.
- โกเมศ สัตยารุ. 2563. แป้งกล้วยกับอาหารทางเลือกเพื่อสุขภาพ. น.ส.พ. กสิกร. 93 (5): 21-23.
- จิรวรรณ โรจนพรทิพย์. 2565. หนองตูม อำเภอกงไกรลาศ สุโขทัย อาณาจักรกล้วยพันล้าน. แหล่งข้อมูล: https://www.khaosod.co.th/technologychaoban/technology-news/article_205535. สืบค้น: 2 กรกฎาคม 2568.
- นาฏยา อริยสุขโมเชิต และอนิชา สุขสมบูรณ์. 2566. สมบัติทางกายภาพและค่าดัชนีไกลซีมิกของแป้งกล้วยดิบและคุณภาพของพาสต้าจากแป้งกล้วยดิบ. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 15(3): 865-881.
- เบญจมาศ ศิลาอ้อย. 2549. กล้วย. หน้า 163-197. ใน: สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่มที่ 30.
- เบญจมาศ ศิลาอ้อย. 2558. กล้วย. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 357 หน้า.
- เพ็ญจันทร์ สุทธานกุล พรธณพกา รัตนโกศล รักชัย คุรุบรรเจตจิต และจารินี จันทร์คำ. 2556. การคัดเลือกสายต้นกล้วยน้ำว้าที่มีศักยภาพทางการค้าเพื่อการบริโภคผลสด/อาหารเพื่อสุขภาพ/การแปรรูป. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/12/การคัดเลือกสายต้น>

กล้วยน้ำว้าที่มีศักยภาพทางการค้า.pdf. สืบค้น:
2 กรกฎาคม 2568.

เพ็ญจันทร์ สุธานุกุล. 2561. กล้วยกินได้ของกรมวิชาการเกษตร.
เกินคุ้มมีเดีย, นนทบุรี. 240 หน้า.

สุภาวดี แซ่ม รุ่งนภา ช่างเจรจา และภัทราภรณ์ ศรีสมรรถการ.
2566. เอกสารประกอบการประเมินโครงการและ
รายงานผลงานวิจัย (บพท.) ระยะ 12 เดือน ตัวแบบ
กระบวนการพัฒนารูปร่างกายได้สภาวะการณวิฤตด้าน
เศรษฐกิจ “กล้วยน้ำว้ารักษำบ้านเกิด” สิ้นค้าเกษตร
สำคัญของจังหวัดสุโขทัยด้วยนวัตกรรม และเปลี่ยน
มุมมองกับกลไกอาชีพเครือข่าย. 23 พฤษภาคม 2566.

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสุโขทัย. 2563. ข้อมูล
เพื่อการวางแผนสินค้าเกษตรที่สำคัญของจังหวัดสุโขทัย
“กล้วยน้ำว้า”. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 33 หน้า.

ศูนย์สารสนเทศ. 2567. พื้นที่ปลูกไม้ผล. กรมส่งเสริมการเกษตร.
แหล่งข้อมูล: [http://production.doae.go.th/report/
report_main_land_02_A_new2.php?report_type=](http://production.doae.go.th/report/report_main_land_02_A_new2.php?report_type=)
สืบค้น: 1 มีนาคม 2568.

อารีรัตน์ การณสถิตชัย โกเมศ สัตยาธุ ภูวสินธ์ ชูสิน ศิริลออ
ราชบุตร วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร ศิริพร เตังรัง อภิษฐ์
พิศาลวัชรินทร์ ประยูร เอ็นมาก กนกศักดิ์ ลอยเลิศ
รุ่งทิวา รอดจันทร์ และเพ็ญจันทร์ สุธานุกุล. 2558.
การพัฒนาการใช้ประโยชน์จากคุณค่าทางโภชนาการ
ของกล้วยและการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปชนิดใหม่ ๆ
เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิต. กรมวิชาการเกษตร.

เอกพล ภูวนารถนฤบาล สุภาภรณ์ สาชาติ อุทัยวรรณ
ทรัพย์แก้ว ธารทิพย์ ภาสบุตร จุฬารัตน์ หน่อแก้ว และ
เพ็ญจันทร์ สุธานุกุล. 2568. การคัดเลือกและพัฒนา
โซมาโคลนของกล้วยน้ำว้าสายพันธุ์สุโขทัย1 และ
มะลิอ่อง เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อโรคตายพรายที่เกิด

จากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*
(Race 1). วารสารแก่นเกษตร. 53(4): 814-830.

FAO. 2019. Crop Description and Climate: Banana.
Crop Information. Available at: [http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop
information/banana/en/](http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/banana/en/). Accessed: March 12, 2019.

Gubbuk, H., M. Pekmezci, A.N. Onus and M. Erkan.
2004. Identification and selection of superior
banana phenotype in the cultivar Dwarf
Cavendish using agronomic characteristics and
RAPD markers. Pakistan Journal of Botany.
36(2): 331-342.

Hwang, S.C., C.L.Chen J.C. Lin and H.L. Lin. 1984.
Cultivation of banana using plantlets from
meristem culture. HortScience. 19(2): 231-233.

IPGRI. 1996. Descriptors for Banana (*Musa* spp). ISBN
10: 92-9043-307-8. 59 p.

Karp, A. 1995. Somaclonal variation as a tool for crop
improvement. Euphytica. 85(1): 295-302.

Lamessa, K. 2021. Performance evaluation of
banana varieties, through farmer's participatory
selection. International Journal of Fruit Science.
21(1): 768-778.

Larkin, P.J. and W.R. Scowcroft. 1981. Somaclonal
variation-A novel source of variability from cell
cultures for plant improvement. Theoretical
and Applied Genetics. 60(4): 197-214.

Musanet. 2016. Minimum List of Descriptors for *Musa*.
The Musanet Taxonomy. 14 p.

การเปรียบเทียบสายพันธุ์สับปะรดโรงงานที่ให้ผลผลิตสูง

Comparison of High-yield Industrial Pineapple Lines

มัลลิกา นวลแก้ว^{1/*} นรีรัตน์ ชูช่วย^{1/} กิรนนท์ เหมาะะประมาณ^{1/} อนุวัฒน์ กำแพงแก้ว^{1/}

Mallika Nualkaew^{1/*} Nareerat Choochuay^{1/} Kiranun Mohpraman^{1/} Anuwat Kumpeangkaew^{1/}

Received 31 Mar. 2025/Revised 24 Oct. 2025/Accepted 31 Oct. 2025

ABSTRACT

The pineapple processing industry used the Pattavia variety as a key raw material. Long use of this variety for cultivation has led to genetic variation, resulting in decreased yields. This research aims to compare high-yielding pineapple lines as alternatives to the Pattavia variety. A comparison trial of six hybrid lines and Pattavia was conducted at Phetchaburi Agricultural Research and Development Center from October 2017 to September 2020. Results showed that line PBI49-03-004 has a yield comparable to Pattavia, followed by line PBI49-07-045, which also has the same yield quality as Pattavia. Moreover, a comparison trial of eleven Pattavia clones and the Pattavia variety was conducted from October 2017 to September 2020 at Phetchaburi Agricultural Research and Development Center. The result showed that clones PBIC54-04-252, PBIC54-05-334, and PBIC54-05-544 had flowering induction exceeding 70% and a fruit/plant ratio higher than that of Pattavia. However, their yield and quality were comparable to Pattavia. From the results of two prior experiments, six pineapple lines, PBI49-03-004, PBI49-07-045, PBIC54-01-161, PBIC54-04-252, PBIC54-05-334, PBIC54-05-544, including Patavia, were selected and tested in production areas from October 2021 to September 2024 at Phetchaburi Agricultural Research and Development Center and Fairtrade Pineapple Growers' Group in Prachuap Khiri Khan Province. Results showed that line PBIC54-04-252 produced an average yield of 11.53 t/rai, which was 30.58% higher than that of Pattavia (8.83 t/rai), with quality equivalent to Pattavia. Therefore, the PBIC54-04-252 line is suitable as a replacement for the Pattavia variety.

Keywords: pineapple; varietal comparison; processed pineapple

^{1/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี ต.สามพระยา อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี 76120

^{1/} Phetchaburi Agricultural Research and Development Center, Sam Phraya, Cha-am, Phetchaburi 76120, Thailand

* Corresponding author: bee210@hotmail.com

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรดใช้พันธุ์ปัตตาเวียเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งปลูกต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานานส่งผลให้เกิดความแปรปรวนทางพันธุกรรมทำให้ผลผลิตลดลง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสายพันธุ์สับปะรดโรงงานที่ให้ผลผลิตสูง เพื่อใช้เป็นทางเลือกทดแทนพันธุ์ปัตตาเวีย จึงดำเนินการเปรียบเทียบพันธุ์ลูกผสม 6 สายพันธุ์ กับพันธุ์ปัตตาเวียระหว่างเดือน ต.ค. 2560-ก.ย. 2563 ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี พบว่าสายพันธุ์ PBI49-03-004 มีผลผลิตเทียบเท่าพันธุ์ปัตตาเวีย รองลงมาได้แก่ สายพันธุ์ PBI49-07-045 มีคุณภาพผลผลิตเทียบเท่าพันธุ์ปัตตาเวีย และเปรียบเทียบสายต้นพันธุ์ปัตตาเวีย 11 สายต้น และพันธุ์ปัตตาเวีย ระหว่างเดือน ต.ค. 2560-ก.ย. 2563 ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี พบว่าสายพันธุ์ PBIC54-04-252, PBIC54-05-334 และ PBIC54-05-544 สามารถชักนำให้ออกดอกได้มากกว่า 70% และมีน้ำหนักต้น/น้ำหนักผลสูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย ผลผลิตและคุณภาพเทียบเท่ากับพันธุ์ปัตตาเวีย แล้วคัดเลือก 6 สายพันธุ์จากการเปรียบเทียบพันธุ์ข้างต้น คือ PBI49-03-004, PBI49-07-045, PBIC54-01-161, PBIC54-04-252, PBIC54-05-334, PBIC54-05-544 และพันธุ์ปัตตาเวีย มาทดสอบพันธุ์ในแหล่งผลิตระหว่างเดือน ต.ค. 2564 - ก.ย. 2567 ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี และแปลงเกษตรกรกลุ่มแฟร์เทรด จ. ประจวบคีรีขันธ์ พบว่า สายพันธุ์ PBIC54-04-252 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 11.53 ตัน/ไร่ สูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย (8.83 ตัน/ไร่) 30.58% และคุณภาพผลผลิตเทียบเท่าพันธุ์ปัตตาเวีย จึงเหมาะสมในการนำไปใช้ปลูกทดแทนพันธุ์ปัตตาเวียต่อไป

คำสำคัญ: สับปะรด; เปรียบเทียบพันธุ์; สับปะรดแปรรูป

บทนำ

การปรับปรุงพันธุ์สับปะรดเน้นการให้ได้ผลผลิตเร็ว มีผลผลิตสูงและสม่ำเสมอในทุกสภาพแวดล้อม ด้านทานโรค ทรงผลสมมาตร จุกขนาดเล็ก อายุการเก็บรักษานาน รสชาติหวาน สี และเนื้อสัมผัสดี ตาตื้น และแกนผลเล็ก รวมทั้งเป็นอาหารสุขภาพที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ (Chan, 2011) อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดจากลักษณะที่เป็น heterozygous ในระดับสูง และผสมตัวเองไม่ติด (self-incompatibility) ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาพันธุ์ใหม่ (Sanewski, 2009) ที่ผ่านมามีการสร้างสับปะรดพันธุ์ใหม่ที่มีศักยภาพด้วยการผสมพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์ เช่น MD2 ที่พัฒนาพันธุ์โดย Pineapple Research Institute (PRI) ในฮาวาย พันธุ์ Aus Jubilee Aus Carnival และ Aus Festival ของออสเตรเลีย พันธุ์ Tainung17 และ Tainung21 ของไต้หวัน พันธุ์ Josapine ของมาเลเซีย พันธุ์ Imperial ของบราซิล พันธุ์ N67-10, Soft Touch, Gold Barrel, Julio Star และ Okinou P17 ของญี่ปุ่น (Ogata et al., 2016) ในประเทศไทยงานวิจัยพัฒนาพันธุ์สับปะรดเพื่อให้มีศักยภาพสูงมีค่อนข้างน้อย เนื่องจากข้อจำกัดด้านชีววิทยาดังกล่าวข้างต้น มีพันธุ์ปัตตาเวียเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด ผลผลิตเฉลี่ย 3.92 ตัน/ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565ก) ซึ่งค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับพันธุ์สับปะรดของประเทศคู่แข่ง เช่น อินโดนีเซีย คอสตาริกา ฟิลิปปินส์ ที่มีผลผลิตสับปะรดเฉลี่ยสูงถึง 20.4 10.5 6.5 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565ข) สาเหตุสำคัญเนื่องจากการปลูกพันธุ์ปัตตาเวียติดต่อกันมาเป็นเวลานาน ทำให้เกิดลักษณะไม่พึงประสงค์มากขึ้น เช่น ผลขนาดเล็ก ทรงไม่เป็นที่ทรงกระบอก สีเนื้อไม่สม่ำเสมอ มีหนามตลอดทั้งใบ อ่อนแอต่อโรคเหี่ยวสับปะรด และขาดความสม่ำเสมอของพันธุ์ทำให้ผลผลิตสุกไม่พร้อมกัน

จึงต้องเก็บเกี่ยวหลายรอบ (ทวีศักดิ์, 2558; อีรวัฒน์, 2537) จากรายงาน Queensland Agricultural Centre ได้จำแนกการกลายพันธุ์ smooth cayenne อย่างน้อย 30 ลักษณะพบเครื่องหมายจีโนมมากถึง 20% (Smith et al., 2005)

กรมวิชาการเกษตรได้ดำเนินการปรับปรุงพันธุ์สับปะรดโรงงานเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูป โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การผสมพันธุ์ (hybridization) และ 2) การคัดเลือกสายต้น (clonal selection) พันธุ์ปัตตาเวียจากแหล่งผลิตสำคัญในส่วนการผสมพันธุ์ได้ทำการเพิ่มความหลากหลายของกลุ่มประชากรโดยผสมข้ามระหว่างสับปะรดกลุ่ม smooth cayenne ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวีย กับกลุ่ม queen ได้แก่ พันธุ์ตราดสีทอง และสวี ได้เมิลล์รุ่นลูกชั่วที่ 1 (F₁) (สมบัติ, 2553) จากนั้นปี พ.ศ. 2552-2558 ปลูกคัดเลือกสับปะรดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 2,987 สายพันธุ์ ตามเกณฑ์กำหนด คือ มีน้ำหนักผลไม่น้อยกว่า 0.80 กก. มี 1 จุก canning ratio 0.85-1.05 ความลึกตาไม่เกิน 1.20 ซม. สามารถคัดเลือกได้ 6 สายพันธุ์ (มัลลิกาและคณะ, 2556ก) ในส่วนการคัดเลือกสายต้นพันธุ์ปัตตาเวียจากแหล่งผลิตสำคัญ ได้แก่ จ. เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชลบุรี ระยอง และสงขลา ได้ทำการคัดเลือกสายต้นที่มีผลรูปทรงกระบอก น้ำหนักผล 1.3-1.5 กก. นำมาปลูกที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี และคัดเลือกตามเกณฑ์ คือ มีน้ำหนักผลไม่น้อยกว่า 0.90 กก. ความกว้างผล 10.0-15.5 ซม. ความกว้างของปลายผลต่อความกว้างของโคนผล (canning ratio) 0.85-1.05 ความกว้างแกนไม่เกิน 2.50 ซม. ความลึกตาไม่เกิน 1 ซม. ปลูกคัดเลือก 2 รอบ สามารถคัดเลือกได้ 11 สายต้น (มัลลิกาและคณะ, 2556ข) จากผลข้างต้นทั้ง 2 ส่วน นำมาประเมินสายพันธุ์ตามขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์สับปะรด (กรมวิชาการเกษตร, 2566) โดยทำการเปรียบเทียบพันธุ์ในศูนย์วิจัยและ

พัฒนาการเกษตรเพชรบุรี จากนั้นนำสายพันธุ์ที่คัดเลือกได้เข้าสู่วิธีการทดสอบพันธุ์ในแหล่งผลิตในพื้นที่ จ. เพชรบุรี และ ประจวบคีรีขันธ์ เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์สับปะรดโรงงานที่ให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพเทียบเท่าพันธุ์ปัตตาเวีย สำหรับเป็นทางเลือกให้เกษตรกรใช้ปลูกทดแทนพันธุ์ปัตตาเวีย

อุปกรณ์และวิธีการ

การประเมินสายพันธุ์แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การเปรียบเทียบพันธุ์ในศูนย์วิจัย และการทดสอบพันธุ์ในแหล่งผลิต

1. การเปรียบเทียบพันธุ์ในศูนย์วิจัย ดำเนินการระหว่าง ต.ค. 2560-ก.ย. 2563 ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี ใช้ต้นพันธุ์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อน้ำหนัก 500 ก. ซึ่งเป็นต้นที่มีอายุ 1 ปี

1.1 การเปรียบเทียบลูกผสม วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ 3 ซ้ำ 7 กรรมวิธี ได้แก่ สับปะรดลูกผสมจาก มัลลิกาและคณะ (2556ก) คือ สายพันธุ์ PBI49-02-027, PBI49-03-004, PBI49-07-045, PBI49-08-071, PBI49-13-005, PBI49-15-010 และมีพันธุ์ปัตตาเวียเป็นพันธุ์เปรียบเทียบ

1.2 การเปรียบเทียบสายต้นสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ 3 ซ้ำ 12 กรรมวิธี สายต้นจาก มัลลิกาและคณะ (2556ข) ได้แก่ สับปะรดสายต้น PBIC54-01-069, PBIC54-01-113, PBIC54-01-161, PBIC54-01-639, PBIC54-04-220, PBIC54-04-252, PBIC54-05-310, PBIC54-05-325, PBIC54-05-334, PBIC54-05-544, PBIC54-05-705 และมีพันธุ์ปัตตาเวียเป็นพันธุ์เปรียบเทียบ

2. การทดสอบพันธุ์ในแหล่งผลิต

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ 3 ซ้ำ 7 กรรมวิธี ได้แก่ สับปะรดสายพันธุ์/สายต้น PBI49-03-004, PBI49-07-045, PBIC54-01-161, PBIC54-04-252,

PBIC54-05-334, PBIC54-05-544 และมีพันธุ์ปัตตาเวีย เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ 1 ถูเก็บเกี่ยว ดำเนินการระหว่าง ต.ค. 2564-ก.ย. 2567 ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร เพชรบุรี อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี และแปลงเกษตรกรกลุ่ม แฟร์เทรด อ.สามร้อยยอด จ.ประจวบคีรีขันธ์

3. การปลูก และจัดการแปลง

แปลงที่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร เพชรบุรีเป็นชุดดินหุบกะพง เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย การอุ้มน้ำต่ำ สภาพเป็นกรดจัดมาก (pH 4.41) ดินไม่เค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 0.39% ปริมาณฟอสฟอรัส ที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง 15.72 มก./กก. โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ 61.29 มก./กก. ส่วนแปลงเกษตรกร กลุ่มแฟร์เทรดเป็นชุดดินปรานบุรี เป็นกรดรุนแรงมาก (pH 4.12) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.02% ปริมาณฟอสฟอรัส ที่เป็นประโยชน์ 109.17 มก./กก. โพแทสเซียมที่ละลาย น้ำได้ 110.58 มก./กก. ใช้แปลงย่อยขนาด 4.5×4.5 ม. ปลูกเป็นแถวคู่ 3 แถวคู่ ระยะระหว่างต้น 25 ซม. ระหว่างแถว 50 ซม.ระหว่างแถวคู่ 100 ซม. พื้นที่เก็บเกี่ยว 3×4 ม. เว้นแถวริม หัวและท้ายแปลง ดูแลรักษาตามระบบ เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับสับปะรด (กรมวิชาการเกษตร, 2545) และใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

บังคับออกดอกที่ 12 เดือนหลังปลูก ด้วยอีทีฟอน 48% w/v SL 7 มล. ผสมกับปุ๋ยยูเรีย 300 ก./น้ำ 20 ลิตร หยอดต้นละ 60-75 มล. ในช่วงเวลา 17 น. เป็นต้นไป 2 ครั้ง ห่างกัน 3 วัน วัดความสูงต้นจากพื้นดินถึงปลายใบ ส่วนบนสุดของต้น เส้นผ่านศูนย์กลางต้นโดยวัดจุดที่ กว้างสุดของทรงพุ่ม วัดความกว้าง-ยาวใบที่ยาวที่สุด ของต้น (D-leaf) และนับจำนวนต้นออกดอกหลัง บังคับดอก 60 วัน

การเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ระดับความสุก 25-30% สุ่มตัวอย่าง 30 ผลจากต้นที่บันทึกการเจริญเติบโต ชั่งน้ำหนักผล (ไม่รวมจุก และไม่รวมก้าน) วัดความยาวผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล และแกนจากจุดกว้างที่สุด

หาอัตราส่วนการถ่ายทอดน้ำหนักต้นเป็นน้ำหนักผล (fruit/plant ratio = น้ำหนักผล/น้ำหนักต้นก่อนการ บังคับดอก) ความยาวผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางผล (fruit length/fruit diameter ratio) ผลมีลักษณะเป็นรูป ทรงกระบอก (canning ratio = ความกว้างของปลาย ผล/ความกว้างของโคนผล) length ratio เป็น อัตราส่วนระหว่างความยาวผลกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ผลซึ่งเกณฑ์ที่กำหนดไว้ความยาวผลไม่น้อยกว่าเส้น ผ่านศูนย์กลางผล

สีผลสุก สีเนื้อ และสีน้ำคั้น วัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ยี่ห้อ Hunter รุ่น MiniScan EZ ตามมาตรฐาน CIELAB color scale สีผิวเปลือกวัด บริเวณกลางผล 2 จุด/ผล สีเนื้อวัดบริเวณกลางผลที่ ผ่าครึ่งผลตามแนวตั้ง 2 จุด/ผล สีน้ำคั้นวัดจากค่าสี ของเหลวในแก้ววางบนหัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. 1 ครั้ง/ผล ความหนาเปลือกวัดด้วยเวอร์เนียร์ คาลิเปอร์ และความลึกตาวัดปลายตาจากเปลือกถึง จุดที่ลึกที่สุดของตาในเนื้อ วัดความแน่นเนื้อ (flesh firmness) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) ที่ผ่าครึ่งผลตามแนวตั้ง 4 จุด/ผล ปริมาณ ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) ด้วย pocket refractometer ยี่ห้อ Atago รุ่น pal-α และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ titratable acidity, TA) โดยใช้วิธี AOAC 1990 (บุญชนะและดำรงค์, 2546)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล และเกณฑ์การคัดเลือกพันธุ์

วิเคราะห์ ความแปรปรวน (analysis of variance) วิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เกณฑ์การคัดเลือก คือ ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูง กว่าพันธุ์ปัตตาเวีย มีคุณภาพผลผลิตตามเกณฑ์ขนาด ผลมาตรฐานสับปะรดโรงงานตามประกาศกระทรวง

เกษตรและสหกรณ์ เรื่อง มาตรฐานสับปะรดโรงงาน ของประเทศไทย พ.ศ. 2543 คุณภาพชั้นหนึ่ง ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผล 10.50-15.50 ซม. ผลมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ความยาวผลไม่น้อยกว่า เส้นผ่านศูนย์กลางผล ความลึกตา ความหนาเปลือก และเส้นผ่านศูนย์กลางแกนน้อยกว่าหรือเทียบเท่าพันธุ์ ปัตตาเวีย เนื้อผลสีเหลืองสม่ำเสมอ เนื้อแน่นไม่เป็นโพรง

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเปรียบเทียบพันธุ์ในศูนย์วิจัย

1.1 การเปรียบเทียบลูกผสม

การเปรียบเทียบสับปะรดลูกผสม พบว่า น้ำหนักต้นก่อนการบังคับออกดอกไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีน้ำหนัก 1.80-2.20 กก./ต้น ลูกผสมทุกสายพันธุ์ สามารถเก็บเกี่ยวได้ก่อนพันธุ์ปัตตาเวีย สายพันธุ์ PBI49-03-004 มีการออกดอกสูงสุด 74.7% สายพันธุ์ PBI49-03-004 และปัตตาเวียให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกันทางสถิติกับสายพันธุ์อื่น ๆ พันธุ์ปัตตาเวีย มีน้ำหนักผลสูงสุด 1.07 กก. แตกต่างกันทางสถิติ รองมา ได้แก่ สายพันธุ์ PBI49-03-004 และ PBI49-07-045 ให้ผล เช่นเดียวกับพันธุ์ Scarlett ที่เป็นลูกผสมระหว่าง smooth cayenne กับ Manzana ที่ตอบสนองการออกดอกได้ดี และเก็บเกี่ยวเร็วกว่า smooth cayenne (d'Eeckenbrugge and Marie, 2000) แต่สายพันธุ์ PBI49-03-004 มีการออกดอกสูงจึงส่งผลให้ผลผลิตสูง (Table 1)

การใช้ต้นพันธุ์จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่มีอายุ 1 ปี เมื่อลงปลูกถึงบังคับออกดอกต้นจึงมีอายุค่อนข้างมาก ขนาดต้นแก่ขึ้นซึ่งอาจส่งผลให้ผลมีขนาดเล็ก และผลผลิตต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยย่อยที่ปลูกจากต้นเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ผลผลิต ขนาดลำ และ

น้ำหนักต่ำกว่าต้นที่ปลูกจากท่อนพันธุ์ (Hoy et al, 2003) เมื่อพิจารณาคุณภาพผลผลิตเปรียบเทียบกับพันธุ์ ปัตตาเวีย พบว่า สายพันธุ์ PBI49-03-004 มีความยาวผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล canning ratio, length ratio, TSS และความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) จัดอยู่ในคุณภาพชั้นหนึ่งตามมาตรฐานสับปะรดโรงงาน สายพันธุ์ PBI49-07-045 มีความยาวผล และขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางผลต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับพันธุ์ปัตตาเวีย ส่วน canning ratio, length ratio, TSS และความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ จัดอยู่ในคุณภาพชั้นสองตามมาตรฐานสับปะรดโรงงาน จากการเปรียบเทียบพันธุ์ พบว่า ผลผลิตที่ได้ไม่ดีไปกว่าพันธุ์ ปัตตาเวียซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Li et al. (2022) ว่าการปรับปรุงพันธุ์ในต่างประเทศยังไม่มีสับปะรด พันธุ์ใหม่ที่ดีกว่า smooth cayenne จึงนำสายพันธุ์ PBI49-03-004 และ PBI49-07-045 เข้าสู่การทดสอบ พันธุ์ในแหล่งผลิต

1.2 การเปรียบเทียบสายต้นสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

สายต้นที่ให้ลักษณะดีเมื่อนำมาปลูกเปรียบเทียบกับพันธุ์ปัตตาเวีย พบว่า น้ำหนักก่อนการบังคับออกดอก ไม่แตกต่างกันทางสถิติ 2.20-3.40 กก./ต้น สายพันธุ์ PBIC54-01-639 มีการออกดอกสูงสุด 85.0% ส่วน พันธุ์ปัตตาเวียมีการออกดอกต่ำสุด 62.7% (Table 2) แต่ละสายต้นมีน้ำหนักผล 1.02-1.33 กก. ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ fruit/plant ratio 0.51-0.60 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ปัตตาเวีย (Table 2) ผลผลิต และคุณภาพผลผลิต แต่ละสายต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ จึงคัดเลือกสายต้นที่มี fruit/plant ratio ลำดับ 1-4 ได้แก่ สายพันธุ์ PBIC54-01-161, PBIC54-04-252, PBIC54-05-334 และ PBIC54-05-544 เข้าสู่การทดสอบพันธุ์ ในแหล่งผลิตต่อไป

Table 1 Yield components and fruit qualities of pineapple lines/cultivar at Phetchaburi Agricultural Research and Development Center in 2020

Line/cultivar	Flowering (%)	Yield (ton/rai)	Fruit weight (kg)	Fruit length (cm)	Fruit diameter (cm)	Canning ratio	Length ratio	Core diameter (cm)	Peel thickness (cm)	Eye depth (cm)	TSS ^{1/} (°Bx)	TA ^{2/} (%)	Firmness (N/mm)
PBI49-02-027	67.3	4.68 b	0.45 c	9.27 d	10.33 bc	0.97 ^{ns/}	0.90 c	2.16 c	0.35 abc	0.83 ab	17.57 a	0.61 b	1.63 ab
PBI49-03-004	74.7	6.02 a	0.73 b	13.80 ab	10.80 ab	0.96	1.28 a	1.73 b	0.38 bc	1.03 bc	16.30 a	0.65 b	1.47 bc
PBI49-07-045	61.7	4.76 b	0.55 bc	11.63 c	9.27 bc	0.98	1.26 a	2.12 c	0.42 c	1.08 c	16.10 a	0.93 ab	1.39 bc
PBI49-08-071	20.0	4.27 b	0.39 c	8.60 d	9.67 bc	0.98	0.90 c	2.11 c	0.35 abc	0.76 a	18.03 a	0.72 b	1.78 ab
PBI49-13-005	25.7	3.77 b	0.39 c	9.93 cd	9.13 c	0.97	1.08 b	1.94 bc	0.33 ab	0.83 ab	15.30 a	0.66 b	2.04 a
PBI49-15-010	51.3	4.61 b	0.44 c	11.97 bc	9.07 c	0.96	1.31 a	1.36 a	0.29 a	0.74 a	13.00 b	0.72 b	1.71 ab
Pattavia	52.3	5.57 a	1.07 a	14.27 a	11.97 a	0.94	1.19 ab	2.47 d	0.35 abc	0.80 ab	16.93 a	1.13 a	1.13 c
CV (%)	-	13.4	23.4	10.2	8.0	2.5	7.3	6.7	11.5	14.3	12.6	22.3	14.3

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

^{1/} Total soluble solid; ^{2/} Titratable acid; ^{ns/} Means in the column are not statistically different

Table 2 Yield components and fruit qualities of pineapple clones/cultivar at Phetchaburi Agricultural Research and Development Center in 2020

Clone/cultivar	Flowering (%)	Yield (ton/rai)	Fruit weight (kg)	Fruit length (cm)	Fruit diameter (cm)	Canning ratio	Length ratio	Core diameter (cm)	Peel thickness (cm)	Eye depth (cm)	TSS ^{1/} (°Bx)	TA ^{2/} (%)	Firmness (N/mm)
PBIC54-01-069	79.3	5.58 ^{ns/}	1.20 ^{ns/}	15.10 ^{ns/}	12.13 ^{ns/}	0.94 ^{ns/}	1.24 ^{ns/}	2.62 ^{ns/}	0.30 ^{ns/}	0.94 ^{ns/}	15.67 ^{ns/}	1.00 ^{ns/}	1.01 ^{ns/}
PBIC54-01-113	74.7	5.50	1.30	16.00	12.33	0.93	1.29	2.62	0.33	0.87	15.83	0.92	1.00
PBIC54-01-161	78.7	4.04	1.09	13.87	12.03	0.96	1.15	2.74	0.34	0.96	16.20	0.92	1.08
PBIC54-01-639	85.0	4.83	1.22	14.40	12.63	0.95	1.14	2.75	0.34	0.91	16.57	0.99	1.05
PBIC54-04-220	76.7	4.82	1.20	14.27	12.50	0.96	1.14	2.56	0.35	0.95	16.90	0.85	1.02
PBIC54-04-252	84.7	5.12	1.02	14.37	11.50	0.96	1.25	2.45	0.33	0.86	14.50	0.91	1.05
PBIC54-05-310	80.3	5.02	1.28	15.70	12.40	0.92	1.26	2.75	0.34	0.97	16.07	0.98	1.09
PBIC54-05-325	80.3	4.64	1.19	15.63	11.83	0.94	1.32	2.34	0.34	0.83	16.30	0.81	0.99
PBIC54-05-334	75.7	5.10	1.18	15.17	12.30	0.95	1.24	2.57	0.36	0.90	15.20	0.82	1.09
PBIC54-05-544	74.7	4.98	1.11	14.77	11.90	0.94	1.24	2.32	0.31	0.82	15.27	0.85	1.10
PBIC54-05-705	71.3	5.80	1.33	15.53	12.67	0.93	1.22	2.86	0.35	0.91	15.07	0.97	1.08
Pattavia	62.7	4.33	1.07	14.27	11.97	0.94	1.19	2.47	0.34	0.80	16.93	0.89	1.13
CV (%)	-	23.9	23.8	12.3	6.5	2.4	7.4	10.1	7.5	13.6	9.0	8.9	10.5

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

^{1/} Total soluble solid; ^{2/} Titratable acid; ^{ns/} Means in the column are not statistically different

2. การทดสอบพันธุ์ในแหล่งผลิต

2.1 การเจริญเติบโต

หลังปลูก 4 เดือน เป็นช่วงฤดูฝนแต่ละสายพันธุ์การเจริญเติบโตใกล้เคียงกันทั้ง 2 แหล่งปลูก การให้น้ำส่งผลให้มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง หลังปลูก 8 เดือนจึงมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน อีกทั้งการจัดการปุ๋ยตามค่าการวิเคราะห์ดิน จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ก่อนบังคับออกดอกสัปดาห์ พบว่าแหล่งปลูก จ. เพชรบุรีทุกสายพันธุ์มีความสูงต้น และความยาวใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีเพียงสายพันธุ์ PBI49-07-045 ที่มีความกว้างต้น และความกว้างใบต่ำกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย ซึ่งสายพันธุ์ PBI49-07-045 เป็นสัปดาห์ลูกผสมระหว่างพันธุ์ปัตตาเวียกับสวี จึงมีขนาดต้นที่คล้ายไปทางพันธุ์สวีซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม queen ที่ขนาดต้นเล็กกว่าพันธุ์ในกลุ่ม smooth cayenne น้ำหนักก่อนบังคับออกดอก พบว่า ทุกสายพันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 3) ส่วนแหล่งปลูก จ. ประจวบคีรีขันธ์ทุกสายพันธุ์มีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกันมีเพียงสายพันธุ์ PBI49-07-045 มีความสูงต้น และความยาวใบต่ำสุดแตกต่างจากสายพันธุ์

อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พันธุ์ปัตตาเวียมีน้ำหนักต้นสูงสุด แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสายพันธุ์ PBIC54-01-161 (Table 4) ต้นสัปดาห์ที่พร้อมบังคับออกดอกควรมีอายุ 7-9 เดือนขึ้นไปเมื่อปลูกด้วยหน่อมีน้ำหนักต้น 2.50-2.80 กก. 45 ใบขึ้นไป ลักษณะโคนต้นอวบใหญ่ (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560)

2.2 การออกดอก

สัปดาห์ตอบสนองต่อการออกดอกแตกต่างกันที่เพชรบุรี พบ 4 สายพันธุ์ที่ออกดอกสูงกว่า 70% ได้แก่ สายพันธุ์ PBIC54-01-161, PBIC54-04-252, PBIC54-05-334 และ PBIC54-05-544 (Table 3) แปลงเกษตรกรประจวบคีรีขันธ์ มี 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ PBIC54-04-252, PBIC54-05-334 และ PBIC54-05-544 (Table 4) สายพันธุ์ที่ตอบสนองต่อการบังคับออกดอกดีในทั้ง 2 แหล่ง ได้แก่ สายพันธุ์ PBIC54-04-252, PBIC54-05-334 และ PBIC54-05-544 การตอบสนองต่อบังคับออกดอกสูงส่งผลให้มีผลผลิตสูง และจัดการแปลงได้ง่าย ไม่ต้องบังคับออกดอกซ้ำ ซึ่งจะส่งผลให้มีการเก็บเกี่ยวผลผลิต 2 รุ่น และการจัดการแปลงซับซ้อนขึ้น

Table 3 Pineapple plant weight, height and diameter; and leaf width and length at 12 months after planting before induced flowering and flowering response at Phetchaburi Agricultural Research and Development Center in 2023

Line/cultivar	Plant weight (kg)	Plant height (cm)	Plant diameter (cm)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Flowering (%)
PBI49-03-004	1.72 ^{ns/}	82.6 ^{ns/}	78.7 abc	5.3 ab	66.6 ^{ns/}	58.0
PBI49-07-045	1.83	68.7	63.7 c	5.0 b	57.7	69.1
PBIC54-01-161	1.79	82.6	81.8 ab	5.6 ab	71.3	71.9
PBIC54-04-252	1.93	94.1	93.7 a	6.3 a	81.3	87.0
PBIC54-05-334	2.10	89.8	75.4 bc	4.9 b	76.1	72.5
PBIC54-05-544	2.42	87.7	83.5 ab	5.7 ab	74.3	70.4
Pattavia	2.01	83.8	86.3 ab	6.2 a	70.5	49.4
CV (%)	12.9	10.8	10.6	9.2	12.2	-

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

^{ns/} Means in the column are not statistically different

Table 4 Pineapple plant weight, height and diameter; and leaf width and length at 12 months after planting before induced flowering and flowering response at Fairtrade Pineapple Growers' Group in 2023

Line/cultivar	Plant weight (kg)	Plant height (cm)	Plant diameter (cm)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Flowering (%)
PBI49-03-004	1.93 c	85.5 ab	93.4 ^{ns/}	5.4 ^{ns/}	73.8 ab	59.0
PBI49-07-045	2.23 bc	73.1 b	85.3	4.8	65.8 b	68.5
PBIC54-01-161	2.77 ab	82.1 ab	79.2	5.1	71.8 ab	63.6
PBIC54-04-252	2.31 bc	85.8 ab	89.3	5.0	72.3 ab	75.6
PBIC54-05-334	2.56 bc	95.4 a	94.0	5.0	81.6 a	70.7
PBIC54-05-544	2.53 bc	89.8 a	94.9	5.7	77.0 a	76.2
Pattavia	3.38 a	93.2 a	94.0	5.1	80.9 a	55.2
CV (%)	16.3	8.1	8.7	8.0	7.2	-

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

^{ns/} Means in the column are not statistically different

2.3 ผลผลิต

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม พบว่าแหล่งปลูกไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตสายพันธุ์ PBIC54-04-252 ให้ผลผลิตสูงสุด 11.53 ตัน/ไร่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ปัตตาเวียที่มีผลผลิต 8.83 ตัน/ไร่ (Table 5) ผลผลิตเฉพาะแหล่งปลูกจ.เพชรบุรี พบว่าสายพันธุ์ PBIC54-04-252 ให้ผลผลิตสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ปัตตาเวีย (Table 6) ส่วนแหล่งปลูกจ.ประจวบคีรีขันธ์ สายพันธุ์ PBIC54-04-252 และ PBIC54-05-544 ให้ผลผลิตสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ปัตตาเวีย (Table 7)

2.4 องค์ประกอบผลผลิต

จาก 2 แหล่ง ทุกสายพันธุ์ให้น้ำหนักผล และความยาวผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 6-7) อย่างไรก็ตาม fruit/plant ratio เป็นลักษณะทางจีโนไทป์มีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างน้ำหนักผลและน้ำหนักต้น คือ น้ำหนักผลขึ้นอยู่กับขนาดของต้น ส่วนใหญ่มี fruit/plant ratio 0.60 (Chan and Lee, 2000) ซึ่งที่เพชรบุรี สายพันธุ์ PBIC54-04-252 มี fruit/plant ratio สูงสุด 0.68 และสายพันธุ์ PBI54-07-045 ต่ำสุด 0.45

ส่วนที่ประจวบคีรีขันธ์ให้ผลไปในทำนองเดียวกัน แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทั้ง 2 แหล่งปลูก (Table 6-7)

ขนาดผล และ canning ratio ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทั้ง 2 แหล่งปลูก ทุกสายพันธุ์มี canning ratio มากกว่า 0.90 หรือผลมีลักษณะเป็นทรงกระบอก (Table 6-7) ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลให้ผลไปในทำนองเดียวกันทั้ง 2 แหล่ง โดยสายพันธุ์ PBI49-07-045 มีเส้นผ่านศูนย์กลางผลต่ำสุดแตกต่างจากสายพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกสายพันธุ์มี length ratio มากกว่า 1.0 โดยสายพันธุ์ PBI49-07-045, PBIC54-04-252, PBIC54-05-334, PBIC54-05-544 และพันธุ์ปัตตาเวียจัดอยู่ในกลุ่มที่มี length ratio สูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วน length ratio จากแหล่งปลูกจ.ประจวบคีรีขันธ์ สายพันธุ์ PBI49-07-045, PBIC54-04-252, PBIC54-05-544 และพันธุ์ปัตตาเวียซึ่งให้ผลไปในทำนองเดียวกับผลผลิตจากแหล่งปลูกจ.เพชรบุรี (Table 6-7)

คุณภาพผลผลิตจากทั้ง 2 แหล่งปลูกทุกสายพันธุ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแกน ความหนาเปลือก ความลึกตา และ

ความแน่นเนื้อ ซึ่งทั้ง 4 ลักษณะมีผลต่อการแปรรูป สับปะรดกระป๋องทุกสายพันธุ์ไม่แตกต่างกับพันธุ์ปัตตาเวีย ส่งผลให้โรงงานแปรรูปไม่ต้องปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต

TSS จากทั้ง 2 แหล่ง ทุกสายพันธุ์ไม่แตกต่างกัน ทางสถิติ ส่วน TA ของผลผลิตจากแหล่งปลูก จ. เพชรบุรี สายพันธุ์ PBI49-07-045 มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ สูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสายพันธุ์อื่น ส่วนผลผลิตจากแหล่งปลูก จ. ประจวบคีรีขันธ์ทุกสายพันธุ์มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 6-7)

แหล่งปลูก จ. เพชรบุรี ทุกสายพันธุ์มีสีโทน เหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ปัตตาเวีย สีเนื้อ ที่มีสีเหลืองอ่อน โดยสายพันธุ์ PBIC54-04-252, PBIC54-05-334 และ PBIC54-05-544 เนื้อมีสีเหลือง เข้มกว่าพันธุ์ปัตตาเวียแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สีน้ำคั้นของเพชรบุรีมีสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนแหล่งปลูก จ. ประจวบคีรีขันธ์ ทุกสายพันธุ์มี สีเหลืองอ่อนไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ปัตตาเวีย ทุกสายพันธุ์เนื้อมีสีเหลือง (Table 8-9)

การทดสอบพันธุ์ในแหล่งผลิต พบว่า สับปะรด สายพันธุ์ PBI49-03-004 และ PBI49-07-045 มีผลขนาดเล็ก เก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็วกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย การปรับปรุง พันธุ์สับปะรดที่ผ่านกรมวิชาการเกษตรได้รับรองพันธุ์ สับปะรดพันธุ์ กวก. เพชรบุรี 2 ซึ่งมีอัตราส่วนน้ำหนักเนื้อ ต่อน้ำหนักผล 0.29 สูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวียที่ 0.23 แกนผล เล็กกว่าพันธุ์ปัตตาเวียซึ่งส่งผลดีต่อโรงงานแปรรูป แต่ ผลผลิตเทียบเท่าพันธุ์ปัตตาเวีย (มัลลิกาและคณะ, 2565)

จากการดำเนินการทั้ง 2 แหล่งปลูกทุกสายพันธุ์ มีน้ำหนักผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สายพันธุ์ PBIC54-04-252 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 11.53 ตัน/ไร่ สูงกว่าพันธุ์ ปัตตาเวีย (8.83 ตัน/ไร่) 30.58% แตกต่างกันทางสถิติ (Table 5) ความแตกต่างของผลผลิตอาจสัมพันธ์กับอัตรา การตอบสนองต่อการบังคับดอกของสายพันธุ์ PBIC 54-04-252 ที่สูงกว่า (87.0 และ 75.6%) เมื่อเทียบกับพันธุ์ปัตตาเวีย (49.4 และ 55.2%) (Table 3-4) ซึ่งอาจส่งผลให้มีการ ติดผลมากขึ้น และนำไปสู่ผลผลิตต่อไร่ที่สูงกว่าพันธุ์ ปัตตาเวีย สอดคล้องกับ Wassman (1982) ที่คัดเลือก สับปะรดโดยวิธี clonal selection ในประเทศออสเตรเลีย ได้ผลที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 10-15%

Table 5 Yield comparison of pineapple lines/cultivar at Phetchaburi Agricultural Research and Development Center and Fairtrade Pineapple Growers' Group in 2024

Line/cultivar	Yield		Line/cultivar means (ton/rai)
	Phetchaburi Agricultural Research and Development Center (ton/rai)	Fairtrade Pineapple Growers' Group(ton/rai)	
PBII49-03-004	9.36	9.47	9.42 cd
PBII49-07-045	6.93	6.94	6.94 e
PBIIC54-01-161	9.47	9.52	9.50 bcd
PBIIC54-04-252	11.50	11.57	11.53 a
PBIIC54-05-334	10.36	10.37	10.37 bc
PBIIC54-05-544	10.25	10.77	10.51 b
Pattavia	8.83	8.83	8.83 d
Planting area means	9.53 B	9.64 A	9.58

CV = 8.6%

Yield between line/cultivar means or between planting area means, followed by the same letter, are not significantly different at the 5% level by DMRT

Table 6 Yield components and fruit qualities of pineapple lines/cultivar at Phetchaburi Agricultural Research and Development Center in 2024

Line/cultivar	Yield (ton/rai)	Fruit/ plant ratio	Fruit weight (kg)	Fruit length (cm)	Fruit diameter (cm)	Canning ratio	Length ratio	Core diameter (cm)	Peel thickness (cm)	Eye depth (cm)	TSS ^{1/} (°Bx)	TA ^{2/} (%)	Firmness (N/mm)
PB149-03-004	9.36 b	0.64 ^{ns/}	1.08 ^{ns/}	14.10 ^{ns/}	12.22 a	0.95 ^{ns/}	1.15 bc	2.42 ^{ns/}	0.35 ^{ns/}	0.74 ^{ns/}	14.57 ^{ns/}	0.69 bc	1.06 ^{ns/}
PB149-07-045	6.93 c	0.45	0.83	14.91	10.71 b	0.96	1.38 a	2.26	0.32	0.84	14.76	0.88 a	1.07
PB1C54-01-161	9.47 b	0.65	1.22	14.37	12.64 a	0.93	1.13 c	2.48	0.36	0.76	14.29	0.62 c	1.02
PB1C54-04-252	11.50 a	0.68	1.25	15.56	12.47 a	0.91	1.24 abc	2.46	0.35	0.81	15.24	0.61 c	1.05
PB1C54-05-334	10.36 ab	0.60	1.21	15.54	12.44 a	0.94	1.25 abc	2.43	0.33	0.80	14.72	0.69 bc	1.01
PB1C54-05-544	10.25 ab	0.54	1.29	15.88	12.43 a	0.91	1.28 ab	2.45	0.33	0.77	15.03	0.66 c	1.06
Pattavia	8.83 b	0.56	1.12	15.43	12.14 a	0.92	1.27 abc	2.43	0.34	0.84	15.11	0.78 b	1.09
CV (%)	9.1	21.6	17.6	8.3	4.0	3.3	5.8	6.5	5.3	5.0	6.9	8.2	5.9

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

^{1/} Total soluble solid; ^{2/} Titratable acid; ^{ns/} Means in the column are not statistically different

Table 7 Yield components and fruit qualities of pineapple line/cultivar at Fairtrade Pineapple Growers' Group in 2024

Line/cultivar	Yield (ton/rai)	Fruit/plant ratio	Fruit weight (kg)	Fruit length (cm)	Fruit diameter (cm)	Canning ratio	Length ratio	Core diameter (cm)	Peel thickness (cm)	Eye depth (cm)	TSS ^{1/} (°Bx)	TA ^{2/} (%)	Firmness (N/mm)
PB149-03-004	9.47 bc	0.59 ^{ns/}	1.11 ^{ns/}	14.39 ^{ns/}	12.29 a	0.93 ^{ns/}	1.16 bc	2.43 ^{ns/}	0.34 ^{ns/}	0.80 ^{ns/}	13.75 ^{ns/}	0.70 ^{ns/}	1.13 ^{ns/}
PB149-07-045	6.94 d	0.37	0.82	14.82	10.77 b	0.94	1.37 a	2.28	0.36	0.83	14.77	0.86	1.09
PB1C54-01-161	9.52 bc	0.48	1.25	14.39	12.94 a	0.94	1.11 c	2.57	0.34	0.76	13.97	0.61	0.95
PB1C54-04-252	11.57 a	0.58	1.31	16.13	12.58 a	0.90	1.28 ab	2.45	0.35	0.83	14.92	0.63	1.03
PB1C54-05-334	10.37 abc	0.48	1.22	15.11	12.43 a	0.92	1.21 bc	2.45	0.35	0.82	15.21	0.66	1.04
PB1C54-05-544	10.77 ab	0.53	1.37	16.27	12.81 a	0.91	1.26 ab	2.47	0.36	0.78	14.90	0.67	1.05
Pattavia	8.83 c	0.38	1.15	15.80	12.31 a	0.91	1.27 ab	2.37	0.33	0.86	14.24	0.73	1.13
CV (%)	8.2	19.0	17.4	8.9	4.4	2.7	5.8	5.5	9.2	5.4	6.0	15.7	6.9

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

^{1/} Total soluble solid; ^{2/} Titratable acid; ^{ns/} Means in the column are not statistically different

Table 8 Color of the peel, pulp, and juice of pineapple lines/cultivar at Phetchaburi Agricultural Research and Development Center in 2024

Line/cultivar	Peel color			Pulp color			Juice color		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
PBI49-03-004	36.79 ^{ns/}	4.41 b	16.10 ^{ns/}	66.85 bc	-2.33 bc	16.57 ^{ns/}	57.47 ^{ns/}	0.47 ^{ns/}	23.36 abc
PBI49-07-045	39.92	9.77 a	23.02	64.71 abc	-2.19 bc	21.38	64.15	0.84	26.68 a
PBIC54-01-161	35.50	3.83 b	18.43	63.34 abc	-2.11 ab	14.32	55.31	0.14	21.44 c
PBIC54-04-252	36.18	2.93 b	17.37	56.39 a	-1.76 a	12.97	72.30	0.55	21.35 c
PBIC54-05-334	39.42	5.99 ab	21.93	57.25 a	-2.04 ab	16.76	62.75	0.62	25.09 ab
PBIC54-05-544	35.79	3.73 b	15.25	61.42 ab	-2.10 ab	15.32	59.73	0.28	22.71 bc
Pattavia	39.99	4.01 b	17.34	71.62 c	-2.57 c	17.41	65.43	0.05	24.81 abc
CV (%)	9.5	46.8	17.6	7.1	10.3	16.7	11.8	96.0	7.9

In a column, means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT; ^{ns/} Means in the column are not statistically different

Table 9 Color of the peel, pulp, and juice of pineapple line/cultivar at Fairtrade Pineapple Growers' Group in 2024

Line/cultivar	Peel color			Pulp color			Juice color		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
PBI49-03-004	36.82 ^{ns/}	4.09 ^{ns/}	16.23 ^{ns/}	58.53 ^{ns/}	0.46 ^{ns/}	22.64 b	62.10 ^{ns/}	-1.81 ^{ns/}	15.61 ^{ns/}
PBI49-07-045	40.02	9.39	23.37	58.82	0.97	26.60 a	59.58	-1.95	20.46
PBIC54-01-161	36.58	4.49	26.38	54.93	0.26	21.29 b	61.93	-2.19	15.77
PBIC54-04-252	38.06	4.45	18.23	57.70	0.37	22.18 b	58.89	-1.81	13.72
PBIC54-05-334	38.32	3.52	16.91	60.38	0.48	23.49 b	58.35	-1.97	16.47
PBIC54-05-544	37.01	2.25	16.48	59.92	0.33	23.40 b	60.58	-2.03	13.89
Pattavia	37.15	3.88	15.90	63.01	0.36	23.82 ab	61.36	-2.13	13.57
CV (%)	7.1	51.4	32.6	58.53	0.46	6.9	8.2	18.6	17.0

In a column, means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT; ^{ns/} Means in the column are not statistically different

จากเกณฑ์ที่กำหนดให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย มีคุณภาพคุณภาพชั้นหนึ่งตามเกณฑ์ขนาดผลมาตรฐานสับประรดโรงงานตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สายพันธุ์ PBIC54-04-252 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผล 10.77-12.94 ซม. ผลมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก (canning ratio 0.90-0.96) ความยาวผลไม่น้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางผล (length ratio 1.11-1.38) ความลึกตา 0.74-0.83 ซม. ความหนาเปลือก 0.32-0.36 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางแกน 2.26-2.48 ซม. เนื้อเป็นสีเหลืองอ่อน-เหลืองสม่ำเสมอ แน่นไม่เป็นโพรง (Figure 1) ในต่างประเทศสับประรดพันธุ์การค้าหลายสายพันธุ์พัฒนาพันธุ์ด้วยการคัดเลือกสายต้นจาก

แหล่งปลูก เช่น ฮาวายพันธุ์ F200 และ Champaka ของฮาวาย C8 C10 C13 และ C30 ของออสเตรเลีย และ Tainung No.1 Tainung No.2 และ Tainung No.3 ของไต้หวันได้จากคัดเลือกสายต้นจากสับประรด smooth cayenne (Py et al., 1987; Office of the Gene Technology Regulator, 2008; Guan, 2018) การวิจัยนี้สายพันธุ์ PBIC54-04-252 ที่คัดเลือกได้จากพันธุ์ปัตตาเวียซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม smooth cayenne เช่นกัน มีศักยภาพเหมาะสมสำหรับการปลูกเป็นวัตถุดิบสับประรดกระป๋องที่เป็นประโยชน์ต่อโรงงานที่ไม่จำเป็นต้องปรับกระบวนการผลิต และเกษตรกรที่จะได้ผลผลิตสูงขึ้น

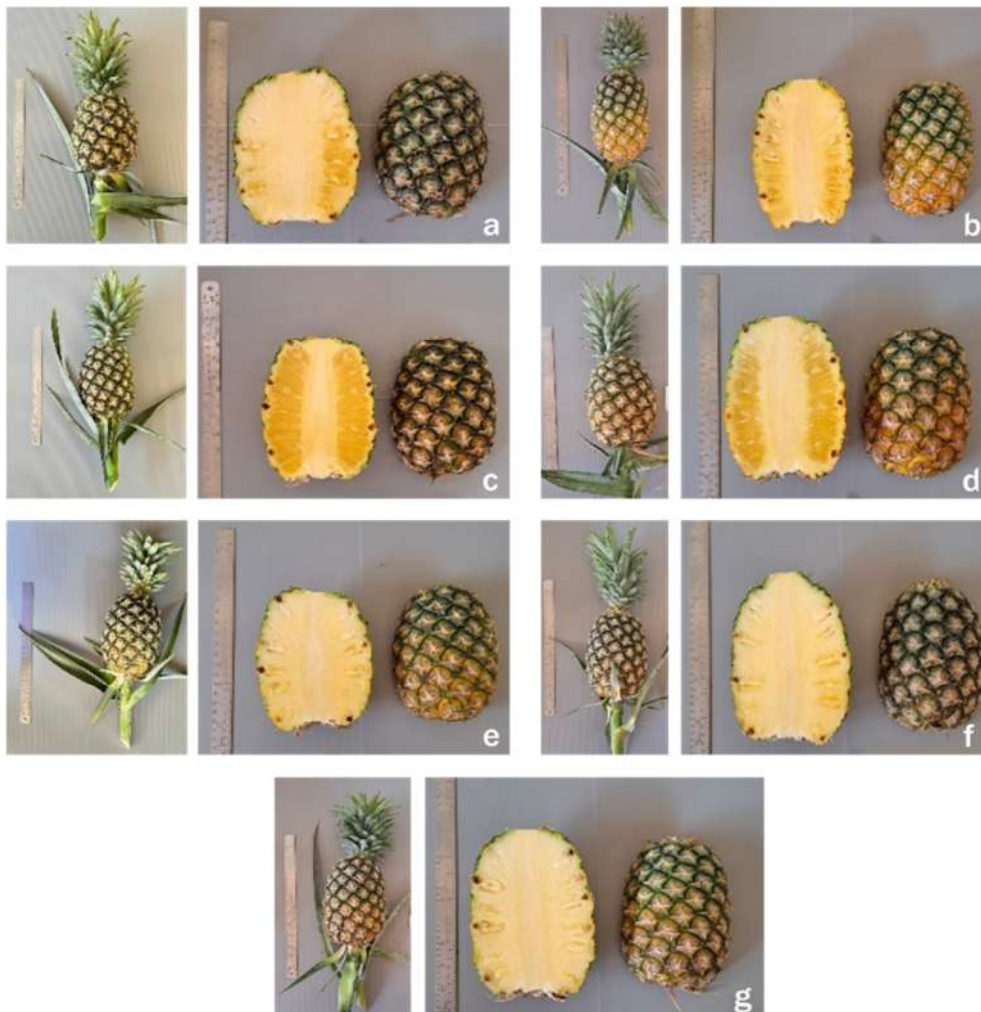


Figure 1 Characteristics of pineapple fruit and pulp color of six pineapple lines (a-f) and Pattavia cultivar (g) at 30% ripeness

สรุปผลการทดลอง

การเปรียบเทียบสายพันธุ์สับปะรดโรงงานที่ให้ผลผลิตสูงเพื่อใช้ปลูกทดแทนพันธุ์ปัตตาเวียในพื้นที่แหล่งผลิต จ.เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์พบว่า สับปะรดสายพันธุ์ PBC54-04-252 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 11.53 ตัน/ไร่ สูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย (8.83 ตัน/ไร่) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 30.58% คุณภาพผลเทียบเท่าพันธุ์ปัตตาเวีย และสามารถใช้ที่ฟอนชักนำให้ออกดอกได้มากกว่า 70% ซึ่งลักษณะดังกล่าวถือว่าเป็นสายพันธุ์ที่มีความเหมาะสมสำหรับปลูกเพื่อเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสับปะรดแปรรูป ผลการศึกษาชี้ให้เห็นศักยภาพของสับปะรดสายพันธุ์ PBC54-04-252 สำหรับปลูกเพื่อส่งโรงงานแปรรูปทดแทนพันธุ์ปัตตาเวีย

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดแฟร์เทรด อ.สามร้อยยอด จ.ประจวบคีรีขันธ์ ที่ให้ความร่วมมือ สนับสนุน และช่วยเหลือการวิจัยไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2545. เกษตรที่ดีเหมาะสมสำหรับสับปะรด. กรุงเทพฯ. 30 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2566. คู่มือคำแนะนำการจัดทำเอกสารประกอบการเสนอขอรับรองพันธุ์ พันธุ์รับรอง พันธุ์แนะนำ. กรุงเทพฯ. 64 หน้า.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2543. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง มาตรฐานสับปะรดโรงงานของประเทศไทย พ.ศ. 2543. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 117 ตอนพิเศษ 93 ง. หน้า 1-4.

ทวีศักดิ์ แสงอุดม. 2558. ชุดโครงการวิจัยและพัฒนาสับปะรด. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 44 หน้า.

ธีรวัฒน์ กิธีวัฒน์. 2537. ความแปรปรวนทางพันธุกรรมและการคัดเลือกสายพันธุ์สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 81 หน้า.

บุญชนะ วงศ์ชนะ และดำรง พงศ์มานะวุฒิ. 2546. การศึกษาการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของผลส้มจุก. วารสารวิชาการเกษตร. 21(2): 97-104.

มัลลิกา นวลแก้ว นริรัตน์ ชูช่วย เกรียงศักดิ์ชาติปริติยุทธ ทนโม๊ะ สมบัติ บวรพรเมธี เครือวัลย์ บุญเงิน และอารดา มาสรี. 2565. สับปะรดพันธุ์เพชรบุรี 2 เพื่ออุตสาหกรรมแปรรูป. หน้า 88-102. ใน: ผลงานวิจัยดีเด่น กรมวิชาการเกษตร ประจำปี พ.ศ. 2565.

มัลลิกา นวลแก้ว วลัยภรณ์ ชัยฤทธิไชย และเสาวคนธ์ วิลเลียมส์. 2556ก. การคัดเลือกสับปะรดลูกผสมชั่วที่ 1 (F1 รุ่นที่ 3) ที่เหมาะสมสำหรับการบรรจุกระป๋อง. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/12/การคัดเลือกสับปะรดลูกผสมชั่วที่-1-F1-รุ่นที่-2-ที่เหมาะสมสำหรับการบรรจุกระป๋อง-1.pdf>. สืบค้น: 1 กันยายน 2568.

มัลลิกา นวลแก้ว วลัยภรณ์ ชัยฤทธิไชย และเสาวคนธ์ วิลเลียมส์. 2556ข. การคัดเลือกสายต้น/สายพันธุ์สับปะรดกลุ่ม Smooth cayenne ที่เหมาะสมสำหรับการบรรจุกระป๋อง. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/12/คัดเลือกสายพันธุ์สับปะรดกลุ่ม smooth-cayenne ที่เหมาะสมสำหรับการบรรจุกระป๋อง.pdf>. สืบค้น: 1 กันยายน 2568.

สถาบันวิจัยพืชสวน. 2560. การจัดการการผลิตสับปะรดคุณภาพ. กรุงเทพฯ. 184 หน้า.

สมบัติ ตงเต้า. 2553. โครงการการปรับปรุงพันธุ์สับปะรด. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 46 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565ก. แผนพัฒนาด้านสับปะรด พ.ศ. 2566-2570. เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ การจัดทำแผนพัฒนาสับปะรด พ.ศ. 2566-2570. 67 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565ข. แนวทางการจัดทำเขตส่งเสริมการปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 392 หน้า.

Chan, Y.K. 2011. Pineapple breeding: Fulfilling expectations of the global supply chain. Acta Horticulturae. 902: 109-114.

- Chan, Y.K. and H.K. Lee. 2000. Breeding for early fruiting in pineapple. *Acta Horticulturae*. 529: 139-146.
- d'Eeckenbrugge, G. and F. Marie. 2000. Pineapple breeding at CIRAD. II. Evaluation of 'Scarlett', A new hybrid for the fresh fruit market, as compared to 'Smooth Cayenne'. *Acta Horticulturae*. 529: 155-163.
- Guan, Q.S. 2018. Pineapple varieties from Taiwan in China. *World Tropical Agriculture Information*. 12: 27-28.
- Hoy, J.W., K.P. Bischoff, S.B. Milligan and K.A. Gravois. 2003. Effect of tissue culture explant source on sugarcane yield components. *Euphytica*. 129(2): 237-240.
- Li, D., M. Jing, X. Dai, Z. Chen, C. Ma and J. Chen. 2022. Current status of pineapple breeding, industrial development, and genetics in China. *Euphytica*. 218(6): 85.
- Office of the Gene Technology Regulator. 2008. The Biology of *Ananas comosus* var. *comosus* (Pineapple). Available at: https://www.ogtr.gov.au/sites/default/files/files/2021-07/the_biology_of_pineapple.pdf. Accessed: September 29, 2025.
- Ogata, T., S. Yamanaka., M. Shoda, N. Urasaki and T. Yamamoto. 2016. Current status of tropical fruit breeding and genetics for three tropical fruit species cultivated in Japan: pineapple, mango, and papaya. *Breeding Science*. 66(1): 69-81.
- Py, C., J.J. Lacoëuilhe and C. Teisson. 1987. The Pineapple Cultivation and Use. G.P. Maisonneuve et Larose, Paris. 568 p.
- Sanewski, G.M. 2009. The effect of different levels of inbreeding on self-incompatibility and inbreeding depression in pineapple. *Acta Horticulturae*. 822: 63-70.
- Smith, M.K, H.L. Ko, G.M. Sanewski and J.R. Botella. 2005. *Ananas comosus* pineapple. pp. 158–172. In: *Biotechnology of Fruit and Nut Crops*, Litz RE (ed). CABI, Wallingford.
- Wassman, R.C. 1982. The Importance of Selected Clones in Pineapple Production. Annual Pineapple Field Day Notes. Queensland Fruit and Vegetable Growers, Brisbane, 26 p.

สมรรถนะการผสมของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ภายใต้สภาพแล้ง

Combining Ability of Maize Inbred Lines under Water Stress Conditions

ปริญญ์ การสมเจตน์^{1/*} สุริพัฒน์ ไทยเทศ^{1/} ทศนีย์ บุตรทอง^{2/} ชัยวัฒน์ นันทโชติ^{2/}

Parinya Kansomjet^{1/*} Suriapat Thaitad^{1/} Thadsanee Budthong^{2/} Chaiyawat Nantachot^{2/}

Received 21 Mar. 2025/Revised 10 Jun. 2025/Accepted 11 Jun. 2025

ABSTRACT

Cultivating drought-tolerant maize is an effective strategy for reducing yield losses caused by dry spells during the growing season. The study aims to evaluate the combining ability of maize inbred lines under drought conditions to develop drought-tolerant hybrids with relatively high yields. The first experiment was conducted using a factorial mating design, producing 63 hybrids from 16 inbred lines (7 lines in Group 1 and 9 lines in Group 2). These hybrids were subsequently evaluated together with elite hybrid varieties and commercial varieties, totaling 70 varieties, with DOA Nakhon Sawan5 used as the check variety. The test was performed under conditions of withholding water from before flowering for 2 weeks until reaching 1 month, then watering as usual. The second experiment was done using a 7 × 10 alpha lattice design with two replications during the 2024 dry season. The result showed that five hybrids, namely Nei502007 × Nei542006, Nei502007 × Nei542018, TF7 × Nei542020, Nei502007 × Nei532003, and TF7 × Nei542006, gave yields of 1,146, 1,046, 1,037, 1,034, and 1,026 kg/rai, respectively. These yields were higher than that of the check variety, DOA Nakhon Sawan5 (749 kg/rai), but were not significantly different from those of the commercial hybrid DK7212C and CP389, which yielded 1,066 and 1,059 kg/rai, respectively. In addition, four inbred lines with high positive general combining ability and values significant difference from zero, Nei502007, Nei532003, Nei542006, and Nei542020, were selected as testers to evaluate yield potential for new hybrid development. These inbred lines will be used for development of drought-tolerant maize varieties in the future.

Keywords: combining ability; inbred line; drought tolerance; *Zea mays* L.

^{1/} สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{1/} Field and Renewable Energy Crops Research Institute, Phahonyothin Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^{2/} ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ต.สุขสำราญ อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์ 60190

^{2/} Nakhon Sawan Field Crops Research Center, Suk Samran, Tak Fa, Nakhon Sawan 60190, Thailand

* Corresponding author: parinya.ku@gmail.com

บทคัดย่อ

การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ทนแล้ง เป็นวิธีลดความเสียหายของผลผลิตจากฝนทิ้งช่วงในฤดูปลูก การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะการผสมภายใต้สภาพแล้งในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ เพื่อสร้างสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตดีและทนต่อสภาพแล้งได้ ซึ่งจะนำไปใช้ในการพัฒนาพันธุ์ใหม่ต่อไป การทดลองเริ่มจากการใช้วิธีการผสมแบบพบกันหมดระหว่างกลุ่มข้าวโพดสายพันธุ์แท้ ทำให้สร้างคู่ผสมได้ทั้งหมด 63 คู่ผสม จากสายพันธุ์แท้ 16 สายพันธุ์ (กลุ่มที่ 1 จำนวน 7 สายพันธุ์ และกลุ่มที่ 2 จำนวน 9 สายพันธุ์) แล้วนำมาทดสอบร่วมกับพันธุ์ลูกผสมดีเด่น และพันธุ์การค้า รวมทั้ง 70 พันธุ์ โดยใช้พันธุ์ กว.นครสวรรค์ 5 เป็นพันธุ์ตรวจสอบภายใต้สภาพงดให้น้ำตั้งแต่ก่อนออกดอก 2 สัปดาห์จนครบ 1 เดือน จึงให้น้ำตามปกติ วางแผนการทดลองแบบ 7x10 alpha lattice 2 ซ้ำ ในฤดูแล้งปี พ.ศ. 2567 พบว่า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสม 5 คู่ผสม ได้แก่ Nei502007 x Nei542006, Nei502007 x Nei542018, TF7 x Nei542020, Nei502007 x Nei532003 และ TF7 x Nei542006 ให้ผลผลิต 1,146 1,046 1,037 1,034 และ 1,026 กก./ไร่ ตามลำดับ สูงกว่าพันธุ์ กว.นครสวรรค์ 5 (749 กก./ไร่) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ลูกผสมการค้า DK7212C และ CP389 ที่ให้ผลผลิต 1,066 และ 1,059 กก./ไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังสามารถคัดเลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ซึ่งมีค่าสมรรถนะการผสมทั่วไปเป็นบวกสูงและแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ Nei502007, Nei532003, Nei542006 และ Nei542020 สำหรับใช้เป็นสายพันธุ์ทดสอบในการประเมินผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เหมาะสมในการพัฒนาพันธุ์ใหม่ ซึ่งสายพันธุ์ที่

คัดเลือกได้จะนำไปใช้ในการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทนแล้งต่อไป

คำสำคัญ: สมรรถนะการผสม; สายพันธุ์แท้; ทนแล้ง; *Zea mays* L.

บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นวัตถุดิบสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ของไทย ปริมาณความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ในปี พ.ศ. 2566 มีปริมาณ 8.37 ล้านตัน ในขณะที่ผลผลิตรวมทั้งประเทศปี พ.ศ. 2566/67 มีปริมาณ 4.89 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ซึ่งไม่เพียงพอ พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มักประสบปัญหาฝนทิ้งช่วง ทำให้ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้รับความเสียหาย ผลผลิตลดลงถึง 43-82% เมื่อขาดน้ำในระยะออกดอก (จำนงค์และคณะ, 2558) นอกจากนี้ ความเสียหายของผลผลิตข้าวโพดยังขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ ระยะการเจริญเติบโต และระดับความรุนแรงในการขาดน้ำ (สุริพัฒน์และคณะ, 2556) Denmand and Shaw (1960) พบว่า ผลผลิตข้าวโพดลดลงในกรณีการขาดน้ำช่วงระยะก่อนออกดอก ออกดอก และหลังออกดอกประมาณ 25 50 และ 21% ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์และความแตกต่างทางพันธุกรรมของข้าวโพด แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผลผลิตลดลงมากในสภาพแล้งคือ การปรับปรุงพันธุ์ให้สามารถทนแล้ง กรมวิชาการเกษตรได้ดำเนินการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทนแล้งอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2552 ได้มีการรับรองพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ กว.นครสวรรค์ 3 ซึ่งเป็นพันธุ์ลูกผสมอายุยาว ทนแล้ง สามารถเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 110-120 วัน ต่อมาปี พ.ศ. 2562 ได้รับรองพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสม 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ กว.นครสวรรค์ 4 และ กว.นครสวรรค์ 5 โดย

กวก.นครสวรรค์4 ให้ผลผลิต 1,070 กก./ไร่ ไม่แตกต่างจากพันธุ์ลูกผสม กวก.นครสวรรค์3 และพันธุ์ลูกผสมการค้า แต่ในสภาพขาดน้ำในระยะออกดอกเป็นเวลา 1 เดือน ให้ผลผลิตสูงกว่า 17% (สุริพัฒน์และคณะ, 2566ก) ขณะที่พันธุ์กวก.นครสวรรค์5 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น 95-100 วัน ในสภาพขาดน้ำที่ระยะออกดอกเป็นเวลา 1 เดือน ยังให้ผลผลิต 684 กก./ไร่ สูงกว่าพันธุ์ กวก.นครสวรรค์3 ถึง 21% (สุริพัฒน์และคณะ, 2566ข)

ในการวิจัยเกี่ยวกับสภาพแล้งเพื่อคัดพันธุ์ข้าวโพดทนแล้งจำเป็นต้องมีการจัดการสภาพแวดล้อมให้พันธุ์ข้าวโพดได้รับสภาพเครียดจากการขาดน้ำโดยสามารถจัดสภาพแวดล้อมได้เป็น 2 ระดับ คือ 1) สภาพเครียดอย่างรุนแรง (severe stress) และ 2) สภาพเครียดปานกลาง (intermediate stress) โดยสภาพเครียดอย่างรุนแรงจะเริ่มงดการให้น้ำก่อนที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ออกไหม 50% และเริ่มให้น้ำอีกครั้งหลังวันออกไหม 2 สัปดาห์ ไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยว รวมระยะเวลากลางคืนนาน 1 เดือน และ ในขณะที่สภาพเครียดปานกลาง จะทำการให้น้ำอย่างเพียงพอในระยะก่อนออกดอก หลังจากนั้นจะงดการให้น้ำจนถึงระยะเก็บเกี่ยว (Banziger et al., 2000) โดยทำแปลงจำลองสภาพแล้งโดยใช้วิธีเริ่มงดการให้น้ำตั้งแต่ระยะก่อนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ออกดอก 2 สัปดาห์ ต่อเนื่องไปจนครบ 1 เดือน แล้วจึงให้น้ำตามปกติ เพื่อคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทนแล้ง (พิเชษฐ์, 2551; ชัยวัฒน์และคณะ, 2565; สุริพัฒน์และคณะ, 2566ข; Grudloyma et al., 2005; Vongsupathai et al., 2011)

การประเมินหรือการทดสอบสมรรถนะการผสมมีความสำคัญต่องานปรับปรุงพันธุ์ เนื่องจากการได้สายพันธุ์แท้ที่ดีสำหรับสร้างพันธุ์ลูกผสมเป็นจุดเริ่มต้นของการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้พันธุ์ที่ดี โดย

ที่สายพันธุ์แท้ที่ดีต้องมีสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ที่ดีเพื่อให้ได้ลูกผสมที่มีผลผลิตสูง ซึ่งสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ สมรรถนะการผสมทั่วไป (general combining ability, GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (specific combining ability, SCA) โดยค่า GCA หมายถึงความสามารถของสายพันธุ์ใดสายพันธุ์หนึ่งที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของลูกผสมที่ดี เมื่อนำไปผสมกับอีกหลายสายพันธุ์ ขณะที่ค่า SCA หมายถึง ความสามารถของสายพันธุ์ใดสายพันธุ์หนึ่งเมื่อผสมกับอีกสายพันธุ์หนึ่งแล้วให้ลูกผสมที่ดี (กฤษฎา, 2551) ซึ่งสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ทำให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หรืออาจกล่าวได้ว่าสมรรถนะการผสมเป็นผลมาจากอิทธิพลของ GCA และ SCA ในทุกสภาพแวดล้อมที่ทดสอบ (จำนงค์และคณะ, 2560)

กฤษฎา (2551) อธิบายไว้ว่าการทดสอบสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ที่ใช้โดยทั่วไป มีอยู่ 3 วิธี ได้แก่ 1) การใช้สายพันธุ์ทดสอบ (topcross หรือ testcross) เป็นการนำสายพันธุ์ที่ต้องการทดสอบมาผสมข้ามกับสายพันธุ์ทดสอบ 2) การผสมแบบพบกันหมดภายในกลุ่ม (diallel cross) ทำให้ได้คู่ผสมเท่ากับ $n(n-1)/2$ เมื่อ n เท่ากับจำนวนสายพันธุ์ที่ต้องการทดสอบ และ 3) การผสมแบบพบกันหมดระหว่างกลุ่ม (factorial cross) ซึ่งเสนอโดย Comstock and Robinson (1948; 1952) ซึ่งเป็นการผสมระหว่างกลุ่มของสายพันธุ์ที่ต้องการทดสอบเมื่อสายพันธุ์ที่ต้องการทดสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน โดยทุกสายพันธุ์ของกลุ่มหนึ่งจะผสมกับทุกสายพันธุ์ของอีกกลุ่มหนึ่ง จำนวนคู่ผสมของแผนการผสมนี้จะเท่ากับ $n_1 \times n_2$ เมื่อ n คือจำนวนสายพันธุ์ของกลุ่มที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งวิธีนี้ทำให้สามารถประเมินสมรรถนะการผสมของ

สายพันธุ์ได้ (ไพศาล, 2550; ชูศักดิ์, 2562, Hallauer et al., 2010) มีงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศประสบความสำเร็จในการประเมินสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ข้าวโพดโดยวิธีนี้ (ชัยวัฒน์และคณะ, 2568; Dhlwayo et al., 2009) ประเทศไทยมีการนำวิธีดังกล่าวมาใช้ในการประเมินสมรรถนะการผสมของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และประสบความสำเร็จในการคัดเลือกสายพันธุ์แท้และคู่ผสมที่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ (ชัยวัฒน์และคณะ, 2568) ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อมปกติ ทำให้ยังขาดข้อมูลสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์แท้ภายใต้สภาพแล้ง อีกทั้งสายพันธุ์แท้ที่พัฒนาใหม่ยังไม่ได้รับการประเมินความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะทนแล้งไปสู่ลูกผสมอย่างเป็นระบบ

จากการที่กรมวิชาการเกษตรได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในสภาพแล้ง โดยสุริพัฒน์และคณะ (2564) ได้ทำการประเมินสายพันธุ์แท้ทั้งสิ้น 190 สายพันธุ์ และคัดเลือกพันธุ์ โดยพิจารณาจากศักยภาพการให้ผลผลิต ลักษณะทางการเกษตรที่สำคัญ และข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการคัดเลือกพันธุ์ทนแล้ง ได้แก่ ช่วงห่างระหว่างอายุวันออกไหมและอายุวันออกดอกตัวผู้ (anthesis silking interval, ASI) ความแก่ของใบ (leaf senescence) และการม้วนของใบ (leaf rolling) ซึ่งสายพันธุ์แท้ที่คัดเลือกไว้สามารถนำมาใช้ในการสร้างคู่ผสมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีศักยภาพได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องประเมินสมรรถนะการผสมของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ที่พัฒนาได้ การคัดเลือกสายพันธุ์แท้จากลักษณะทางสัณฐานและผลผลิตเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอในการสะท้อนศักยภาพการถ่ายทอดลักษณะเด่นไปสู่ลูกผสม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะการผสมของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ที่พัฒนาสายพันธุ์โดยกรมวิชาการเกษตรภายใต้สภาพ

แล้ง เพื่อจะนำมาใช้เป็นสายพันธุ์พ่อแม่ในการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมทนแล้ง อายุเก็บเกี่ยวสั้น ผลผลิตสูง และเพื่อคัดเลือกและประเมินผลผลิตตามขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การสร้างลูกผสม

ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ที่พัฒนาโดยสุริพัฒน์และคณะ (2564) ในฤดูฝน ปี พ.ศ. 2566 ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ โดยแบ่งสายพันธุ์แท้ออกเป็น 2 กลุ่มที่มีกลุ่มเฮตเทอโรซิสต่างกัน (สุริพัฒน์, 2564) กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย Nei502007, Nei502010, Nei502021, Nei502029, Nei582012, Nei582062 และสายพันธุ์แท้ตากฟ้า 7 กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย Nei492013, Nei541008, Nei541017, Nei532003, Nei532005, Nei542006, Nei542018, Nei542020 และสายพันธุ์แท้ตากฟ้า 5 ทำการปลูกสายพันธุ์ละ 4 แถว แถวยาว 5 ม. ระยะปลูก 75x20 ซม. ผสมระหว่างสายพันธุ์โดยผสมแบบพบกันหมดระหว่างกลุ่ม รวม 63 คู่ผสม

2. การทดสอบลูกผสม

ปลูกประเมินผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสม 63 คู่ผสมที่ได้จากการสร้างลูกผสมในข้อ 1 เพื่อทดสอบร่วมกับพันธุ์ลูกผสมดีเด่น NSX151008, NSX201007 และ NSX201009 และพันธุ์การค้า (DK7212C, CP389, Pac789, NS3, NS5) รวมทั้งหมด 70 พันธุ์ ใช้พันธุ์ กว.นครสวรรค์ 5 เป็นพันธุ์ตรวจสอบวางแผนการทดลองแบบ 7x10 alpha lattice 2 ซ้ำ เพื่อคัดเลือกเบื้องต้นก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการเปรียบเทียบพันธุ์และประเมินผลพันธุ์ ตามขั้นตอนปรับปรุงพันธุ์ของกรมวิชาการเกษตร (อาวุธ, 2529) ซึ่งการคัดเลือกเบื้องต้นใช้กับการมีพันธุ์ทดสอบจำนวนมาก โดยที่การจัดกลุ่มพันธุ์/สายพันธุ์ให้อยู่ในบล็อกย่อยที่มีขนาดเล็กลง ทำให้สามารถควบคุมความแปรปรวนได้ดีขึ้น

ดำเนินการปลูกทดสอบ ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ฤดูแล้ง ปี พ.ศ.2566/67 (พ.ย. 2566-มี.ค. 2567 ซึ่งในช่วงทำการทดลองไม่มีฝนตก) ในชุดดินลพบุรี เนื้อดินเหนียว เมื่อวันที่ 13 ธ.ค. 2566 สายพันธุ์ละ 2 แถว ยาว 5 ม. ระยะปลูก 75x20 ซม. ใส่ปุ๋ยเคมีรองพื้น 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่ หลังปลูกพ่นสารเคมีควบคุมวัชพืช โดยใช้อะทราซีน 200 ก. ร่วมกับอะลาคลอร์ 300 ซีซี/ไร่ ขณะดินมีความชื้นเมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุ 3 สัปดาห์หลังปลูก ใส่ปุ๋ยเคมี 21-0-0 อัตรา 30 กก./ไร่ และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 เมื่ออายุ 45 วันหลังปลูก โดยใช้ปุ๋ยเคมี 46-0-0 หยอดข้างต้น อัตรา 10 กก./ไร่ ให้น้ำตลอดฤดูปลูก สัปดาห์ละครั้งในระบบพ่นฝอย (sprinkle irrigation) แต่งตั้งการให้น้ำในระยะออกดอกนาน 1 เดือน เพื่อจำลองสภาพแล้ง ตามวิธีการของสุรพัฒน์และคณะ (2566ข) ซึ่งสามารถพิจารณาจากใบที่ 9 คลี่เต็มที่จนถึงระยะสิ้นสุดการผสมเกสร (สุรพัฒน์และคณะ, 2560ก) ทั้งนี้ได้เริ่มงดการให้น้ำตั้งแต่วันที่ 31 มี.ค. 2567 จนถึงวันที่ 2 มี.ค. 2567 แล้วจึงให้น้ำตามปกติ การปฏิบัติอื่น ๆ จัดการตามความเหมาะสม เก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เมื่ออายุ 100 วัน โดยเก็บทั้งสองแถวยกเว้นต้นที่อยู่หัวแถวและท้ายแถว รวมพื้นที่เก็บเกี่ยว 7.20 ตร.ม./แปลงย่อย เก็บเกี่ยวพร้อมกันทุกพันธุ์ที่อายุ 100 วัน ตามที่ราเซนทร์ (2566) รายงานว่าพันธุ์ข้าวโพดอายุสั้น หรือ early variety สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตเมล็ดได้ เมื่ออายุ 90-100 วัน

3. การบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์

บันทึกข้อมูลตามคู่มือการบันทึกข้อมูลงานวิจัยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน, 2562) ได้แก่ ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 15% อายุวันออกดอกตัวผู้ 50% อายุวันออกไหม 50% ความสูงต้นและฝัก เปอร์เซ็นต์ต้นหัก

และล้ม เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ และความชื้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยววัดด้วยเครื่องวัดความชื้นรุ่น Dickey John GAC 2500 INTL เก็บข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการคัดเลือกพันธุ์ทนแล้ง ได้แก่ ช่วงห่างระหว่างอายุวันออกไหมและอายุวันออกดอกตัวผู้ (anthesis silking interval, ASI) ความแก่ของใบ (leaf senescence) ให้คะแนน 1-10 หลังออกดอกตัวผู้ 20-30 วัน โดยพิจารณาใบตายต่อใบทั้งหมด ซึ่งคะแนน 1 หมายถึงมีใบตาย 10% เทียบกับใบทั้งหมด คะแนน 10 หมายถึงมีใบแห้งตายทั้งต้น และการม้วนของใบ (leaf rolling) ให้คะแนน 1-5 เมื่อ 2-4 สัปดาห์หลังหยดน้ำ ซึ่งคะแนน 1 หมายถึง ใบปกติ คะแนน 5 หมายถึง ใบห่อม้วนคล้ายหอม (Banziger et al., 2000)

วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี least significant difference (LSD) วิเคราะห์สมรรถนะการผสมทั่วไป (general combining ability; GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (specific combining ability; SCA) ในลักษณะผลผลิตด้วย R statistics (ชูศักดิ์, 2562; R development core team, 2019)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การประเมินผลผลิต

เมื่อพิจารณาถึงผลผลิตในสภาพแล้ง พบว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมทดสอบให้ผลผลิตระหว่าง 65-1,146 กก./ไร่ มีข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสม 5 คู่ผสม ได้แก่ ลูกผสม Nei502007 x Nei542006, Nei502007 x Nei542018, TF7 x Nei542020, Nei502007 x Nei532003 และ TF7 x Nei542006 ให้ผลผลิต 1,146 1,046 1,037 1,034 และ 1,026 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์กนก.นครสวรรค์5 (749 กก./ไร่) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1)

โดยที่ผลผลิตของทั้ง 5 คู่ผสม สูงกว่าพันธุ์กวก. นครสวรรค์ 5 ระหว่าง 40-53% แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ลูกผสมการค้า DK7212C และ CP389 ที่ให้ผลผลิต 1,066 และ 1,059 กก./ไร่ ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าของการพัฒนาพันธุ์ทนแล้ง เนื่องจากคู่ผสมดังกล่าวให้ผลผลิตในสภาพแล้งสูงกว่าพันธุ์เดิมคือพันธุ์กวก. นครสวรรค์ 5 แตกต่างจากงานวิจัยของปริญญาและคณะ (2567ก) ที่พบว่าผลผลิตของลูกผสมทดสอบไม่แตกต่างจากพันธุ์กวก. นครสวรรค์ 5 ซึ่งความแตกต่างน่าจะเกิดจากความแตกต่างของพันธุกรรมที่งานวิจัยนี้ใช้สายพันธุ์แท้ที่ผ่านการคัดเลือกด้านความทนแล้งโดยตรง ทำให้สามารถถ่ายทอดลักษณะทนแล้งไปสู่ลูกผสมได้ดีกว่า ส่งผลให้ลูกผสมแสดงศักยภาพการให้ผลผลิตภายใต้สภาพแล้งได้อย่างชัดเจน จากผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าพื้นฐานทางพันธุกรรมของสายพันธุ์พ่อแม่มีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จในการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมทนแล้ง อย่างไรก็ตาม พันธุ์เหล่านี้จำเป็นต้องมีการประเมินผลผลิตตามขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ของกรมวิชาการเกษตร ตั้งแต่การเปรียบเทียบเบื้องต้น เปรียบเทียบมาตรฐานเปรียบเทียบในท้องถิ่นเปรียบเทียบในไร่เกษตรกร และการทดสอบในไร่เกษตรกร (อาวุธ, 2529)

2. ลักษณะทางการเกษตรที่สำคัญ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่ทดสอบมีลักษณะทางการเกษตรที่สำคัญแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีอายุวันออกดอกตัวผู้ 55-64 วัน โดยที่พันธุ์การค้ามีอายุวันออกดอกตัวผู้เฉลี่ย 60 วัน และพันธุ์ กวก. นครสวรรค์ 5 มีอายุวันออกดอกตัวผู้ 59 วัน มีอายุวันออกไหม 55-65 วัน โดยที่พันธุ์การค้าทั้ง 5 พันธุ์ มีอายุวันออกไหมเฉลี่ย 60 วัน และพันธุ์ กวก. นครสวรรค์ 5 มีอายุวันออกไหม 60 วัน ซึ่งคู่ผสมทดสอบส่วนใหญ่มีวันออกดอกตัวผู้และวันออกไหม

ใกล้เคียงกับพันธุ์กวก. นครสวรรค์ 5 ซึ่งเป็นพันธุ์ลูกผสมอายุสั้น มีความสูงต้น 126-237 ซม. โดยที่พันธุ์การค้ามีความสูงต้นเฉลี่ย 216 ซม. และพันธุ์ กวก. นครสวรรค์ 5 มีความสูงต้น 202 ซม. มีความสูงฝัก 80-137 ซม. โดยที่พันธุ์การค้ามีความสูงฝักเฉลี่ย 119 ซม. และพันธุ์ กวก. นครสวรรค์ 5 มีความสูงฝัก 110 ซม. มีต้นล้ม 0.0-65.9% โดยที่พันธุ์การค้ามีต้นล้ม 4.0% และพันธุ์ กวก. นครสวรรค์ 5 มีต้นล้ม 12.0% มีต้นหัก 0.0-52.2% โดยที่พันธุ์การค้ามีต้นหักเฉลี่ย 0.0% และพันธุ์ กวก. นครสวรรค์ 5 มีต้นหัก 0.0% มีการกะเทาะ 60.45-86.09% โดยที่พันธุ์การค้ามีการกะเทาะ 76.62% และพันธุ์ กวก. นครสวรรค์ 5 มีการกะเทาะ 74.31% มีความขึ้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยวที่ 100 วัน 17.37-32.82% โดยที่พันธุ์การค้ามีความขึ้นขณะเก็บเกี่ยว 33.05% และพันธุ์ กวก. นครสวรรค์ 5 มีความขึ้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว 27.25% (Table 1) ข้อมูลที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนหรือ CV ของลักษณะที่ศึกษาค่อนข้างต่ำ ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ต้นหักและเปอร์เซ็นต์ต้นล้ม เนื่องจากบางพันธุ์ที่ทดสอบแสดงอาการต้นหักและล้มจำนวนมาก และส่งผลกระทบต่อผลผลิต แปลงที่มีการหักหรือล้มมากกว่าปกติ ทำให้ข้อมูลกระจายออกห่างจากค่าเฉลี่ย จึงทำให้ CV สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของสุริพัฒน์และคณะ (2560ข) และปริญญาและคณะ (2567ข) ที่มีค่า CV ของเปอร์เซ็นต์ต้นหัก และเปอร์เซ็นต์ต้นล้มสูงจากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นโดยภาพรวมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่ทดสอบภายใต้สภาพแล้งแสดงความแตกต่างของลักษณะทางการเกษตรที่ศึกษา ซึ่งสะท้อนถึงความแตกต่างของพื้นฐานทางพันธุกรรมลูกผสมส่วนใหญ่มีอายุวันออกดอกตัวผู้และวันออกไหมใกล้เคียงกับพันธุ์กวก. นครสวรรค์ 5 ส่งผลให้มีช่วงห่างระหว่างอายุวันออกดอกตัวผู้และวันออกไหม (ASI) สั้น ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญที่ช่วยรักษาการติด

เมล็ดและผลผลิตภายใต้ความเครียดจากการขาดน้ำ ส่งผลให้ผลผลิตลดลง (สุริพัฒน์และคณะ, 2556; NeSmith and Retchie, 1992)

การคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ นอกจากผลผลิตเมล็ดแล้วต้องพิจารณาลักษณะทางการเกษตรด้วย จากการทดลองนี้พบว่า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมทั้ง 5 คู่ผสม ได้แก่ Nei502007 x Nei542006, Nei502007 x Nei542018, TF7 x Nei542020, Nei502007 x Nei532003 และ TF7 x Nei542006 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์กวก.นครสวรรค์5 ยังมีเปอร์เซ็นต์ต้นหัก ต้นล้ม การกะเทาะ และความขึ้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว ไม่แตกต่างจากพันธุ์กวก.นครสวรรค์5 คู่ผสม TF7 x Nei542020 และ TF7 x Nei542006 มีอายุวันออกใหม่และอายุวันออกดอกตัวผู้ต่ำกว่าพันธุ์กวก.นครสวรรค์5 ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในระบบการปลูกพืชของเกษตรกรนั้น ต้องพิจารณาจำนวนวันออกดอกตัวผู้ วันออกใหม่ วันเก็บเกี่ยวที่เร็วกว่าพันธุ์ทั่วไป ตามการจำแนกของราเซนทร์ (2566) นอกจากนั้น ควรคำนึงถึงความขึ้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยวด้วย ซึ่งสุริพัฒน์และคณะ (2566ก) รายงานว่าการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 100 วัน แล้วความขึ้นยังคงต่ำกว่า 35% เหมาะสมสำหรับเกษตรกรที่ต้องการเก็บเกี่ยวผลผลิตเร็ว และสามารถลดความเสี่ยงต่อการเสื่อมคุณภาพของเมล็ด จากความขึ้นเมล็ดที่สูงได้

การใช้ลักษณะทางการเกษตรร่วมกับผลผลิตประกอบการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์กะเทาะ อายุวันออกดอกตัวผู้ อายุวันออกใหม่ เปอร์เซ็นต์ต้นล้ม ต้นหัก ลักษณะทรงต้น ลักษณะฝัก และความขึ้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว สามารถคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมอายุสั้นที่มีศักยภาพได้ เช่นเดียวกับ โรจนพงศ์และคณะ

(2561) ใช้ลักษณะทางการเกษตรร่วมกับผลผลิตประกอบการคัดเลือกพันธุ์ ประกอบด้วย ความสูงต้น ความสูงฝัก การติดเมล็ดถึงปลายฝัก ลักษณะรูปทรงฝัก ลักษณะทรงต้น และเปอร์เซ็นต์กะเทาะ เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก โดยต้องการให้พันธุ์ลูกผสมมีผลผลิตสูง ความสูงต้นและความสูงฝักต่ำ ติดเมล็ดเต็มฝัก ลักษณะรูปทรงฝักและลักษณะทรงต้นที่ดี และมีเปอร์เซ็นต์กะเทาะสูง สามารถคัดเลือก คู่ผสมและมีลักษณะทางการเกษตรที่ดีตามต้องการ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ลักษณะทางการเกษตรร่วมกับผลผลิตประกอบการคัดเลือกพันธุ์ ได้แก่ อายุวันออกดอกตัวผู้ อายุวันออกใหม่ เปอร์เซ็นต์ต้นล้ม ต้นหัก การกะเทาะ และความขึ้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

เมื่อพิจารณาข้อมูลที่สำคัญในการคัดเลือกพันธุ์ทนทานแล้ง เห็นได้ว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงมีช่วงห่างระหว่างอายุวันออกใหม่และอายุวันออกดอกตัวผู้ คະแนนความแก่ของใบ และคະแนนการม้วนของใบที่น้อย โดยพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุด 10 อันดับแรกนั้น มีช่วงห่างระหว่างอายุวันออกใหม่และอายุวันออกดอกตัวผู้ 0-2 วัน คະแนนความแก่ของใบ 2-5 คະแนน และคະแนนการม้วนของใบ 2-3 คະแนน สอดคล้องกับ Grudloyma et al. (2005) Vongsupathai et al. (2011) และ ชัยวัฒน์และคณะ (2565) ที่รายงานว่า การเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต้องคัดเลือกพันธุ์ที่มีความแตกต่างของอายุวันออกใหม่และวันออกดอกตัวผู้ คະแนนการแก่และคະแนนการม้วนของใบที่น้อย ซึ่งเป็นเป้าหมายในการคัดเลือกสายพันธุ์ทนแล้ง เนื่องจากลักษณะดังกล่าวช่วยในเรื่องของการสังเคราะห์แสงและความสมบูรณ์ของลำต้นในช่วงออกดอก ส่งผลให้การผสมติดดีขึ้นและลดการสูญเสียผลผลิตเช่นเดียวกับ NeSmith and Retchie (1992) และสุริพัฒน์และคณะ (2556) รายงานว่าการกระทบ

แล้งในระยะออกดอก (flowering stage) ทำให้การ
ออกไหมของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ช้าลง เกิดความ
แตกต่างของวันออกไหม และวันออกดอกตัวผู้มากขึ้น
เป็นผลให้ฝักไม่ติดเมล็ด และผลผลิตลดลงอย่างมาก
โดยเฉพาะในพันธุ์อ่อนแอหรือพันธุ์ไม่ทนแล้ง

3. การทดสอบสมรรถนะการผสม

จากการทดสอบสมรรถนะการผสมทั่วไป
พบว่า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ 4 สายพันธุ์ ได้แก่
Nei502007, Nei532003, Nei542006 และ
Nei542020 เหมาะสำหรับการเป็นสายพันธุ์ทดสอบใน
การสร้างคู่ผสมใหม่ ๆ ในการประเมินผลผลิตข้าวโพด
เลี้ยงสัตว์ทนแล้งในอนาคต เนื่องจากทั้ง 4 สายพันธุ์
ดังกล่าวมีสมรรถนะการผสมทั่วไปดี โดยมีค่า GCA
เป็นบวกสูง และแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง
ทางสถิติ ($p < 0.01$) (130 135 165 และ 80 ตามลำดับ)
(Table 2) โดยสายพันธุ์แท้ทั้ง 4 พันธุ์ เมื่อไปผสมกับ
สายพันธุ์อื่น ๆ ทำให้คู่ผสมมีผลผลิตเฉลี่ยสูง (Table 1)
ซึ่งค่า GCA เป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ของยีนส่วนใหญ่
เป็นแบบผลบวก (additive) ถ้ามีค่าสูงสายพันธุ์
ดังกล่าวจะเหมาะสำหรับใช้เป็นตัวทดสอบสำหรับการ
ประเมินความสามารถในการผสมครั้งต่อไป (กฤษฎา,
2551; ชัยวัฒน์และคณะ, 2566) นอกจากนั้นสาย
พันธุ์แท้เหล่านี้ยังมีแนวโน้มที่จะให้ลูกผสมที่ให้ผล
ผลิตสูงอีกด้วยไม่ว่าจะนำไปผสมกับพันธุ์ใดก็ตาม
(สุทัศน์, 2553)

ผลที่ได้จากการทดลองนี้ทำให้ได้ข้อมูล
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ที่มีสมรรถนะการผสม
ทั่วไปดีเพิ่มเติม ซึ่งเดิมมีข้อมูลจากปริญญาและคณะ
(2567ก) ที่ทดสอบสมรรถนะการผสมของข้าวโพด
เลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้นและพบว่า
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้อายุเก็บเกี่ยวสั้น 11
สายพันธุ์ ได้แก่ Nei641045, Nei641004,

Nei641012, Nei641013, Nei641049, Nei641044,
Nei641050, Nei641040, Nei641016, Nei641056
และ Nei641020 มีสมรรถนะการผสมทั่วไปดี และ
ข้อมูลจากจำนงค์และคณะ (2560) ที่ทำการประเมิน
สมรรถนะการผสมของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้
ของไทยและสายพันธุ์แท้นานาชาติจากต่างประเทศ
ซึ่งสายพันธุ์ Nei452009, DTMA192, Nei452006
และ KI60 มีค่า GCA เป็นบวกและแตกต่างจากศูนย์
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสายพันธุ์เหล่านี้มีแนวโน้ม
ที่จะให้ลูกผสมที่มีผลผลิตสูง และมีความสามารถในการ
ทนทานแล้งได้ ซึ่งสามารถนำสายพันธุ์ที่คัดเลือก
ได้ทั้ง 4 สายพันธุ์ สำหรับใช้เป็นแหล่งพันธุ์กรรมใน
โครงการปรับปรุงพันธุ์สำหรับการสร้างพันธุ์ลูกผสม
ซึ่งอาจนำไปผสมกับสายพันธุ์ที่มีสมรรถนะการผสมดี
ที่ถูกคัดเลือกไว้จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ดังที่กล่าวมาแล้ว
ได้ แต่ต้องพิจารณา heterotic pattern หรือรูปแบบ
การแสดงความเหนือกว่าของลูกผสม (heterosis) ที่เกิด
จากการผสมระหว่างสายพันธุ์แท้ซึ่งมีพื้นฐานทาง
พันธุ์กรรมแตกต่างกัน

ส่วนการทดสอบสมรรถนะการผสมเฉพาะ
พบว่า มี 3 คู่ผสมที่ SCA เป็นบวกและแตกต่างจาก
ศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ได้แก่ Nei582012 x
Nei492013, Nei582012 x Nei532005 และ
Nei582062 x Nei541008 (Table 2) ให้ผลผลิต 717
801 และ 852 กก./ไร่ ตามลำดับ (ไม่ได้แสดงข้อมูล
ในตาราง) โดยสายพันธุ์ Nei582012 ให้ลูกผสมที่
ผลผลิตสูงเมื่อนำไปผสมกับสายพันธุ์ Nei492013
และ Nei532005 เท่านั้น แต่เมื่อนำไปผสมกับสาย
พันธุ์อื่น ๆ ให้ผลผลิตต่ำ ขณะที่สายพันธุ์ Nei582062
ให้ลูกผสมที่ผลผลิตสูงเมื่อถูกนำไปผสมกับสายพันธุ์
Nei541008 เท่านั้น ซึ่ง SCA เป็นความสามารถของ
สายพันธุ์ใดสายพันธุ์หนึ่งเมื่อผสมกับอีกสายพันธุ์หนึ่ง

Table 1 Mean of nine traits of the top ten maize hybrids tested under water stress condition at Nakhon Sawan Field Crops Research Center in dry season, 2024

Hybrids	Yield (kg/rai)	Tasselling (days)	Silking (days)	ASI	Height (cm)		Lodging (%)		Shelling (%)	Moist (%)	Leaf rolling (1-5)	Leaf senescence (1-10)
					Plant	Ear	Root	Stalk				
Nei502007 x Nei542006	1,146	58	60	2	220	122	0.0	11.8	76.30	29.01	3	3
Nei502007 x Nei542018	1,046	59	60	1	231	129	5.1	2.6	75.71	31.19	3	4
TF7 x Nei542020	1,037	56	57	1	207	110	2.7	0.0	78.71	27.47	3	3
Nei502007 x Nei532003	1,034	60	61	1	204	117	0.0	0.1	73.51	32.82	3	4
TF7 x Nei542006	1,026	56	57	1	200	102	0.0	0.0	77.83	26.76	2	3
Nei502029 x Nei532003	1,006	58	60	2	191	98	0.0	0.2	72.58	28.78	3	4
Nei582062 x Nei542020	985	57	58	2	212	123	0.0	7.5	77.53	29.35	3	4
Nei502021 x Nei542006	974	55	57	2	232	125	0.0	2.6	77.33	26.49	3	4
TF7 x Nei532003	946	57	57	0	195	102	0.4	0.0	75.46	28.95	2	2
Nei582062 x Nei542006	942	57	59	2	209	107	0.0	0.0	79.34	26.70	3	5
Maximum value of 63 hybrids	1,146	64	65		237	137	65.9	52.2	86.09	32.82	5	6
Minimum value of 63 hybrids	65	55	55		126	80	0.0	0.0	60.45	17.37	2	2
DK 7212 C	1,066	58	58	0	236	120	2.3	2.3	78.70	31.05	3	3
CP 389	1,059	60	60	0	225	127	2.3	0.0	75.00	33.90	3	4
Pac789	817	62	63	1	204	109	2.2	0.0	79.13	38.75	3	4
DOA NS3	870	61	61	0	213	127	2.7	0.0	75.95	34.30	3	5
DOA NS5 (check)	749	59	60	1	202	110	12.0	0.0	74.31	27.25	2	3
Commercial hybrids check mean	912	60	60	0	216	119	4.0	0.0	76.62	33.05	3	4
Trial mean	793	58	59	1	207	114	7.0	8.1	76.10	26.05	3	4
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
LSD (0.05)	268	2	2	1.23	18	11	21.3	20.4	9.26	5.91	0.89	1.09
CV(%)	16.87	1.73	2.05	68.92	4.33	4.88	153.05	125.86	6.07	11.33	14.92	13.23

* = significant at p<0.05

แล้วให้ลูกผสมที่ดีแต่เมื่อผสมกับพันธุ์อื่น ๆ อาจให้ลูกผสมที่ไม่ดี (สุทัศน์, 2553) ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ของยีนส่วนใหญ่ที่ไม่เป็นผลบวก (non-additive) (กฤษฎา, 2551) สะท้อนให้เห็นว่า SCA มีความจำเพาะต่อคู่ผสมสูง ทำให้เหมาะต่อการใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ มากกว่าการใช้เป็นฐานคัดเลือกสายพันธุ์ในระยะยาว ถ้านำไปใช้ประโยชน์ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ ค่า GCA เป็นฐานสำคัญของการพัฒนาพันธุ์มากกว่า เนื่องจากสะท้อนศักยภาพ

ทางพันธุกรรมแบบผลบวก (additive) ของสายพันธุ์แท้ ซึ่งมีความเสถียร สามารถถ่ายทอดไปยังลูกผสมหลายคู่ได้อย่างสม่ำเสมอ ทำให้เหมาะสำหรับใช้เป็นสายพันธุ์พ่อ-แม่หลักและการจัดกลุ่ม heterotic pattern

ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองนี้สามารถใช้พิจารณาในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมอายุสั้นที่ให้ผลผลิตสูงและทนแล้ง ตามขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ ก่อนการแนะนำพันธุ์ให้เกษตรกรต่อไป

Table 2 Estimate of general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) effects for grain yield of elite inbred lines under water stress condition at Nakhon Sawan Field Crops Research Center in dry season, 2024

Inbreds	SCA									GCA
	Nei492013	Nei541008	Nei541017	Nei532003	Nei532005	Nei542006	Nei542018	Nei542020	TF5	
Nei502007	63	100	86	-22	-70	13	50	-111	-109	130**
Nei502010	-10	-28	-6	-56	68	-33	-95	3	157	46
Nei502021	-35	-22	-113	85	-87	132	-96	101	34	-119**
Nei502029	-142	151	-132	115	65	-32	44	-182*	112	-9
Nei582012	176*	-424**	59	-21	190*	-69	125	-55	19	-160**
Nei582062	-63	184*	86	-89	-36	-39	-33	114	-126	46
TF7	11	39	19	-12	-131	27	6	129	-88	65
GCA	-83*	-163**	-139**	135**	-13	165**	62	80*	-45	

*=significant at $p < 0.05$, **=significant at $p < 0.01$

สรุปผลการทดลอง

การประเมินสมรรถนะการผสมของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ภายใต้สภาพแล้ง เพื่อนำมาใช้เป็นสายพันธุ์พ่อแม่ในการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมทนแล้ง พบว่า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสม 5 คู่ผสม ได้แก่ Nei502007 x Nei542006, Nei502007 x Nei542018, TF7 x Nei542020, Nei502007 x Nei532003 และ TF7 x Nei542006 ให้ผลผลิต 1,146 1,046 1,037 1,034 และ 1,026 กก./ไร่ ตามลำดับ สูงกว่าพันธุ์ กวก.นครสวรรค์ 5 (749 กก./ไร่) ไม่แตกต่างจากพันธุ์ลูกผสมการค้า DK7212C และ CP389 ที่ให้ผลผลิต 1,066 และ

1,059 กก./ไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ Nei502007, Nei532003, Nei542006 และ Nei542020 มีค่าสมรรถนะการผสมทั่วไปเป็นบวกสูง เหมาะสำหรับเป็นสายพันธุ์ทดสอบในการประเมินผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทนแล้ง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาข้าวโพดพันธุ์ใหม่ที่สามารถให้ผลดีในสภาพอากาศแห้งแล้งต่อไปในอนาคต

คำขอบคุณ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี โดยได้รับความร่วมมือ และให้ความอนุเคราะห์แปลง

ทดลอง จากเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์
อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ
โอกาสนี้ และขอขอบคุณคณะกรรมการส่งเสริม
วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้ทุน
สนับสนุนการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์. 2551. ปรับปรุงพันธุ์พืช: พื้นฐาน วิธีการ
และแนวคิด. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กรุงเทพฯ.

จำนงค์ ชัญฉวาร สุริพัฒน์ ไทเทศ ทศนีย์ บุตรทอง พิเชษฐ์
กรุดลอยมา ศิวไล ลาภบรรจบ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี และ
อมรา ไตรศิริ. 2558. ศักยภาพผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
ลูกผสมพันธุ์การค้าไทยภายใต้สภาพแห้งแล้ง. หน้า 53-64.
ใน: การประชุมวิชาการข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ ครั้งที่
36. วันที่ 5-7 มิย. 2556. โรงแรมอัสวรณ, หนองคาย.

จำนงค์ ชัญฉวาร สุริพัฒน์ ไทเทศ ทศนีย์ บุตรทอง อมรา
ไตรศิริ และพิเชษฐ์ กรุดลอยมา. 2560. สมรรถนะการผสม
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ของไทยและสายพันธุ์แท้
ทนทานแล้งจากต่างประเทศ. หน้า 24-30. ใน: การประชุม
วิชาการข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติครั้งที่ 38. วันที่ 25-27
กค. 2560. โรงแรมแกรนด์ฮิลล์รีสอร์ท แอนด์ สปา, นครสวรรค์.

ชัยวัฒน์ นันทโชติ ปริญา กาญจนเจตน์ ทศนีย์ บุตรทอง
และสุริพัฒน์ ไทเทศ. 2565. การคัดเลือกข้าวโพดเลี้ยง
สัตว์สายพันธุ์อินเบรตผลผลิตสูงและทนแล้งด้วยดัชนีการ
คัดเลือกของสมิธ. วารสารเกษตรและอาหาร มรทอ. 1 (2): 42-50.

ชัยวัฒน์ นันทโชติ สุริพัฒน์ ไทเทศ ปริญา การสมเจตน์
ทศนีย์ บุตรทอง บุศริน อิ่มอินทร์ อมรรัตน์ ภูโต หัทยา
วัฒนพฤกษ์ น้ำทิพย์ จินจันทร์ และกัลยรัตน์ แดงระย้า.
2566. การประเมินข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ภายใต้
สภาพแล้งที่พัฒนาโดยกรมวิชาการเกษตรด้วยวิธีผสมกับ
ตัวทดสอบ. หน้า 1951-1958. ใน: การประชุมวิชาการ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 20.
วันที่ 7-8 ธค. 2566.

ชัยวัฒน์ นันทโชติ สุริพัฒน์ ไทเทศ อมรรัตน์ ภูโต บุศริน
อิ่มอินทร์ หัทยา วัฒนพฤกษ์ น้ำทิพย์ จินจันทร์ และ
กัลยรัตน์ แดงระย้า. 2568. การประเมินข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
สายพันธุ์อินเบรตทนทานต่ออัตราการใช้ปุ๋ย. หน้า 11-

19. ใน: การประชุมวิชาการข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ
ครั้งที่ 41. วันที่ 25-27 กพ. 2568. 111 รีสอร์ท แอนด์ สปา
และศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท, ชัยนาท.

ชูศักดิ์ จอมพุท. 2562. วิเคราะห์ทางพันธุศาสตร์ปริมาณในการ
ปรับปรุงพันธุ์พืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กรุงเทพฯ.

ปริญา การสมเจตน์ สุริพัฒน์ ไทเทศ ชัยวัฒน์ นันทโชติ
และทศนีย์ บุตรทอง. 2567ก. การทดสอบสมรรถนะการ
ผสมของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ที่มีอายุเก็บเกี่ยว
สั้น. วารสารเกษตรและอาหาร มรทอ. 3(2): 13-22.

ปริญา การสมเจตน์ สุริพัฒน์ ไทเทศ ชัยวัฒน์ นันทโชติ
และทศนีย์ บุตรทอง. 2567ข. การคัดเลือกข้าวโพดเลี้ยง
สัตว์ลูกผสมที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้นและผลผลิตสูงด้วยดัชนี
การคัดเลือกของสมิธ. หน้า 176-190. ใน: สัมมนาวิชาการ
พืชไร่พันธุ์ใหม่ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน
วันที่ 27-29 สค. 2567 โรงแรมริเวอร์แคว วิลเลจ, กาญจนบุรี.

พิเชษฐ์ กรุดลอยมา. 2551. แนวคิดและประสบการณ์ในการ
ปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดทนทานแล้ง. เอกสารวิชาการ
ประกอบการฝึกอบรม เรื่องการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด
เลี้ยงสัตว์ทนทานแล้งในประเทศไทย. วันที่ 18-21
กุมภาพันธ์ 2551 โรงแรมเบเวอร์ลีฮิลล์ ปาร์ค, นครสวรรค์.

ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2550. สถิติ: แผนการทดลองและการวิเคราะห์
พิมพ์ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

ราเชนทร์ ธีรพร. 2566. ข้าวโพด: การผลิต การใช้ประโยชน์
การวิเคราะห์ปัญหา และการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกร.
คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 274 หน้า.

โรจนพงศ์ ไชยสิทธิ์ วิจิตร ใจอารีย์ และชูศักดิ์ จอมพุท. 2561.
การคัดเลือกข้าวโพดลูกผสมเดียวจากการผสมพันธุ์ข้าม
กลุ่มเฮเทอโรติกด้วยดัชนีการคัดเลือกของสมิธ. หน้า 15-26.
ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 15 วันที่ 6-7 ธค. 2561.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. 2562. คู่มือการ
บันทึกข้อมูลงานวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน.
กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 290 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.
หน้า 27-36. ใน: สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญ และ
แนวโน้มปี 2566.

สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์. 2553. การปรับปรุงพันธุ์พืช. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 259 หน้า.

สุริพัฒน์ ไทยเทศ. 2564. รายงานโครงการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. คลังผลงานวิจัยกรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา: https://info.doa.go.th/research/?act=view_detail&id=3126. สืบค้น: 20 ตุลาคม 2568.

สุริพัฒน์ ไทยเทศ ปัญญา การสมเจตน์ ทศนีย์ บุตรทอง และ บุศริน อิ่มอินทร์. 2564. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมอายุยาวเพื่อผลผลิตสูงและทนแล้ง. หน้า 17-44. ใน: รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2564. ศูนย์วิจัยพืชไร่ นครสวรรค์ กรมวิชาการเกษตร.

สุริพัฒน์ ไทยเทศ พิเชษฐ์ กรุดลอยมา ทศนีย์ บุตรทอง จ่านงค์ ชัยถาวร และศิริไล ลาภบรรจบ. 2560ก. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์ดีเด่น NSX042022 และ NSX052014. หน้า 31-39. ใน: การประชุมวิชาการข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ ครั้งที่ 38. วันที่ 25-27 กรกฎาคม 2560. โรงแรมแกรนด์ฮิลล์ รีสอร์ท แอนด์ สปา, นครสวรรค์.

สุริพัฒน์ ไทยเทศ พิเชษฐ์ กรุดลอยมา ทศนีย์ บุตรทอง จ่านงค์ ชัยถาวร ศิริไล ลาภบรรจบ ศุภกาญจน์ ล้วนมณี เพ็ญรัตน์ เทียมเพ็ง อานนท์ มลิพันธุ์ ปรีชา แสงโสภา อรอนงค์ วรรณวงษ์ และรุ่งทิพา ดารักษ์. 2560ข. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมในแหล่งปลูกที่สำคัญของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสม. หน้า 57-65. ใน: สัมมนาวิชาการสมาคมปรับปรุงพันธุ์และขยายพันธุ์พืชแห่งประเทศไทย. วันที่ 2-3 พฤษภาคม 2560. โรงแรมกรวย การ์เด้น, กรุงเทพฯ ฯ

สุริพัฒน์ ไทยเทศ พิเชษฐ์ กรุดลอยมา ทศนีย์ บุตรทอง สุทศนีย์ วงศ์ศุภไทย และจ่านงค์ ชัยถาวร. 2556. การประเมินคุณลักษณะของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมภายใต้สภาพแห้งแล้งและธาตุไนโตรเจนต่ำ. หน้า 57-65. ใน: การประชุมวิชาการข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ ครั้งที่ 36. วันที่ 5-7 มิถุนายน 2556. โรงแรมอัสววรรณ, หอนกคาย.

สุริพัฒน์ ไทยเทศ ศิริไล ลาภบรรจบ ทศนีย์ บุตรทอง และ กัญจน์ชญา ตัดโส. 2566ก. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมทนแล้งพันธุ์นครสวรรค์4. วารสารผลิตกรรมการเกษตร. 5(3): 92-101.

สุริพัฒน์ ไทยเทศ ศิริไล ลาภบรรจบ ทศนีย์ บุตรทอง และ ปัญญา การสมเจตน์. 2566ข. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์นครสวรรค์ 5 อายุเก็บเกี่ยวสั้นและทนแล้ง. วารสารแก่นเกษตร. 51(2): 375-386.

อาวุธ ณ ลำปาง. 2529. ข้อสังเกตและคำแนะนำในการปรับปรุงพันธุ์พืชไร่. วารสารวิชาการเกษตร. 4: 85-92.

Banziger, M., G.O. Edmeades, D. Beck and M. Bellon. 2000. Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From Theory to Practice. CIMMYT, Mexico D.F. 68 p.

Comstock, R.E. and H.F. Robinson. 1948. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. Biometrics 4(4): 254-266.

Comstock, R.E. and H.F. Robinson. 1952. Estimation of average dominance of genes. pp. 494-516. In: Heterosis, J.W. Gowen (ed.). Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.

Denmead, O.T. and R.H. Shaw. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn 1. Agronomy Journal. 52(5): 272-274.

Dhliwayo, T., K. Pixley, A. Menkir and M. Warburton. 2009. Combining ability, genetic distances, and heterosis among elite CIMMYT and IITA tropical maize inbred lines. Crop Science. 49(4): 1201-1210.

Grudloyma, P., T. Budthong and N. Kamlar. 2005. Identification of tropical late yellow maize under water stress conditions. pp. 132-135. In: Proceeding of the Ninth Asian Regional Maize Workshop. 5-9 Sep, 2005, Beijing, China.

Hallauer, A.R., M.J. Carena and J.B.M. Filho. 2010. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Springer Science and Business Media, New York. 500 p.

NeSmith, D.S., and J.T. Ritchie. 1992. Short-and long-term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit. Agronomy Journal. 84(1): 107-113.

R Development Core Team. 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.

Vongsupathai, S., S. Thaitad, T. Budthong and P. Grudloyma. 2011. Precision phenotyping for improving drought stress tolerance in maize. pp. 17-18. In: 11th Asian Maize Conference, 7-11 Nov. 2011, Nanning, Guangxi, China.

การตอบสนองของสายพันธุ์ข้าวต่อการก่อโรคของเชื้อ *Burkholderia glumae*
ที่เก็บรวบรวมจากภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทยในสภาพโรงเรือน
Responses of Rice Varieties to the Pathogenesis of *Burkholderia glumae*
Collected from Different Regions of Thailand under Screenhouse Conditions

ถิรายุ ตี๋คำ^{1/} ชินวัณน์ เมืองมัจฉา^{1/} อรวรรณ ทองนาป่า^{1/} ศิริพร ดอนเหนือ^{1/*}
Tirayu Tuekam^{1/} Chinnawat Mueangmatcha^{1/} Orawan Thongnapa^{1/} Siriporn Donnua^{1/*}

Received 15 Jun. 2025/Revised 6 Nov. 2025/Accepted 7 Nov. 2025

ABSTRACT

The bacterial pathogen, *Burkholderia glumae*, can cause severe damage in rice in many countries. The *B. glumae* disease causes rotting seedlings, rotting leaf sheaths, rotting seeds, burning ears, and significant yield loss. The *B. glumae* has multiple isolates, each responding differently to each rice line/variety. Thus, the responses of different rice lines/varieties to the bacteria can be used to classify the bacterial groups. This study aims to assess the response of rice lines/varieties to the pathogenicity of *B. glumae* in greenhouse conditions. The samples of *B. glumae* were collected from rice fields in 41 districts in 10 provinces in the central, northern, and northeastern regions of Thailand. Thirty-eight isolates of *B. glumae* were found. Twenty-six isolates were selected and grouped according to their ability to cause disease in 20 rice lines/varieties. The inoculation procedure was done by injecting suspended *B. glumae* cells (1×10^8 CFU/mL, O.D.₆₀₀ = 0.2) into leaf sheaths of the 45-day-old rice planted in greenhouses to assess their response to disease. The phylogenetic tree was also analyzed using the Bay-Curtis method to group the *B. glumae*. The results from the analysis can classify the *B. glumae* into a total of four groups. The *B. glumae* isolates from Buriram province are the most diverse and were classified into three groups, followed by the isolates from Phrae and Roi Et provinces, which were each classified into two groups.

Keywords: bacteria; clustering; rice; sheath rot; panicle blight

^{1/} คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

^{1/} Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

* Corresponding author: fagrspd@ku.ac.th

บทคัดย่อ

เชื้อแบคทีเรีย *Burkholderia glumae* ก่อให้เกิดโรคระบาดรุนแรงในข้าวในหลายประเทศ การระบาดทำให้ผลผลิตข้าวลดลงอย่างมาก โดยเชื้อทำให้กล้าเน่า กาบใบเน่า เมล็ดเน่า และรวงไหม้ เชื้อชนิดนี้มีหลายไอโซเลตแต่ละไอโซเลตตอบสนองต่อข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ แตกต่างกัน จึงสามารถใช้ในการตอบสนองของสายพันธุ์ข้าวต่าง ๆ ต่อเชื้อเพื่อจัดกลุ่มเชื้อได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการตอบสนองของสายพันธุ์ข้าวต่อการก่อโรคของเชื้อ *B. glumae* ในสภาพโรงเรือน โดยรวบรวมเชื้อจากนาข้าวใน 41 อำเภอ จาก 10 จังหวัด ของภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และสามารถแยกเชื้อ *B. glumae* ได้ 38 ไอโซเลต จากนั้นได้คัดเลือกเชื้อจำนวน 26 ไอโซเลต เพื่อนำมาจัดกลุ่มตามความสามารถในการก่อโรคในข้าว 20 พันธุ์/สายพันธุ์ โดยปลูกเชื้อด้วยการฉีดเซลล์แขวนลอยของเชื้อ *B. glumae* (1×10^8 CFU/mL, O.D.₆₀₀ = 0.2) เข้าที่บริเวณกาบใบข้าวอายุ 45 วัน ที่ปลูกในสภาพโรงเรือน เพื่อสังเกตการตอบสนองต่อการก่อโรค และวิเคราะห์ phylogenetic tree จากค่าดัชนีการเกิดโรคด้วยวิธี Bay-Curtis เพื่อจัดกลุ่มเชื้อ *B. glumae* ผลการวิเคราะห์ทำให้สามารถจัดกลุ่มเชื้อได้ทั้งหมด 4 กลุ่ม โดยเชื้อไอโซเลตที่แยกได้จาก จ.บุรีรัมย์ มีความหลากหลายมากที่สุด โดยสามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่ม รองลงมาคือ เชื้อจาก จ.แพร่ และร้อยเอ็ด โดยเชื้อจากแต่ละจังหวัดสามารถจัดกลุ่มได้ 2 กลุ่ม

คำสำคัญ: แบคทีเรีย; การจัดกลุ่ม; ข้าว; กาบใบเน่า; รวงไหม้

บทนำ

เชื้อแบคทีเรียในจีนัส *Burkholderia* เป็นสาเหตุของอาการกาบใบเน่าและโรครวงไหม้ของข้าว ซึ่งพบว่ามี 4 สปีชีส์หลัก ได้แก่ *B. glumae*, *B. gladioli*, *B. multivorans* และ *B. plantarii* ที่ก่อให้เกิดโรคในข้าว โดย *B. glumae* เป็นสปีชีส์ที่มีสัดส่วนการก่อโรคสูงที่สุด การทำลายของเชื้อ *B. glumae* มีรายงานครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่นว่าเชื้อสามารถก่อให้เกิดอาการเมล็ดเน่า (bacterial grain rot, BGR) และกล้าเน่า (bacterial seedling rot, BSR) รวมถึงทำให้เกิดอาการกาบใบเน่า และเกิดโรครวงไหม้ในข้าว (Yuan, 2004) ต่อมาได้มีรายงานการระบาดในหลายภูมิภาคทั่วโลก เช่น สหรัฐอเมริกา ละตินอเมริกา แอฟริกาใต้ และเอเชีย (Mizobuchi et al., 2018) โดยพบใน ศรีลังกา เนปาล ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ จีน ไต้หวัน เวียดนาม ฟิลิปปินส์ กัมพูชา รวมถึงประเทศไทย (Zhu et al., 2008)

ในปี ค.ศ. 1995 และ 1998 มีรายงานว่าโรครวงไหม้ (bacterial panicle blight, BPB) สาเหตุจากเชื้อ *B. glumae* ทำให้ผลผลิตข้าวในรัฐลุยเซียนา สหรัฐอเมริกา ลดลงสูงถึง 40% โดยเชื้อ *B. glumae* สามารถก่อโรคได้ทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าว หากเชื้อนี้ระบาดรุนแรงจะทำให้น้ำหนักเมล็ดลดลง เมล็ดเป็นหมัน ผลผลิตอาจลดลงได้ถึง 75% ซึ่งสภาพอากาศที่ร้อนและชื้นต่อเนื่องเป็นเวลานานจะเอื้อต่อการเกิดการระบาดเนื่องจากช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อค่อนข้างสูงที่ 30–35° ซ. (Ham et al., 2011)

ในประเทศไทยเชื้อ *B. glumae* และ *B. gladioli* มีรายงานอย่างเป็นทางการครั้งแรกโดย วันวิสาข์และคณะ (2560) โดยแยกได้จากข้าวที่แสดงอาการกล้าเน่า กาบใบเน่า เมล็ดต่าง และรวงไหม้ การทดสอบความสามารถในการก่อโรคของเชื้อ *B. glumae* และ

B. gladioli โดยการปลูกเชื้อลงบนกาบใบของหอมหัวใหญ่ และต้นข้าว ทั้งในระยะต้นกล้า และระยะก่อนดอกบาน พบว่า เชื้อ *B. glumae* สามารถก่อโรค และมีอาการรุนแรงกว่าเชื้อ *B. Gladioli* (บุญยาพร และศิริพร, 2562) ในการสำรวจการระบาดของโรครวงไหม้จากเชื้อแบคทีเรียในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2562–2566 ในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออก เชียงเหนือ และภาคใต้ 225 แห่ง ครอบคลุม 38 จังหวัด พบเชื้อ *B. glumae* 118 ไอโซเลท จาก 38 พื้นที่ใน 16 จังหวัด และพบเชื้อ *B. gladioli* 3 ไอโซเลท จาก 3 พื้นที่ใน 2 จังหวัดของภาคตะวันออก เชียงเหนือ (อริษาและคณะ, 2567) ส่วนคำแนะนำในการจัดการโรคนี้ย่อมมีประสิทธิภาพ คือ การปลูกพันธุ์ต้านทานโรคเชื้อ *B. glumae* ที่พบในประเทศไทยมีหลายไอโซเลท ข้อมูลการตอบสนองของข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ ต่อการก่อโรคของเชื้อแต่ละไอโซเลทสามารถใช้ในการจัดกลุ่มเชื้อ และการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวเพื่อใช้ประเมินความต้านทานได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการตอบสนองของสายพันธุ์ข้าวไทยต่อการก่อโรคของเชื้อ *B. glumae* ที่เก็บรวบรวมจากภูมิภาคต่าง ๆ ของไทยในสภาพโรงเรือน เพื่อการจัดกลุ่มเชื้อ และใช้พิจารณาสายพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสายพันธุ์เปรียบเทียบในการประเมินความต้านทานของพันธุ์ข้าวต่อเชื้อ *B. glumae* ไอโซเลทต่าง ๆ ในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การสำรวจโรค เก็บรวบรวมเชื้อแบคทีเรีย *B. glumae*

1.1 การสำรวจและเก็บตัวอย่าง

สำรวจแปลงข้าวในพื้นที่ปลูกภาคกลาง ได้แก่ จ.สุพรรณบุรี นครปฐม นครสวรรค์ และพิษณุโลก ภาคตะวันออก เชียงเหนือ ได้แก่ จ. นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ และร้อยเอ็ด และภาคเหนือ ได้แก่ จ. น่าน

และแพร่ รวม 10 จังหวัด 41 อำเภอ รวมทั้งสิ้น 68 แปลง ในช่วงปี พ.ศ. 2561-2564 และเก็บตัวอย่างข้าวที่แสดงอาการกล้าเน่า กาบใบเน่า รวงไหม้/เมล็ดต่าง (dirty seed) โดยเก็บแต่ละจุดห่างกัน 10 ม. สุ่มเก็บกาบใบ และ/หรือ รวง จุดละ 10 ชุด โดยสุ่มตามวิธีของ กวินธรพรและคณะ (2559) ในรูปแบบตัว Z เก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่เย็นที่ 4°C. แล้วนำตัวอย่างที่เก็บมาแยกเชื้อแบคทีเรีย

1.2 การแยกเชื้อ และเก็บรวบรวมเชื้อ

นำตัวอย่างต้นกล้า กาบใบ หรือเมล็ดข้าว มาฟอกฆ่าเชื้อที่ผิว จากนั้นบดตัวอย่างและเกลี่ยลงหน้าอาหาร nutrient agar (NA) เปรียบเทียบและคัดเลือกโคโลนีที่คล้ายเชื้อ *B. glumae* ไอโซเลท MPWS (GenBank accession no. LC474871) ซึ่งเป็นสายพันธุ์เปรียบเทียบ (reference strain) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บุญยาพรและศิริพร (2562) ที่เก็บรักษาไว้ใน culture collection ห้องปฏิบัติการแบคทีเรียและแอกติโนมัยสีทประยุกต์ ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นำเชื้อจากโคโลนีที่ถูกคัดเลือกเลี้ยงจนได้เชื้อบริสุทธิ์ นำเชื้อมาเลี้ยงต่อในอาหารเหลว nutrient broth (NB) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วเก็บเชื้อไว้ใช้ทดสอบในขั้นตอนต่อไป

2. การตรวจระบุชนิดเชื้อ *B. glumae* ด้วยเทคนิคพีซีอาร์

สกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างเชื้อโดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจาก CTAB method (modified CTAB method) ทำการตรวจระบุชนิดเชื้อ *B. glumae* โดยใช้ไพรเมอร์ glu-FW (5'-GAAGTGTCCGCGATGGAG-3')/glu-RV (5'-CCTTCACCGACAGCACGCAT-3') ที่จำเพาะต่อเชื้อ *B. glumae* ในการทำ PCR เพื่อตรวจสอบดีเอ็นเอเป้าหมายของเชื้อ *B. glumae* ขนาด 529 bp (บุญยาพรและศิริพร, 2562; Maeda et al., 2006)

3. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและชีวเคมีบางประการ

เตรียมเชื้อ *B. glumae* จากข้อ 1.2 ที่ได้ตรวจระบุปีชีส์จากข้อที่ 2 จำนวน 38 ไอโซเลท (Table 1) นำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ การเจริญที่อุณหภูมิ 40°C. การเจริญบนอาหารที่มี 3% NaCl และการเจริญบนหน้าอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ pH 4.0 8.0 และ 9.0 และทดสอบคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ การย้อมสีแบบแกรม การย่อยเจลาติน และการสร้างเอนไซม์ urease

4. การทดสอบการก่อโรคของเชื้อแบคทีเรีย *B. glumae*

4.1 การเตรียมเชื้อแบคทีเรีย

เลี้ยงเชื้อ *B. glumae* บนอาหาร NA บ่มที่ 37°C. 48 ชั่วโมง เมื่อได้เชื้อบริสุทธิ์ย้ายเลี้ยงในอาหาร NB บ่มด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง 48 ชั่วโมง เตรียมเซลล์แขวนลอยแบคทีเรีย *B. glumae* ให้ได้ 1×10^8 CFU/mL ตามวิธีของบุญยาพรและศิริพร (2562) ให้มีค่าความขุ่นประมาณ 0.2 ที่ค่าการดูดกลืนแสง 600 นาโนเมตร

4.2 การปลูกเชื้อทดสอบการก่อโรคในต้นกล้าข้าวในสภาพโรงเรือน

ทดสอบการก่อโรคในต้นกล้าข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 อายุประมาณ 30 วัน ต่ออาการกาบใบเน่าที่เกิดจากเชื้อ *B. glumae* (บุญยาพรและศิริพร, 2562) ทำการปลูกเชื้อในสภาพโรงเรือนโดยนำสารแขวนลอยเชื้อที่เตรียมไว้ในข้อ 4.1 ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ฉีด (inject) เข้าบริเวณกาบใบที่ 3 นับจากส่วนยอดของต้นกล้าข้าวอายุประมาณ 1 เดือน (Yuan, 2004) โดยทำการปลูกเชื้อไอโซเลทละ 20 ซ้ำ หลังจากปลูกเชื้อทำการคลุมด้วยถุงพลาสติกทิ้งไว้ข้ามคืน สังเกตอาการที่เกิดขึ้น เนื่องจากเชื้อ *B. glumae* จัดเป็นเชื้อกักกันตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดศัตรูพืชเป็นสิ่งต้องห้ามตาม

พระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 (ฉบับที่ 6) พ.ศ. 2550 (กรมวิชาการเกษตร, 2550) หลังจากทำการทดสอบเสร็จสิ้น กำจัดต้นข้าวด้วยการเผา ส่วนดินที่ใช้ในการทดสอบนำไปอบฆ่าเชื้อด้วยตู้อบฆ่าเชื้อในดิน

5. การทดสอบปฏิกิริยาการก่อโรคของเชื้อแบคทีเรีย *B. glumae* ในข้าว 20 พันธุ์/สายพันธุ์

5.1 การปลูกเชื้อ

ทำการปลูกเชื้อเพื่อทดสอบการก่อโรคซึ่งดัดแปลงวิธีการจาก Yuan (2004) และ บุญยาพรและศิริพร (2562) โดยเตรียมเซลล์แขวนลอยแบคทีเรีย *B. glumae* ตามข้อ 4.1 คัดเลือกไอโซเลทจากตัวแทนของแต่ละแปลงในแต่ละอำเภอ จำนวน 25 ไอโซเลท และใช้ *B. glumae* ไอโซเลท MPWS เป็นเชื้อเปรียบเทียบ รวมทั้งสิ้น 26 ไอโซเลท และทดสอบประเมินความต้านทานในข้าวพันธุ์/สายพันธุ์ต่าง ๆ โดยปลูกเชื้อในข้าวระยะกล้า 20 พันธุ์/สายพันธุ์ คือ ข้าวอ่อนแอสูง (highly susceptible; HS) 6 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ KDML105UBN ปทุมธานี1 สุพรรณบุรี2 เหนียวสันป่าตอง กข37 และขาวดอกมะลิ105 ข้าวอ่อนแอ (susceptible; S) 7 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเจ้าหอมคลองหลวง1 พิษณุโลก2 ขาวบ้านนา432 ปรายจีนบุรี ช่อสูง97 กข35 (รังสิต80) และกข33 (หอมอุบล80) ข้าวค่อนข้างอ่อนแอ (moderately susceptible; MS) 6 สายพันธุ์ ได้แก่ เหลืองทอง FR13A DH212 นางฉลอง ดอสามเดือน และเหนียวดำขอมไม้ไผ่49 และข้าวค่อนข้างต้านทาน (moderately resistance; MR) 1 สายพันธุ์ คือ เจ้าหอมนิล โดยที่การจัดกลุ่มพันธุ์/สายพันธุ์ข้าวเพื่อประเมินความต้านทานโดยการปลูกเชื้อข้างต้น จัดตามลักษณะการตอบสนองจากผลการทดสอบเบื้องต้น (ไม่ได้แสดงข้อมูล)

ทำการปลูกเชื้อในสภาพโรงเรือนโดยวิธีการฉีดตามข้อ 4.2 ปริมาตร 300 ไมโครลิตร (Yuan, 2004) แต่กล้าข้าวอายุ 30 วัน มีขนาดกาบใบเล็กทำให้

ประเมินโรคยาก จึงปรับเปลี่ยนวิธีเป็นปลูกเชื้อในข้าว อายุประมาณ 45 วัน ทำการปลูกเชื้อไอโซเลทละ 20 ซ้ำ/สายพันธุ์ กระถางละ 1 ต้น แล้วคลุมด้วยถุงพลาสติกไว้ข้ามคืนก่อนนำถุงพลาสติกออก หลังจากปลูกเชื้อ 7 วัน บันทึกภาพ และวัดขนาดแผลบริเวณที่ปลูกเชื้อโดยใช้ไม้บรรทัด หลังการทดสอบเสร็จสิ้นทำการฆ่าเชื้อในต้นข้าวและในดินเช่นเดียวกับข้อ 4.2

5.2 การประเมินโรค

ประเมินความรุนแรงของการเกิดโรคโดยใช้วิธีการวัดขนาดแผลบริเวณที่ปลูกเชื้อใช้หน่วยเป็น ซม. ดัดแปลงจากวิธีการประเมินอาการกาบใบเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Burkholderia* spp. ในข้าวของ Yuan (2004) แบ่งออกเป็น 0-5 ระดับ ดังนี้ ระดับ 0 = ไม่แสดงอาการ แผลขนาด 0 ซม. ระดับ 1 = รุนแรงน้อย แผลขนาด 0.01-2.50 ซม. ระดับ 2 = รุนแรงปานกลาง แผลขนาด 2.51-5.00 ซม. ระดับ 3 = ค่อนข้างรุนแรง แผลขนาด 5.01-7.50 ซม. ระดับ 4 = รุนแรง แผลขนาด 7.51-10.00 ซม. ระดับ 5 = รุนแรงมาก แผลขนาด 10.01 ซม.ขึ้นไป

5.3 การคำนวณดัชนีการเกิดโรค

นำข้อมูลจากการประเมินความรุนแรงการเกิดโรคในข้อ 5.2 มาคำนวณดัชนีการเกิดโรค (disease index; DI) ตามวิธีของ McMaugh (2005) ใช้สูตร

$$\text{ดัชนีการเกิดโรค (\%)} = [(A \times 0) + (B \times 1) + (C \times 2) + (D \times 3) + (E \times 4) + (F \times 5)] \times 100/N \times 5$$

เมื่อ A, B, C, D, E และ F คือ จำนวนกาบใบที่มีระดับความรุนแรงการเกิดโรคเป็น 0 1 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ และ N คือ จำนวนกาบทั้งหมดที่ทดสอบ

5.4 การจัดกลุ่มตามการตอบสนองต่อการก่อโรคบนข้าว 20 พันธุ์/สายพันธุ์

นำข้อมูลดัชนีการก่อโรคในข้อ 5.3 เปรียบเทียบลักษณะที่แสดงออก (phenotype) สำหรับการประเมินโรคในสภาพโรงเรือน (วนิดาและคณะ, 2562) โดยลักษณะต้านทานสูง (highly resistant, HR) ต้านทาน (resistant, R) และค่อนข้างต้านทาน (moderately resistant, MR) กำหนดเป็นลักษณะการตอบสนองแบบต้านทาน (R) ซึ่งแทนค่าเป็น 1 และลักษณะค่อนข้างอ่อนแอ (moderately susceptible, MS) อ่อนแอ (susceptible, S) และอ่อนแอสูง (highly susceptible, HS) กำหนดเป็นลักษณะการตอบสนองแบบอ่อนแอ (S) ซึ่งแทนค่าเป็น 0 (Chenet al., 2025) แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปจัดกลุ่มสายพันธุ์เชื้อแบคทีเรียตามความรุนแรงในการก่อโรค ด้วยโปรแกรม PAST4.10 วิเคราะห์แบบ Bray-Curtis (จิตราและคณะ, 2562)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การสำรวจโรค เก็บรวบรวมเชื้อแบคทีเรีย *B. glumae*

จากการสำรวจโรคที่เกิดจาก *Burkholderia* spp. ในแปลงปลูกข้าวในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือของประเทศไทย พบข้าวที่แสดงอาการบริเวณกาบใบมีลักษณะของแผลไหม้ กลางแผลมีสีขาวปนเทา หรือสีฟางข้าว ขอบแผลสีน้ำตาลเข้ม แผลมีลักษณะขยายตามแนวยาวของต้นข้าว ส่วนอาการที่พบในเมล็ดข้าวมีลักษณะต่างสีน้ำตาลจนถึงน้ำตาลเข้ม เมล็ดที่เป็นโรครุนแรงจะเกิดอาการไหม้จากปลายเมล็ดเข้ามาโคนเมล็ดหรือถ้ารุนแรงมากจะพบอาการรวงไหม้ ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับในรายงานของวันวิสาข์และคณะ (2560) และบุญยาพรและศิริพร (2562)

ตัวอย่างข้าวที่แสดงอาการของโรคจากภาคกลาง 118 ตัวอย่าง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 150 ตัวอย่าง และภาคเหนือ 174 ตัวอย่าง เมื่อแยก

เชื้อแบคทีเรียบนอาหาร NA พบโคลนีสักษณะโคโลนี สีขาวนูน กลมมน ผิวเรียบ ขอบเรียบ มันวาว โดยเฉพาะ ไอโซเลทที่สร้างรงควัตถุสีเหลืองบนอาหาร 65 ไอโซเลท ซึ่งมีลักษณะคล้ายเชื้อ *B. glumae* ไอโซเลท MPWS ที่ใช้เปรียบเทียบ (บุญยาพรและศิริพร, 2562) ซึ่งการ เทียบด้วยสายตาไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องตรวจด้วย พีซีอาร์เพื่อระบุชนิด เชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากตัวอย่าง ข้าวที่เก็บจาก จ. นครปฐม จำนวน 15 ไอโซเลท สุพรรณบุรี 1 ไอโซเลท พิษณุโลก 4 ไอโซเลท นครสวรรค์ 3 ไอโซเลท ร้อยเอ็ด 8 ไอโซเลท สุรินทร์ 2 ไอโซเลท บุรีรัมย์ 4 ไอโซเลท น่าน 3 ไอโซเลท และ แพร่ 25 ไอโซเลท ยกเว้น จ.นครราชสีมา และ สุพรรณบุรี ไม่พบลักษณะโคโลนีคล้ายเชื้อ *B. glumae* สาเหตุอาจเกิดจากช่วงเวลาเก็บตัวอย่างอยู่ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต จึงอาจไม่ครอบคลุมการสำรวจและเก็บตัวอย่างซึ่งจำกัดในบางพื้นที่ หากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรสำรวจในพื้นที่นี้เพิ่มเติมดังกล่าว ซึ่งเคยมีรายงานว่าพบเชื้อ *B. glumae* จากตัวอย่าง ข้าวที่เก็บใน จ.นครราชสีมา (อริษาและคณะ, 2567) และ สุพรรณบุรี (วันวิสาข์และคณะ, 2560)

2. การตรวจระบุชนิดเชื้อ *B. glumae* ด้วยเทคนิค พีซีอาร์

ผลปฏิกิริยาพีซีอาร์ของเชื้อแบคทีเรียลักษณะ คล้ายเชื้อ *B. glumae* 65 ไอโซเลท โดยใช้ไพรเมอร์ glu-FW/glu-RV ซึ่งจำเพาะต่อเชื้อ *B. glumae* พบว่า ตัวอย่างเชื้อแบคทีเรีย 38 ไอโซเลท แสดงแถบดีเอ็นเอ แถบเดี่ยว ขนาด 529 bp (Table 1) สอดคล้องกับ รายงานของ Maeda et al. (2006) และบุญยาพร

และศิริพร (2562) ที่ใช้ไพรเมอร์ glu-FW/ glu-RV ในการตรวจระบุชนิดเชื้อ *B. glumae* พบแถบดีเอ็นเอ ขนาด 529 bp งานวิจัยนี้ยืนยันการตรวจพบเชื้อ *B. glumae* ที่ก่อโรคในข้าวจากหลายพื้นที่ในประเทศไทย สอดคล้องกับการรายงานที่พบเชื้อ *B. glumae* จากการแยกเชื้อจากตัวอย่างข้าวในหลายจังหวัด ทั่วประเทศไทย (วันวิสาข์และคณะ, 2560; บุญยาพร และศิริพร, 2562; อริษาและคณะ, 2567; Jungkhun et al., 2022)

ส่วนแบคทีเรียลักษณะคล้ายเชื้อ *B. glumae* อีก 27 ไอโซเลท ไม่พบการสังเคราะห์แถบดีเอ็นเอ ขนาด 529 bp ซึ่งคาดว่าเป็นเชื้อในจีนัส *Burkholderia* spp. โดยพิจารณาจากลักษณะโคโลนีที่เจริญบน อาหาร NA ซึ่งมีลักษณะโคโลนีสีขาวนูน กลมมน ผิวเรียบ ขอบเรียบ มันวาว และสามารถสร้างรงควัตถุ สีเหลือง คล้ายกับเชื้อจีนัส *Burkholderia* spp. ที่พบ ในประเทศไทยที่มีรายงานเพียงสองสปีชีส์ คือ *B. glumae* และ *B. gladioli* (วันวิสาข์และคณะ, 2560; บุญยาพรและศิริพร, 2562; อริษาและคณะ, 2567; Jungkhun et al., 2022) ดังนั้น การจำแนกด้วย สายตาจึงไม่เพียงพอ เนื่องจากอาจมีแบคทีเรียชนิด อื่นที่มีลักษณะโคโลนีคล้ายกัน จึงควรมีการตรวจสอบ ลำดับเบสของยีนจำเพาะต่อเชื้อ *B. gladioli* เพิ่มเติม เพื่อยืนยันชนิดของเชื้อที่ไม่ให้ผลพีซีอาร์ รวมถึงควร ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและชีวเคมี ตลอดจนการทดสอบความสามารถในการก่อโรคใน ข้าวซึ่งมีความใกล้เคียงกับเชื้อ *B. glumae* ต่อไป

Table 1 *Burkholderia glumae* isolates (n= 38) collected from rice with sheath rot, panicle blight or discolored grains

Number	Isolate	District/Province	Plant part
2	BRM-D5-6-1 and BRM-D5-6-2	Krasang / Buri Ram	grains
2	BRM-S1-2-1 and BRM-S1-2-2	Phlapphla Chai / Buri Ram	grains
2	NAN2-5-2-1 and NAN2-5-2-2	Pua / Nan	grains
8	NPT-PT001-03-01-1, NPT-PT001-03-01-2, NPT-PT001-03-02, NPT-RD43-01-1, NPT-RD43-01-2, NPT-RD43-01-3, NPT-RD43-02-1 and NPT-RD43-02-2	Kamphaeng Saen / Nakhon Pathom	seedling
2	NSN-A11-2 and NSN-A7-1-1	Lat Yao / Nakhon Sawan	grains
4	PLK-F2-3-1, PLK-F2-3-2, PLK-F2-5-2 and PLK-F2-5-4	Wang Thong / Phitsanulok	grains
6	PRE2-1-2-1, PRE-2-1-2-2, PRE-2-1-2-3, PRE-2-2-3-2, PRE2-2-4-2(1) and PRE2-2-4-2(2)	Nong Muang Khai / Phrae	grains
4	PRE3-2-2-2(1), PRE3-2-3-2, PRE-3-3-3-1 and PRE3-3-4-1 (1)	Rong Kwang / Phrae	grains
2	PRE4-4-4-1 and PRE4-4-4-2	Sung Men / Phrae	grains
4	RET-P3-1-1, RET-P3-1-2, RET-P3-3-1 and RET-P3-3-2	Chaturaphak Phiman / Roi Et	grains
2	SRN-T3-1-1 and SRN-T3-1-2	Khwaosinarin / Surin	grains
Total 38			

3. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและชีวเคมีบางประการ

จากการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และชีวเคมีบางประการ พบว่า เชื้อ *B. glumae* ทั้ง 38 ไอโซเลท เป็นแบคทีเรียแกรมลบ โดยย้อมติดสีแดงของ Safranin O รูปร่างเป็นท่อน (rod shape) สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 40°C. เจริญบนอาหารที่มี NaCl ความเข้มข้น 3% สามารถย่อยเจลาติน โดยทำให้เจลาตินเหลวที่อุณหภูมิต่ำ ไม่สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีค่า pH 9.0 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ วันวิสาข์และคณะ (2560) และ บุญยาพรและศิริพร (2562) การทดลองนี้ยังพบว่า เชื้อแบคทีเรีย *B. glumae* ไม่สามารถเจริญในอาหาร LB ที่มีค่า pH 4.0 แต่ที่ pH 8.0 สามารถเจริญได้เพียง 5 ไอโซเลท ได้แก่

BRM-S1-2-2, PRE-3-3-3-1, PRE2-2-4-2(1), RET-P3-1-2 และ PRE-3-2-3-2 สอดคล้องกับรายงานของ บุญยาพรและศิริพร (2562)

จากการทดสอบการสร้างเอนไซม์ urease พบว่ามีแบคทีเรีย *B. glumae* 28 ไอโซเลท ที่ไม่สามารถสร้างเอนไซม์ urease ได้แก่ NSN-A11-2, BRM-D5-6-2, BRM-S1-2-1, PLK-F2-5-4, PLK-F2-3-1, RET-P3-3-2, PLK-F2-5-2, SRN-T3-1-2, NSN-A7-1-1, BRM-D5-6-1, RET-P3-3-1, PLK-F2-3-2, SRN-T3-1-1, PRE-2-1-2-3, PRE-2-2-3-2, PRE-2-1-2-2, NAN-2-5-2-1, NPT-PT001-03-01-1, NPT-PT001-03-01-2, NPT-PT001-03-02, NPT-RD43-01-1, NPT-RD43-01-2, NPT-RD43-01-3, NPT-RD43-02-1, NPT-RD43-02-2, BRM-S1-2-2, PRE-3-3-3-1 และ PRE2-2-4-2(1) ซึ่ง

สอดคล้องกับรายงานของ วันวิสาข์และคณะ (2560) บุญยาพรและศิริพร (2562) และ Zhu et al. (2008) ส่วนอีก 10 ไอโซเลท สามารถสร้างเอนไซม์ urease ได้เล็กน้อย ได้แก่ RET-P3-1-1, PRE-4-4-4-1, PRE-4-4-4-2, PRE2-1-2-1, PRE3-3-4-1(1), PRE2-2-4-2(2), PRE3-2-2-2(1), NAN-2-5-2-2, RET-P3-1-2 และ PRE-3-2-3-2 ซึ่งสอดคล้องกับ Schaad et al. (2001) ที่กล่าวว่าเชื้อแบคทีเรีย

B. glumae สามารถสร้างเอนไซม์ urease ได้เล็กน้อย (weakly positive) ที่ 21-79% (Table 2) การทดสอบข้างต้นเป็นการทดสอบที่มีความจำเพาะ และนิยมใช้ในการใช้จำแนกเชื้อ *B. glumae* อย่างไรก็ตาม การพบความแตกต่างของผลทดสอบในบางไอโซเลท อาจเกิดจากความแตกต่างทางพันธุกรรมบางประการ หรือการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมของเชื้อ (Jungkhun et al., 2022)

Table 2 Physiological and biochemical characterization of 38 *B. glumae* isolates

No.	Isolate	Gram's stain	Growth condition			Gelatin hydrolysis	Urease test
			40°C	3% NaCl	pH		
					4 8 9		
1-19	NSN-A11-2, BRM-D5-6-2, BRM-S1-2-1, PLK-F2-5-4, PLK-F2-3-1, RET-P3-3-2, PLK-F2-5-2, SRN-T3-1-2, NSN-A7-1-1, BRM-D5-6-1, RET-P3-3-1, PLK-F2-3-2, SRN-T3-1-1, PRE-2-1-2-3, PRE-2-2-3-2, PRE-2-1-2-2, NAN-2-5-2-1, NPT-PT001-03-01-1 and NPT-PT001-03-01-2 (19 isolate)	Negative	+ ^{1/}	+	- ^{2/} - -	+	-
20-25	NPT-RD43-01-1, NPT-RD43-01-2, NPT-RD43-01-3, NPT-RD43-02-1, NPT-RD43-02-2 and NPT-PT001-03-02 (6 isolate)	Negative	+	+	- - -	+	-
26-28	BRM-S1-2-2, PRE-3-3-3-1 and PRE2-2-4-2(1) (3 isolate)	Negative	+	+	- + -	+	-
29-30	RET-P3-1-2 and PRE-3-2-3-2 (2 isolate)	Negative	+	+	- + -	+	W ^{3/}
31-38	RET-P3-1-1, PRE-4-4-4-1, PRE-4-4-4-2, PRE2-1-2-1, PRE3-3-4-1 (1), PRE2-2-4-2(2), PRE3-2-2-2(1) and NAN-2-5-2-2 (8 isolate)	Negative	+	+	- - -	+	W

^{1/} + = positive

^{2/} - = negative

^{3/} W = weakly positive

4. การทดสอบการก่อโรคของเชื้อแบคทีเรีย *B. glumae*

จากการทดสอบการก่อโรคนบนต้นกล้าข้าวของเชื้อ *B. glumae* ทั้งสิ้น 38 ไอโซเลท พบว่าก่อให้เกิด

โรคที่มีลักษณะอาการคล้ายกันบนต้นกล้าข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 1 พบอาการฉ่ำน้ำบริเวณกาบใบหลังจากการปลูกเชื้อ 24 ชั่วโมง และแผลจะรุนแรงขยายตัวมากขึ้นเมื่อผ่านไป 3-7 วัน เกิดอาการกาบใบ

ไหม้สีน้ำตาล โดยบริเวณกลางแผลที่ปลูกเชื้อจะมีลักษณะสีซีดขาวคล้ายฟางข้าว ขอบแผลสีน้ำตาลแดงเข้มชัดเจน สอดคล้องกับรายงานของ บุญยาพรและศิริพร (2562) ในขณะที่ชุดควบคุม (control) ที่ใช้น้ำกลั่นหนึ่งฆ่าเชื้อแทนการปลูกเชื้อลงกาบใบข้าวพบว่าไม่แสดงอาการของโรค

5. การทดสอบปฏิกิริยาการก่อโรคของเชื้อแบคทีเรีย *B. glumae* ในข้าว 20 พันธุ์/สายพันธุ์

5.1 การก่อโรคในข้าว

การตอบสนองต่อการเกิดโรคของเชื้อ *B. glumae* พบว่า ไม่พบสายพันธุ์ข้าวลักษณะต้านทานสูง ลักษณะต้านทาน และลักษณะค่อนข้างต้านทาน พบเพียงสายพันธุ์ข้าวลักษณะค่อนข้างอ่อนแอ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ KD105 UBN (33-100%) พิษณุโลก2 (37-100%) และ FR13A (38-100%) ลักษณะอ่อนแอ (S) 3 สายพันธุ์ ได้แก่ เหลืองทอง (62-100%) DH212 (66-100%) และ สุพรรณบุรี2 (70-100%) และลักษณะอ่อนแอสูง 14 สายพันธุ์ ได้แก่ ดอกสามเดือน (76-100%) กข33 (หอมอุบล 80) (77-100%) ช่อสูง97 (79-100%) เจ้าหอมนิล (80-100%) หอมคลองหลวง1 (81-100%) นางฉลอง (86-100%) ปทุมธานี1 (86-100%) ปราจีนบุรี (92-100%) กข37 (93-100%) เหนียวสันป่าตอง (96-100%) ขาวบ้านนา432 (97-100%) ขาวดอกมะลิ105 (97-100%) กข35 (รังสิต80) (98-100%) และเหนียวดำซอไม้ไผ่49 (98-100%) ผลการทดลองเป็นในทำนองเดียวกับของ Ham et al. (2011) ซึ่งรายงานว่าพันธุ์ข้าวต่าง ๆ แสดงระดับอ่อนแอและต้านทานต่อโรคไหม้รวงข้าวแตกต่างกัน โดยมีเพียงบางสายพันธุ์ที่แสดงลักษณะต้านทานได้บางส่วน (partial resistance) และจากการทดสอบโดยปลูกเชื้อในข้าว 100 พันธุ์/สายพันธุ์ ยังไม่พบสายพันธุ์ข้าวที่มีความต้านทานอย่างสมบูรณ์ (complete resistance)

5.2 การจัดกลุ่มตามการตอบสนองต่อการก่อโรค

จากผลการปลูกเชื้อ *B. glumae* 26 ไอโซเลท และใช้ข้อมูลค่าดัชนีการก่อโรคซึ่งได้จากการทดสอบการตอบสนองของพันธุ์ข้าว 20 พันธุ์/สายพันธุ์ มาเปรียบเทียบลักษณะที่แสดงออกทางฟีโนไทป์ ไม่พบข้าวลักษณะต้านทานสูง (HR) ต้านทาน (R) และค่อนข้างต้านทาน (MR) ซึ่งจะใช้กำหนดเป็นลักษณะการตอบสนองแบบต้านทาน (R) พบเพียงข้าวลักษณะค่อนข้างอ่อนแอ (MS) อ่อนแอ (S) และอ่อนแอสูง (HS) เป็นลักษณะการตอบสนองแบบอ่อนแอ (S) เนื่องจากข้าวลักษณะค่อนข้างอ่อนแอ (MS) มีค่าดัชนีการเกิดโรคร้อยในช่วง 33-38% ซึ่งแตกต่างกับข้าวลักษณะอ่อนแอ (S) อยู่ที่ 62-70% และลักษณะอ่อนแอสูง (HS) อยู่ระหว่าง 76-100% อย่างชัดเจนในการทดลองนี้จึงได้ตัดแปลงให้ลักษณะค่อนข้างอ่อนแอ (MS) กำหนดเป็นลักษณะการตอบสนองแบบต้านทาน (R) และข้าวลักษณะอ่อนแอ (S) และอ่อนแอสูง (HS) กำหนดเป็นลักษณะการตอบสนองแบบอ่อนแอ (S) ทำให้สามารถจัดกลุ่มเชื้อตามการตอบสนองการก่อโรคบนข้าว 20 พันธุ์ ได้เป็น 4 กลุ่ม (cluster) ซึ่งเชื้อ *B. glumae* ที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มขนาดใหญ่ที่สุด มีความสามารถในการก่อโรคสูงพบการตอบสนองของพันธุ์ข้าวลักษณะการตอบสนองแบบอ่อนแอ (S) ทั้ง 20 พันธุ์/สายพันธุ์ ประกอบด้วย ไอโซเลทที่ได้จาก จ.บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด สุรินทร์ นครสวรรค์ พิษณุโลก แพร่ และน่าน และกลุ่มที่ 2-4 มีการตอบสนองของสายพันธุ์ข้าวเฉพาะในบางสายพันธุ์ ซึ่งพบการตอบสนองของพันธุ์ข้าวลักษณะการตอบสนองแบบอ่อนแอ (S) และ การตอบสนองแบบต้านทาน (R) โดยกลุ่มที่ 4 พบการตอบสนองแบบต้านทาน (R) มากที่สุด นอกจากนี้ จ.บุรีรัมย์เป็นพื้นที่เดียวที่พบเชื้อ *B. glumae* มากกว่า 1 กลุ่ม แสดงให้

เห็นถึงความหลากหลายและการกระจายตัวของเชื้อแบคทีเรีย เมื่อวิเคราะห์ classical clustering พบค่า cophenetic correlation coefficient มีค่า 0.739 และจัดจำแนกด้วยวิธี Bray-Curtis สามารถแบ่งกลุ่ม ได้ทั้งสิ้น 4 กลุ่ม (Figure 1) ดังนี้ กลุ่มที่ 1 จำนวน 22 ไอโซเลท ได้แก่ BRM-S1-2-1, RET-P3-3-1, SRN-T3-1-2, SRN-T3-1-1, NSN-A7-1-1, PLK-F2-3-1, PLK-F2-5-4, BRM-D5-6-1, PLK-F2-5-2, NAN-2-5-2-2, PLK-F2-5-2, NST-A11-2, RET-P3-1-2, RET-P3-1-1, PRE-2-1-2-3, PRE-2-1-2-2, PRE-3-3-3-1, PRE-3-3-3-2, PRE-4-4-4-1, PRE-4-4-4-2, NAN-2-5-2-1 และ MPWS กลุ่มที่ 2 จำนวน 1 ไอโซเลท ได้แก่ PRE-2-2-3-2 กลุ่มที่ 3 จำนวน 2 ไอโซเลท

ได้แก่ RET-P3-3-2 และ BRM-D5-6-2 และกลุ่มที่ 4 จำนวน 1 ไอโซเลท ได้แก่ BRM-S1-2-2 (Figure 1)

ผลการจัดกลุ่มเชื้อ *B. glumae* จากข้อมูลการตอบสนองต่อการก่อโรคน้ำข้าว 20 พันธุ์/สายพันธุ์จากการศึกษานี้ช่วยลดความซับซ้อนในการใช้ไอโซเลททดสอบ และทำให้สามารถเลือกไอโซเลทตัวแทนจากแต่ละกลุ่มมาใช้ในการประเมินความต้านทานของพันธุ์ข้าวในอนาคตได้ นอกจากนี้ ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาชุดพันธุ์เปรียบเทียบสำหรับการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีลักษณะต้านทานแบบกว้าง (broad spectrum disease resistance) ต่อโรครวงไหม้ที่เกิดจากเชื้อ *B. glumae* ได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

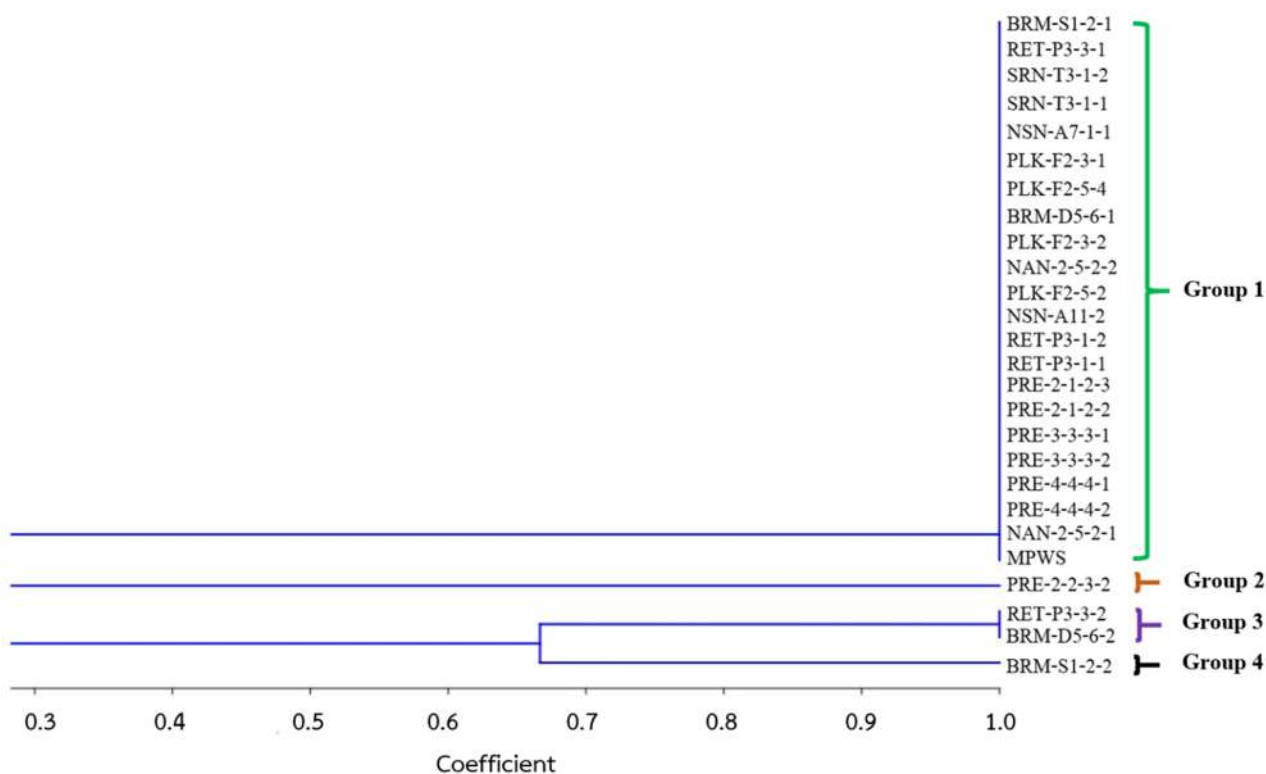


Figure 1 Clustering of 26 *B. glumae* isolates based on resistant (R = 1) and susceptible (S = 0) responses of 20 rice varieties/lines to sheath rot disease, using Bray-Curtis analysis in PAST4.10

สรุปผลการทดลอง

จากการประเมินการตอบสนองของสายพันธุ์ข้าวต่าง ๆ ต่อการก่อโรคของเชื้อ *B. glumae* ในสภาพโรงเรือน โดยใช้เชื้อจากนาข้าวในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย ทำให้ยืนยันได้ว่าพบเชื้อ *B. glumae* ที่ก่อโรคในข้าวใน จ.นครปฐม พิจิตร โลกนครสวรรค์ ร้อยเอ็ด สุรินทร์ บุรีรัมย์ น่าน และแพร่ ยกเว้น จ.นครราชสีมา และสุพรรณบุรี ซึ่งไม่พบเชื้อ *B. glumae* อาจเนื่องมาจากการเก็บตัวอย่างข้าวได้น้อย เนื่องจากอยู่ในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว หากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรสำรวจในพื้นที่ดังกล่าวจากการประเมินการตอบสนองของสายพันธุ์ข้าวต่อการก่อโรคของเชื้อ *B. glumae* ในสภาพโรงเรือน ไม่พบสายพันธุ์ข้าวลักษณะต้านทานสูงถึงค่อนข้างต้านทาน (HR R และ MR) ตามเกณฑ์มาตรฐาน พบเพียงสายพันธุ์ข้าวลักษณะค่อนข้างอ่อนแอถึงอ่อนแอสูง (MS S และ HS) โดยข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 กข37 เหนียวสันป่าตอง และขาวดอกมะลิ 105 แสดงลักษณะอ่อนแอสูง จึงสามารถใช้เป็นสายพันธุ์เปรียบเทียบในการประเมินความต้านทานเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ข้าวได้ในอนาคต นอกจากนี้ข้าวพันธุ์ KD105 UBN พิจิตร 2 และ FR13A แสดงค่าดัชนีการเกิดโรคต่อบางไอโซเลตต่ำกว่าพันธุ์อื่น อย่างไรก็ตามสายพันธุ์ข้าวส่วนใหญ่อ่อนแอสูงต่อไอโซเลตที่แยกได้ในประเทศไทย ส่วนข้อมูลการตอบสนองต่อการก่อโรคบนพันธุ์ข้าว 20 พันธุ์/สายพันธุ์ ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มเชื้อ *B. glumae* ที่พบได้เป็น 4 กลุ่ม ข้อมูลดังกล่าวยังสามารถใช้ในการเลือกไอโซเลตตัวแทนเพื่อประเมินความต้านทาน รวมถึงพัฒนาและคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่มีความต้านทานแบบกว้างต่อโรครวงไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

คำขอบคุณ

ขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ประเทศไทย สำหรับการสนับสนุนเงินวิจัยบางส่วนและการจัดหาพันธุ์ข้าวเพื่อการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2550. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดศัตรูพืชเป็นสิ่งต้องห้ามตามพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 (ฉบับที่ 6) พ.ศ. 2550. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2019/10/ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดศัตรูพืชเป็นสิ่งต้องห้าม ฉบับที่ 6. สืบค้น: 13 ตุลาคม 2568>.
- กวินธรรพ์ บุปผา เทิดศักดิ์ สวัสดิ์สุข รัศมี จิตติเกียรติพงศ์ ศิริพร กออินทร์ศักดิ์ และจินตนา อันอาดมงาม. 2559. การสำรวจโรคเมล็ดต่างข้าวที่เกิดจากเชื้อราและการพัฒนาวิธีการประเมินโรคในสภาพโรงเรือน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 47(3): 339-349.
- จิตรา สุวรรณ เฉลิมพล ภูมิไชย และธานี ศรีวงศ์ชัย. 2562. ความหลากหลายของลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทย. หน้า 750-760. ใน: การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 20. 15 มีนาคม 2562 อาคารพจน์ สารสิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- บุญยาพร ภาคภูมิ และศิริพร ดอนเหนือ. 2562. การศึกษาเชื้อ *Burkholderia glumae* และ *B. gladioli* สาเหตุโรคของข้าวในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ. 2(2): 48-58.
- วันวิสาข์ เพ็ชรอำไพ จุฑาเทพ วัชรไชยคุปต์ สุจินต์ ภัทรภูวดล และวิชัย โสสิตรัตน. 2560. การจำแนกเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรครวงไหม้ และเมล็ดต่างของข้าวโดยการวิเคราะห์ลำดับเบสของกลุ่มยีน. วารสารวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมเกษตร. 48(2): 297-311.

วนิดา ธรรมธรรสาร ศิริพร ตอนเหนือ ศิริพร ก่ออินทร์ศักดิ์ และจินตนา อันอาตม์งาม. 2562. การประเมินความต้านทานต่อโรคกาบใบเน่าและโรคเมล็ดต่างข้าวที่เกิดจากเชื้อรา *Sarocladium oryzae*. วารสารเกษตร. 35(1): 113-123.

อริษา จิตรติกรกุล พยอม โคเบลลี ไอลดา ชุมแสง ศุภลักษณ์ สอนนอก คณินิจ ศรีวิสัย อังคณา กันหาจันทร์ กิตติพงษ์ ศรีม่วง พสชนัน ชัยวิริยะพงศ์ สมศักดิ์ ลีลาภักดิ์ พิภูล ลีลาภักดิ์ สุนิตา ปาวะริย์ และธีรดา หวังสมบูรณ์ดี. 2567. การสำรวจและตรวจเชื้อ *Burkholderia glumae* และ *Burkholderia gladioli* สาเหตุโรครวงไหม้ของข้าวในประเทศไทยด้วยวิธีทางชีวโมเลกุล. วารสารวิชาการข้าว. 15(1): 92-110.

Chen, Q., Y. Hu, W. Shen and A. Zhang. 2025. Evaluation of rice blast resistance and R gene analysis in japonica rice varieties tested in the Anhui region. *Agronomy*. 15(5): 1008.

Ham, J.H., R.A. Melanson and M.C. Rush. 2011. *Burkholderia glumae*: Next major pathogen of rice? *Molecular Plant Pathology*. 12(4): 329–339.

Jungkhun, N., A.R.G. Farias, J. Watcharachaiyakup, N. Kositcharoenkul, J.H. Ham and S. Patarapuwadol. 2022. Phylogenetic characterization and genome sequence analysis of *Burkholderia glumae* strains isolated in Thailand as the causal agent of rice bacterial panicle blight. *Pathogens*. 11(6): 676.

Maeda, Y., H. Shinohara, A. Kiba, K. Ohnishi, N. Furuya, Y. Kawamura, T. Ezaki, P. Vandamme, S. Tsushima and Y. Hikichi. 2006. Phylogenetic

study and multiplex PCR-based detection of *Burkholderia plantarii*, *Burkholderia glumae* and *Burkholderia gladioli* using *gyrB* and *rpoD* sequences. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 56(5): 1031-1038.

McMaugh, T. 2005. Guidelines for Surveillance for Plant Pests in Asia and the Pacific. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Monograph No. 119. 192 p.

Mizobuchi, R., S. Fukuoka, C. Tsuiki, S. Tsushima and H. Sato. 2018. Evaluation of major Japanese rice cultivars for resistance to bacterial grain rot caused by *Burkholderia glumae* and identification of standard cultivars for resistance. *Breeding Science*. 68(4): 413–419.

Schaad, N.W., J.B. Jone and W. Chun. 2001. Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria. American Phytopathological Society, Saint Paul, Minnesota. USA. 373 p.

Yuan, X. 2004. Identification of Bacterial Pathogens Causing Panicle Blight of Rice in Louisiana. Master's thesis. Louisiana State University, USA. 97 p.

Zhu, B., M. Lou, Y. Huai, G. Xie, J. Luo and L. Xu. 2008. Isolation and identification of *Burkholderia glumae* from symptomless rice seeds. *Rice Science*. 15(2): 145-149.

การระบุชนิดของเห็ดยานางิ (*Cyclocybe* spp.) ด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยา
และข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS
Identification of Yanagi Mushroom (*Cyclocybe* spp.) Using Morphological
Characteristics and ITS Region Sequences

จิตรา กิตติโมรากุล^{1/*} วิภาวี ชื่นโรจน์^{1/} รัชฎาภรณ์ ทองเหม^{1/} ภรณ์ สว่างศรี^{1/}
Jittra Kittimorakul^{1/*} Vipavee Chanroj^{1/} Ratchadaporn Thonghem^{1/} Paranee Sawangsri^{1/}

Received 19 Apr. 2025/Revised 19 Nov. 2025/Accepted 20 Nov. 2025

ABSTRACT

The Yanagi mushroom (*Cyclocybe* spp.) is one of the important mushrooms widely cultivated. Species identification of this mushroom in Thailand was confused. The objective of this research was to investigate morphological characteristics and identify ITS region sequences of Yanagi mushroom strains for correct identification. Nineteen strains of Yanagi mushrooms were collected from 10 different locations for the study. The results revealed that 18 strains showed brown or light brown to cream on the cap, cylindrical stalk, and off-white surface. After the cap was open, the partial veil was quite short seeming like *C. cylindracea*. While the Yanagi mushroom strain Ya11 was different, the cap color was brown to dark brown with tiny white scales, the stalk was cylindrical, the surface was light brown, and the partial veil was thicker and larger, seeming like *C. chaxingu*. Furthermore, the nucleotide sequence analysis of the ITS region and phylogenetic analysis separated 19 Yanagi mushroom strains into two groups according to the morphological study. Thus, the identification of the Yanagi mushroom using both morphological characteristics and ITS region sequences was an accurate and efficacious method for use in the species identification of this mushroom in Thailand.

Keywords: identification; Yanagi mushroom; morphology; ITS region sequences

^{1/} สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ ถ.รังสิต-นครนายก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

^{1/} Biotechnology Research and Development Office, Rangsit-Nakhon Nayok Rd., Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

* Corresponding author: kittimorakul.j@gmail.com

บทคัดย่อ

เห็ดยานางิ (*Cyclocybe* spp.) เป็นเห็ดที่สำคัญและแพร่หลาย การระบุชนิดของเห็ดยานางิในประเทศไทยยังขาดความชัดเจน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS ของเห็ดยานางิ เพื่อระบุชนิดของเห็ดให้ถูกต้อง โดยเก็บรวบรวมเห็ดยานางิจาก 10 แหล่ง รวม 19 สายพันธุ์ ตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาต่าง ๆ และวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS ของ DNA ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า เห็ดยานางิ 18 สายพันธุ์ มีลักษณะหมวกดอกสีน้ำตาลถึงน้ำตาลอ่อนและครีม ก้านดอกทรงกระบอกสีขาวเสมอกันตลอดทั้งก้าน เมื่อดอกบานพบแผ่นวงแหวนใต้ครีบดอกขนาดเล็ก ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ *C. cylindracea* ในขณะที่เห็ดยานางิ 1 สายพันธุ์ คือ Ya11 มีลักษณะที่แตกต่างคือ มีหมวกดอกสีน้ำตาลเข้มถึงเกือบดำ พบเกล็ดสีขาวบนหมวกดอกที่สังเกตเห็นได้ชัด ก้านดอกทรงกระบอกสีน้ำตาล เมื่อดอกบานพบแผ่นวงแหวนใต้ครีบดอกหนาและยาว ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ *C. chaxingu* ส่วนผลการวิเคราะห์ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS และสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมพบว่า ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของความใกล้ชิดของเห็ดยานางิทั้ง 19 สายพันธุ์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม สอดคล้องกับข้อมูลทางสัณฐานวิทยา ดังนั้น การระบุชนิดของเห็ดยานางิด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาและข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS จึงถือเป็นวิธีการจัดจำแนกชนิดเห็ดยานางิได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้แยกชนิดเห็ดยานางิในประเทศไทยได้

คำสำคัญ: การระบุชื่อ; เห็ดยานางิ; สัณฐานวิทยา; ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS

บทนำ

เห็ดยานางิหรือเห็ดโคนญี่ปุ่น (*Cyclocybe* spp.) เป็นเห็ดที่มีการนำเข้าจากต่างประเทศเพื่อศึกษาด้านสรีรวิทยา นิเวศวิทยา ตลอดจนเทคโนโลยีการเพาะตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 โดยศูนย์รวบรวมเชื้อพันธุ์เห็ดแห่งประเทศไทย กลุ่มงานจุลชีววิทยาประยุกต์ กองโรคพืชและจุลชีววิทยา กรมวิชาการเกษตร (อัจฉรา, 2536) เห็ดสกุลนี้มีถิ่นกำเนิดในเขตอบอุ่น (temperate zone) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยและการออกดอกอยู่ในช่วง 24-30°C. ซึ่งต่ำกว่าการเจริญของเห็ดชนิดอื่น ๆ ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย เห็ดยานางิมีรสชาติดีและเป็นที่ยอมรับมีราคาจำหน่ายกิโลกรัมละ 120-180 บาท ทำให้การเพาะเห็ดยานางิได้รับความสนใจจากเกษตรกร

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการจัดจำแนกเห็ดยานางิในประเทศไทยเป็นชนิด *Agrocybe cylindracea* มีลักษณะดอกเป็นสีน้ำตาลและสีขาวครีม (อัจฉรา, 2536) แต่เห็ดยานางิที่มีจำหน่ายในท้องตลาด สามารถพบลักษณะดอกได้ทั้งดอกสีขาวครีม สีสน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม โดยความเข้มของหมวกดอกอาจขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สภาพแวดล้อมขณะที่เปิดดอก หรือชนิดและสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน (จิตรและคณะ, 2568) ทำให้เห็ดยานางิมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน การศึกษาโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาในการจัดจำแนกเห็ดยานางิเพียงอย่างเดียวจึงไม่เพียงพอ การใช้เครื่องหมายโมเลกุลเป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสามารถใช้ควบคู่กับการจัดจำแนกด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาช่วยให้การจำแนกชนิดของเห็ดมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น (Frøslev et al., 2007)

เครื่องหมายโมเลกุลที่นิยมใช้ในการจำแนกสายพันธุ์ของเชื้อรา ได้แก่ ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ internal transcribed spacer (ITS) ซึ่งเป็นบริเวณที่

มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง (Mitchell and Zuccaro, 2006) สามารถใช้ในการจำแนกความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ได้ดี การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS และ ribosomal large sub-unit (LSU) ของ Vizzini et al. (2014) สามารถปรับปรุงการจำแนกชนิดเห็ดยานางิได้ โดยยુบสกุล *Agrocybe* ได้แก่ *A. erebia*, *A. cylindracea*, *A. aegerita*, *A. parasitica*, *A. salicicicola* และ *A. chaxingu* รวมไว้ภายใต้สกุล *Cyclocybe* วงศ์ Tubariaceae อันดับ Agaricales เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่า เห็ดในสกุล *Cyclocybe* ดอกมีขนาดใหญ่กว่า มีแผ่นเยื่อวงแหวน (membranous ring) ที่ก้านดอกเรียบ สปอร์ผิวเรียบ และมีรูงอก (germ pore) บนสปอร์ขนาดเล็กหรือไม่มีเลย แตกต่างจากเห็ดสกุล *Agrocybe* ที่สปอร์มีรูงอกที่ชัดหรือกว้าง และดอกเห็ดมีขนาดเล็กกว่า จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการในระดับชีวโมเลกุล พบว่าเห็ดในสกุล *Cyclocybe* มีรายงานทั่วโลกทั้งหมด 12 ชนิด (Niveiro et al., 2020; Liu et al., 2021) แสดงให้เห็นว่า เห็ดสกุลนี้มีความหลากหลายของชนิดที่ควรค่าแก่การศึกษาและการพัฒนาปรับปรุงพันธุ์

ข้อมูลชนิดและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเห็ดยานางิในประเทศไทยยังขาดความชัดเจนและไม่เป็นปัจจุบัน การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุชนิดของเห็ดยานางิที่มีอยู่ในประเทศไทย โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์

บริเวณ ITS เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้อง สำหรับใช้เป็นฐานข้อมูลในการเก็บอนุรักษ์เชื้อพันธุกรรมเห็ดยานางิของศูนย์รวบรวมเชื้อพันธุ์เห็ดแห่งประเทศไทย รวมถึงการปรับปรุงพันธุ์ลูกผสม การวิจัยเทคโนโลยีการเพาะเห็ด และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเห็ดยานางิต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สายพันธุ์เห็ดยานางิ

รวบรวมสายพันธุ์เห็ดยานางิทั้งสายพันธุ์ที่เก็บอนุรักษ์ สายพันธุ์ที่ให้บริการของกรมวิชาการเกษตร และสายพันธุ์การค้าที่มีจำหน่ายโดยทั่วไป ทั้งสิ้น 19 สายพันธุ์ จาก 1) ศูนย์รวบรวมเชื้อพันธุ์เห็ดแห่งประเทศไทย 11 สายพันธุ์ และ 2) แหล่งจำหน่ายเชื้อพันธุ์เห็ดและฟาร์มเกษตรกรผู้เพาะเห็ด 8 สายพันธุ์ บันทึกแหล่งที่มา (Table 1) จากนั้นย้ายเลี้ยงเส้นใยหรือแยกเนื้อเยื่อจากดอกเห็ดจนได้เชื้อเห็ดบริสุทธิ์ และย้ายเลี้ยงเส้นใยเห็ดบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิ 28-30°C. เป็นเวลา 8-10 วัน เมื่อเส้นใยเจริญเต็มผิวหน้าอาหาร ทำการเตรียมหัวเชื้อขยายเห็ดยานางิในเมล็ดข้าวฟ่าง โดยย้ายชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยเห็ดเจริญบนอาหาร PDA ลงในขวดเมล็ดข้าวฟ่างที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้ว 1 ชิ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. บ่มที่อุณหภูมิ 28-30°C. เป็นเวลา 12-15 วัน จนเส้นใยเจริญคลุมเต็มเมล็ดข้าวฟ่าง นำเชื้อขยายเห็ดยานางิในเมล็ดข้าวฟ่างหยอดใส่ก้อนเชื้อเห็ดนึ่งฆ่าเชื้อเพื่อใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

Table 1 Sources of nine-teen strains of Yanagi mushroom (*Cyclocybe* spp.) used in this study

No.	Sample code	Source of sample	Type of sample	Type of culture
1	Ya01	TMCC ^{1/}	Mother culture	DOA culture service
2	Ya02	TMCC	Mother culture	DOA culture service
3	Ya03	TMCC	Mother culture	Culture collection
4	Ya06	TMCC	Mother culture	Culture collection
5	Ya07	TMCC	Mother culture	Culture collection
6	Ya08	TMCC	Mother culture	Culture collection
7	Ya09	TMCC	Mother culture	Culture collection
8	Ya10	TMCC	Mother culture	Culture collection
9	Ya11	TMCC	Mother culture	Culture collection
10	Ya12	Buriram province	Mother culture	Commercial strain
11	Ya13	Sakon Nakhon province	Mother culture	Commercial strain
12	Ya15	Lat Krabang, Bangkok	Fruiting body	Commercial strain
13	Ya16	Pathum Thani province	Fruiting body	Commercial strain
14	Ya17	Buriram province	Sorghum master culture	Commercial strain
15	Ya18	Thanyaburi, Pathum Thani province	Fruiting body	Commercial strain
16	Ya19	Phitsanulok province	Fruiting body	Commercial strain
17	Ya20	Bangkok	Fruiting body	Commercial strain
18	Ya21	Sri Mueang market, Ratchaburi province	Fruiting body	Commercial strain
19	Ya26	Si Sa Ket province	Sorghum master culture	Commercial strain

^{1/} Thailand mushroom culture collection

2. การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

เตรียมก้อนเชื้อเห็ด ประกอบด้วย ขี้เลื่อย:รำ
ละเอียด:ดีเกลือ:ปูนขาว สัดส่วน 100:6:0.2:1 โดย
น้ำหนัก ปรับความชื้นด้วยน้ำให้มีความชื้น 60-70%
บรรจุลงในถุงพลาสติกทนร้อนขนาด 6.5x13 นิ้ว
ถุงละ 800 ก. นำไปนึ่งฆ่าเชื้อชนิดไม่อัดความดันที่
อุณหภูมิ 100°ซ. เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น แล้วใส่
เชื้อเห็ดยานางิที่เจริญในเมล็ดข้าวฟ่าง โดยใช้หัวเชื้อ
20-25 เม็ด/ถุง นำถุงก้อนเชื้อเห็ดบ่มในที่มืด อุณหภูมิ
28-31°ซ. ใช้เวลา 60-70 วัน เส้นใยจึงเจริญเต็มก้อน
เชื้อเห็ด พักก้อนเชื้อต่ออีก 5-7 วัน เพื่อให้เส้นใย

สะสมอาหาร แล้วนำไปเปิดดอกในโรงเรือนไม่ควบคุม
อุณหภูมิขนาด 4x6 ม. ของกลุ่มวิจัยและพัฒนาเห็ด
สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ โดยวางเรียงก้อน
เห็ดเป็นแนวนอนบนชั้นเปิดดอก ให้น้ำด้วยวิธีพ่นฝอย
วันละ 4-6 ครั้ง (ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศภายนอก
โรงเรือน) เพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ไม่ให้ต่ำกว่า
80% บันทึกลักษณะสัณฐานวิทยาของดอกเห็ด ได้แก่
สี รูปร่าง ขนาด จำนวนดอก/ช่อ โดยทำการจำแนก
ตามวิธีของ Uhart and Albert (2007) และ Callac
et al. (2011) และตรวจสอบลักษณะโครงสร้างของ
เห็ดยานางิแต่ละสายพันธุ์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

บันทึกลักษณะของสปอร์ เบสิเดียม และวัดขนาดสปอร์ 30 ตัวอย่าง/สายพันธุ์

3. การศึกษาลักษณะทางพันธุกรรม

3.1 การสกัดดีเอ็นเอ เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ และวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์

นำเชื้อบริสุทธิ์ที่เลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เป็นเวลา 8 วัน ที่อุณหภูมิ 28-30°C. มาสกัดดีเอ็นเอ ด้วยวิธี CTAB (Gawel and Jarret, 1991) ตรวจสอบคุณภาพและวัดปริมาณความเข้มข้นของดีเอ็นเอ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง 260/280 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Multiskan™ GO microplate spectrophotometer (Thermo Scientific, USA) และวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิส (electrophoresis) ในเจลอะกาโรส 1% ด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้า 100 โวลต์ นาน 30 นาที ในสารละลาย TBE buffer บันทึกภาพดีเอ็นเอ ด้วยเครื่อง gel documentation (Omega Fluor™, aplegen, USA) แล้วเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ ด้วยปฏิกิริยาถูกโซ่พอลิเมอเรส (polymerase chain reaction, PCR) บริเวณตำแหน่ง internal transcribed spacer (ITS) ใช้คู่ไพรเมอร์ ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') และ ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') (White et al., 1990) ในปฏิกิริยาทั้งหมด 25 ไมโครลิตร ประกอบด้วย ดีเอ็นเอ 1 ไมโครลิตร forward และ reverse primers ข้างละ 1 ไมโครลิตร ชุดน้ำยา 2X PCR mastermix gotaq green (Promega, USA) 12.5 ไมโครลิตร แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl₂) 25mM 1 ไมโครลิตร น้ำกลั่น 8.5 ไมโครลิตร ดำเนินปฏิกิริยาด้วยเครื่อง thermal cycler (BIO-RAD T100™, USA) ตั้งเวลาและอุณหภูมิ ดังนี้ initial denaturation ที่อุณหภูมิ 94°C. เป็นเวลา 5 นาที ตามด้วย 3 ขั้นตอน คือ denaturation ที่อุณหภูมิ 94°C. เป็นเวลา 30 วินาที annealing ที่อุณหภูมิ 60°C. เป็นเวลา 30 วินาที

extension ที่อุณหภูมิ 72°C. เป็นเวลา 45 วินาที จำนวน 35 รอบ และ final extension ที่อุณหภูมิ 72°C. เป็นเวลา 5 นาที ตรวจหาผลผลิตที่ได้จากการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิสใน 2% เจลอะกาโรส โดยเปรียบเทียบกับดีเอ็นเอมาตรฐานวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของผลผลิตดีเอ็นเอที่ได้ด้วยวิธี barcode-tagged sequencing (BTSeq™) (U2Bio, Korea)

3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของลำดับนิวคลีโอไทด์และความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ

นำลำดับนิวคลีโอไทด์ของตัวอย่างเห็ดยานางิ ไปเปรียบเทียบหาความเหมือน (identity) ด้วยโปรแกรม BLAST ในฐานข้อมูลออนไลน์ของ GenBank และเปรียบเทียบความใกล้ชิดของชนิดเห็ดของเห็ดยานางิที่ศึกษาทั้ง 19 ตัวอย่าง กับข้อมูลที่ได้มีการเก็บรักษาไว้ในระบบสากล จากนั้นรวบรวมข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของเห็ดสกุล *Cyclocybe* ในฐานข้อมูล GenBank 12 ตัวอย่าง และตัวอย่างนอกกลุ่มที่ศึกษา 1 ตัวอย่าง (Table 2) มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยการเรียงตำแหน่งเปรียบเทียบกันแบบหลายตัวอย่าง (multiple sequence alignment) ด้วยโปรแกรม ClustalW (Thompson et al., 1994) และตรวจสอบผลที่ได้อีกครั้งด้วยโปรแกรม BioEdit จากนั้นนำข้อมูลการจัดเรียงเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้ไปสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ (phylogenetic tree) ด้วยวิธี neighbor joining โดยกำหนดค่า bootstrap ที่ 1,000 รอบ ในโปรแกรม MEGA11 (Tamura et al., 2021) เพื่อสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด เปรียบเทียบความสอดคล้องของการระบุชื่อเห็ดยานางิด้วยลักษณะสัณฐานวิทยาและข้อมูลพันธุกรรม

Table 2 Nucleotide sequences downloaded from GenBank, NCBI online database

Name	Strain	Location	GenBank accession no.
<i>Cyclocybe aegerita</i>	AAE-3	Germany	MN306174
<i>Cyclocybe aegerita</i>	CBS 127.88	Germany	MN306175
<i>Cyclocybe aegerita</i>	IHI536	Germany	MN306186
<i>Cyclocybe chaxingu</i>	IHI392	India	MN306184
<i>Cyclocybe chaxingu</i>	AS-1	China	KT148848
<i>Cyclocybe cylindracea</i>	Ag0906	China	HQ619845
<i>Cyclocybe cylindracea</i>	Baicha	China	KT148853
<i>Cyclocybe cylindracea</i>	NAAS03938	Republic of Korea	KP004974
<i>Cyclocybe parasitica</i>	ICMP 11668	New Zealand	MN306189
<i>Cyclocybe parasitica</i>	ICMP 16333	New Zealand	MN306190
<i>Cyclocybe salicacicola</i>	YAASM0711	China	HQ384310
<i>Cyclocybe salicacicola</i>	YAASM0964	China	HQ384313
<i>Hebeloma crustuliniforme</i> (Outgroup)	JMP0100	USA	EU819469

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเห็ดยานางิ

จากการเพาะทดสอบศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเห็ดยานางิ พบว่า เส้นใยของเห็ดยานางิทั้ง 19 สายพันธุ์ สามารถเจริญเต็มก่อนอาหารขึ้นเลี้ยงที่ระยะเวลา 52-60 วัน หลังเปิดดอกเป็นเวลา 8-10 วัน จึงเริ่มเห็นตุ่มดอก จากระยะตุ่มดอกอีก 2-3 วัน จึงสามารถบันทึกลักษณะทางสัณฐานวิทยาได้ พบว่าทั้ง 19 สายพันธุ์ มีจำนวนดอกตั้งแต่ 3-15 ดอก/ช่อ แต่ละสายพันธุ์มีลักษณะของดอกเห็ดที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะสีของดอกแตกต่างกันอย่างชัดเจน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มสีน้ำตาลถึงน้ำตาลอ่อนและครีม และ 2) กลุ่มสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ สามารถจัดจำแนกเห็ดยานางิทั้ง 19 สายพันธุ์ ได้เป็น 2 ชนิด คือ 1) *C. cylindracea* 18 สายพันธุ์ และ 2) *C. chaxingu* 1 สายพันธุ์ (Table 3) โดยสัณฐานวิทยาของเห็ด

ยานางิ *C. cylindracea* และ *C. chaxingu* มีลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้

1) *C. cylindracea* หมวกดอกสีน้ำตาลถึงน้ำตาลอ่อนและครีม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมวกดอกตั้งแต่ 10-75 มม. ก้านดอกทรงกระบอกยาว 40-175 มม. กว้าง 4-10 มม. สีขาวเสมอกันตลอดทั้งก้าน (Figure 1A-B) แผ่นวงแหวนใต้ครีบดอกขนาดเล็กและสั้นกว่า *C. chaxingu* เมื่อดอกบาน (Figure 1C) สปอร์มีขนาด 4-5×8-9 ไมครอน (Figure 1D)

2) *C. chaxingu* หมวกดอกสีน้ำตาลเข้มถึงเกือบดำ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมวกดอกตั้งแต่ 10-65 มม. ก้านดอกทรงกระบอกยาว 45-155 มม. กว้าง 4-12 มม. สีน้ำตาล บนดอกอ่อนพบเกล็ดสีขาวบนหมวกดอกที่สังเกตเห็นได้ชัด (Figure 1E-F) แผ่นวงแหวนใต้ครีบดอกหนาและยาวกว่า *C. cylindracea* เมื่อดอกบาน (Figure 1G) สปอร์มีขนาด 5-6×8-10 ไมครอน (Figure 1H)

C. cylindracea

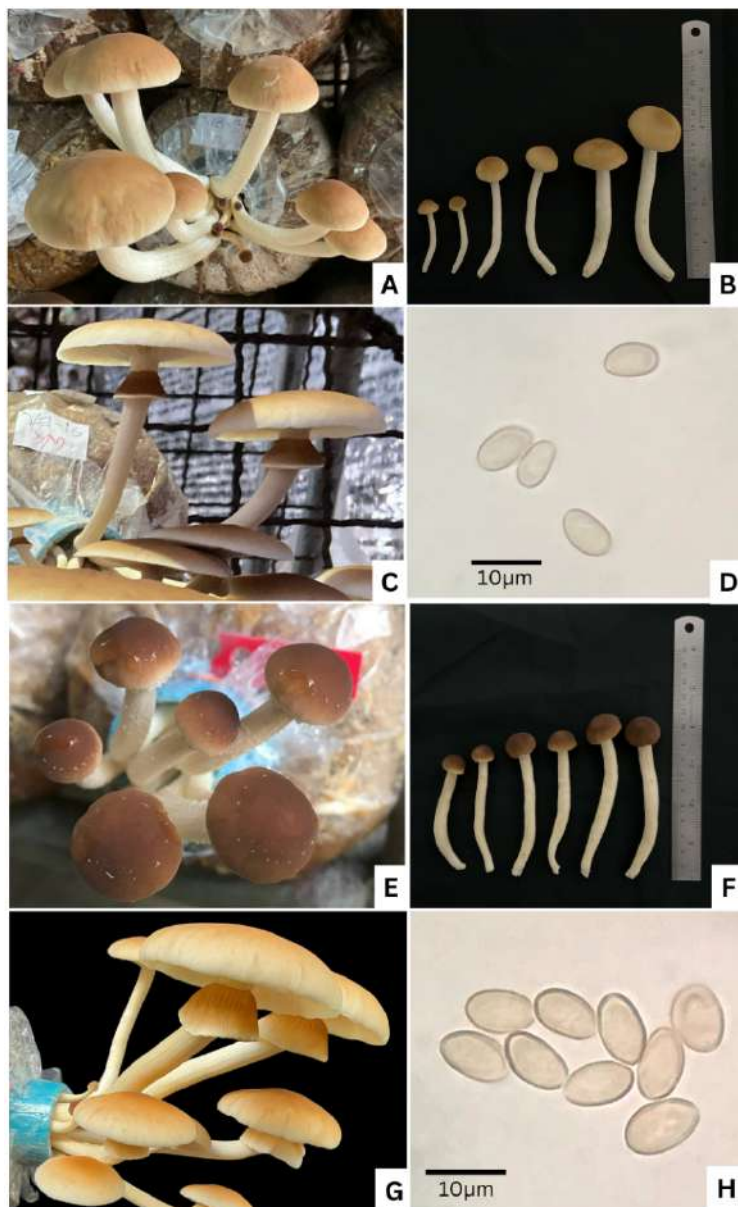


Figure 1 Morphological characteristics of Yanagi mushroom, *C. cylindracea*; (A) Cap before opening; (B) Stalk length and color; (C) Cap after opening; (D) Spore size 4-5x8-9 μm ; *C. chaxingu*; (E) Cap before opening with white color of tiny scales; (F) Stalk length and color; (G) Cap after opening; and (H) Spore size 5-6x8-10 μm

2. การระบุชนิดโดยใช้ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS

การตรวจสอบลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS ทั้ง 19 สายพันธุ์ พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS มี จำนวนนิวคลีโอไทด์ต่ำสุดถึงสูงสุด 557-741 คู่เบส เมื่อเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกับลำดับนิวคลีโอไทด์

ในฐานข้อมูล GenBank พบว่า บริเวณ ITS ของเห็ด ยานางิ 18 สายพันธุ์ ได้แก่ Ya01, Ya02, Ya03, Ya06, Ya07, Ya08, Ya09, Ya10, Ya12, Ya13, Ya15, Ya16, Ya17, Ya18, Ya19, Ya20, Ya21 และ Ya26 มีลำดับนิวคลีโอไทด์คล้ายคลึงกับ *C. cylindracea* โดยมีความเหมือน 99.84-100% และตรงกับ

C. cylindracea (GenBank no. KT148853 และ KP004974) มากที่สุด ส่วน Ya11 มีลำดับนิวคลีโอไทด์ คล้ายคลึงกับ *C. chaxingu* โดยมีความเหมือน 100% และตรงกับ *C. chaxingu* (GenBank no. KT148848) มากที่สุด (Table 4) เมื่อเปรียบเทียบร่วมกับเห็ดสกุล *Cyclocybe* ในฐานข้อมูล GenBank และตัวอย่างนอกกลุ่มที่ศึกษา พบว่า แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการบริเวณ ITS สามารถจำแนกชนิด (species) ของเห็ดสกุล *Cyclocybe* ได้ โดยเห็ดยานางิ 18 สายพันธุ์ดังกล่าวข้างต้นมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับ *C. cylindracea* และเห็ดยานางิสายพันธุ์ Ya11 มี

ความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับ *C. chaxingu* อย่างชัดเจน (Figure 2) แสดงให้เห็นว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS มีความสอดคล้องกับการจัดจำแนกเห็ดยานางิ ด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยวิธีการจำแนกชนิดด้วยเทคนิคทางชีวโมเลกุลประกอบกับลักษณะทางสัณฐานวิทยา สามารถยืนยันชนิดของเห็ดยานางิได้แม่นยำ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการรวบรวมเชื้อพันธุ์เห็ดและใช้เป็นสายพันธุ์อ้างอิง (reference stain) สำหรับศูนย์รวบรวมเชื้อพันธุ์เห็ดแห่งประเทศไทยได้

Table 3 Morphological characteristics of 19 strains of Yanagi mushroom (*Cyclocybe* spp.)

Species	Pileus	Stalk length and diameter	Partial veil	Spore
<i>C. cylindracea</i> ; Ya01, Ya02, Ya03, Ya06, Ya07, Ya08, Ya09, Ya10, Ya12, Ya13, Ya15, Ya16, Ya17, Ya18, Ya19, Ya20, Ya21, Ya26	10-75 mm diameter, surface pale brown or light brown to cream, smooth	40-175 × 4-10 mm, cylindrical, surface off-white	Short, thick	Size 4-5×8-9 μm, honey to brown color, ovoid, thin-walled, smooth
<i>C. chaxingu</i> ; Ya11	10-65 mm diameter, surface pale brown to dark brown, white color of tiny scales	45-155×4-12 mm, cylindrical, surface light brown	Large, thick	Size 5-6×8-10 μm, brown color, ovoid, thin-walled, smooth

การศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตถือเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพ โดยเฉพาะเชื้อราขนาดใหญ่ที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมทางนิเวศวิทยาในภูมิภาคต่าง ๆ โดยเห็ดสกุล

Cyclocybe มักมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาบางลักษณะที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม (Wang et al., 2022) การใช้ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS จึงเป็นเครื่องมือดีเอ็นเอบาร์โค้ดที่ช่วยให้การจัดจำแนกและระบุชนิดเห็ดยานางิที่มีการเก็บ

อนุรักษและเป็นสายพันธุ์ทางการค้าในประเทศไทยให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ยังพบการใช้ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณอื่น ๆ ในการศึกษาสกุลเห็ดยานางิของประเทศจีน เช่น การใช้ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ mitochondrial small-subunit (mtSSU) ร่วมกับ ITS ในการจัดจำแนกเห็ด *Agrocybe aegerita*

และสายพันธุ์ลูกผสม (Chen et al., 2012) และการใช้ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ nuclear large ribosomal subunit (nrLSU) ร่วมกับ ITS ในการจำแนกและระบุชื่อเห็ดชนิดใหม่ (new species) ของโลก คือ *Agrocybe striatipes* (Li et al., 2023)

Table 4 Result from the BLAST analysis based on ITS sequences obtained from 19 strains of Yanagi mushroom. The most similar sequences from NCBI are represented by their accession number. Species identification was done at sequence higher than 99%

Strain	GenBank accession no.	%Identity	Consensus species identification (GenBank accession no.)
Ya01	PX463979	100	<i>C. cylindracea</i> (KT148853)
Ya02	PX463980	99.84	<i>C. cylindracea</i> (KP004974)
Ya03	PX463981	100	<i>C. cylindracea</i> (KP004974)
Ya06	PX463982	100	<i>C. cylindracea</i> (KT148853)
Ya07	PX463983	99.84	<i>C. cylindracea</i> (KP004974)
Ya08	PX463984	100	<i>C. cylindracea</i> (KT148853)
Ya09	PX463985	100	<i>C. cylindracea</i> (KT148853)
Ya10	PX463986	100	<i>C. cylindracea</i> (KT148853)
Ya11	PX463997	100	<i>C. chaxingu</i> (KT148848)
Ya12	PX463987	99.86	<i>C. cylindracea</i> (KT148858)
Ya13	PX463988	100	<i>C. cylindracea</i> (KT148853)
Ya15	PX463989	100	<i>C. cylindracea</i> (KP004974)
Ya16	PX463990	100	<i>C. cylindracea</i> (KT148853)
Ya17	PX463991	100	<i>C. cylindracea</i> (KP004974)
Ya18	PX463992	100	<i>C. cylindracea</i> (KP004974)
Ya19	PX463993	100	<i>C. cylindracea</i> (KP004974)
Ya20	PX463994	100	<i>C. cylindracea</i> (KT148853)
Ya21	PX463996	100	<i>C. cylindracea</i> (HQ619845)
Ya26	PX463995	100	<i>C. cylindracea</i> (KT148853)

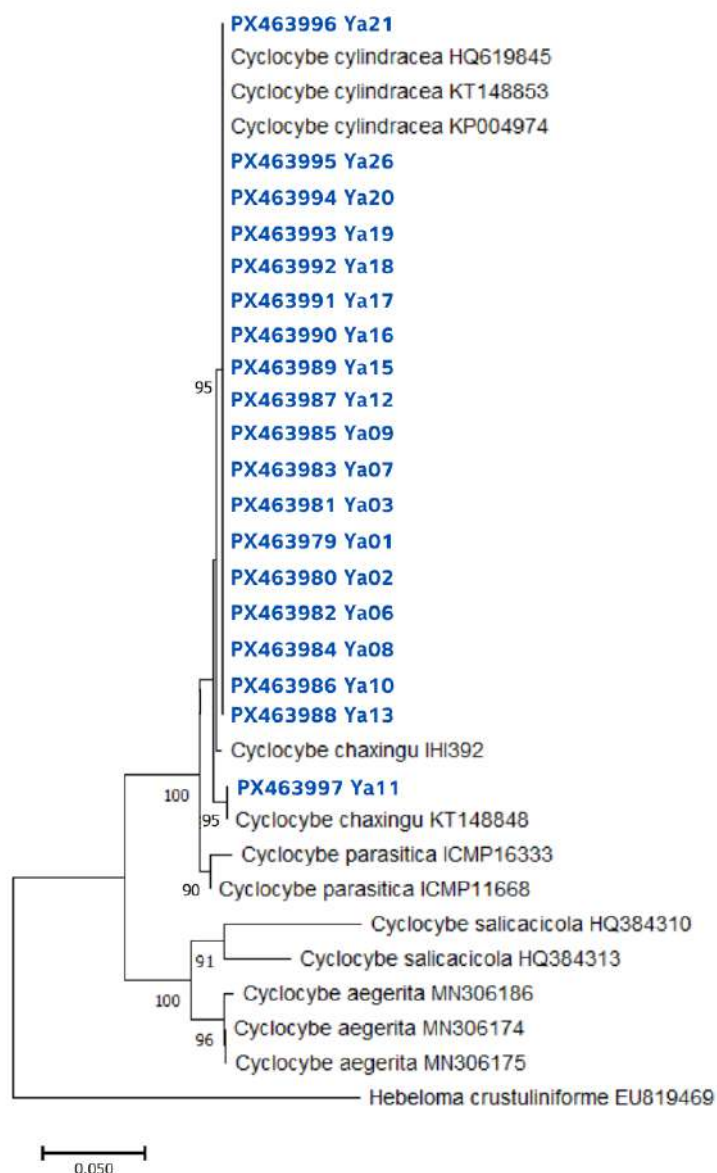


Figure 2 Neighbor-joining phylogenetic tree showing the relationships of 19 strains of *Cyclocybe* spp. in this study compared to 12 samples of *Cyclocybe* spp. from GenBank data of NCBI

สรุปผลการทดลอง

การระบุชนิดของเห็ดยานางิ (*Cyclocybe* spp.) ในประเทศไทย 19 สายพันธุ์ โดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS พบว่า สามารถจัดจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ 1) *C. cylindracea* 18 สายพันธุ์ และ 2) *C. chaxingu* 1 สายพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าการจำแนกชนิดเห็ดยานางิ ด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดอกเห็ดและเทคนิคทางชีวโมเลกุลมีความสอดคล้องกัน ข้อมูล

ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS สามารถใช้เป็นดีเอ็นเอบาร์โค้ดเพื่อจัดจำแนกชนิดของเห็ดยานางิได้อย่างชัดเจน การระบุชนิดของเห็ดยานางิโดยใช้ทั้งสองวิธีดังกล่าวร่วมกันทำให้การแยกชนิดของเห็ดยานางิในประเทศไทยมีความถูกต้อง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จิตรา กิตติโมรากุล ธนภักษ์ อินยอด วิภาวี ชื่นโรจน์ ภรณ์
สว่างศรี และรัชฎาภรณ์ ทองเหม. 2568. การเก็บรวบรวม
และคัดเลือกสายพันธุ์เห็ดยานางิ (*Agrocybe cylindracea*)
เพื่อใช้ในการพัฒนาสายพันธุ์. Journal of Agricultural
Research and Communications. 41(1): 11-22.
- อัจฉรา พยัพพานนท์. 2536. *Agrocybe cylindracea* ATCC#90228
เห็ดที่กำเนิดจากกองโรคพิษฯ. ข่าวสารโรคพิษและ
จุลชีววิทยา. 3(3): 20.
- Callac, P., J. Guinberteau, C. Ferandon and G. Barroso.
2011. An Asian commercial strain of *Agrocybe*
chaxingu and a European wild strain of *Agrocybe*
cylindracea exhibiting morphological difference
and high genetic divergence are interfertile. pp.
113-122. In: Proceedings of the 7th International
Conference on Mushroom Biology and Mushroom
Products. Institut National de Recherche Agronomique
(INRA), Arcachon.
- Chen, W.M., H.M. Chai, H.M. Zhou, G.T. Tian, S.H. Li
and Y.C. Zhao. 2012. Phylogenetic analysis of
the *Agrocybe aegerita* multispecies complex in
Southwest China inferred from ITS and mtSSU
rDNA sequences and mating tests. Annals of
Microbiology. 62(4): 1791-1801.
- Frøslev, T.G., T.S. Jeppesen, T. Læssøe and R. Kjølner.
2007. Molecular phylogenetics and delimitation
of species in *Cortinarius* section *Calochroi*
(Basidiomycota, Agaricales) in Europe. Molecular
Phylogenetics and Evolution. 44(1): 217-227.
- Gawel, N.J. and R.L. Jarret. 1991. A modified CTAB
DNA extraction procedure for *Musa* and *Ipomoea*.
Plant Molecular Biology Reporter. 9(3): 262-266.
- Li, J. W. Yang, J. Ren, B. Cao, X. Zhu, L. Lin, W. Ye and
R. Zhao. 2023. A new species *Agrocybe striatipes*,
also a newly commercially cultivated mushroom
with highly nutritional and healthy values.
Journal of Fungi. 9(3): 383.
- Liu, Q.M., H.Y. Song, R.X. Chen, M.H. Chen, Z.J. Zhai,
J.P. Zhou, Y. Gao and D.M. Hu. 2021. Species
concept of *Cyclocybe chaxingu*, an edible mushroom
cultivated in China. Mycosystema. 40(5): 981-991.
- Mitchell, J.I. and A. Zuccaro. 2006. Sequences, the
environment and fungi. Mycologist 20(2): 62-74.
- Niveiro, N., M. Uhart and E. Albertó. 2020. Revision of the
genera *Agrocybe* and *Cyclocybe* (Strophariaceae,
Agaricales, Basidiomycota) in Argentina. Rodriguésia.
71: e02272018.2020.
- Tamura, K., G. Stecher and S. Kumar. 2021. MEGA11:
Molecular evolutionary genetics analysis version 11.
Molecular Biology and Evolution. 38(7): 3022-3027.
- Thompson, J.D., D.G. Higgins and T.J. Gibson. 1994.
Clustal W: Improving the sensitivity of progressive
multiple sequence alignment through sequence
weighting, position-specific gap penalties and
weight matrix choice. Nucleic Acids Research.
22(22): 4673-4680.
- Uhart, M. and E. Alberto. 2007. Morphologic characterization
of *Agrocybe cylindracea* (Basidiomycetes, Agaricales)
from America, Europe and Asia. Scientia Fungorum.
24: 9-18.
- Vizzini, A., C. Angelini and E. Ercole. 2014 Le sezioni
Velatae e *Aporus* di *Agrocybe* sottogenere *Aporus*:
rivalutazione del genere *Cyclocybe* Velen. ed
una nuova specie. Bolletino della Associazione
Micologica ed Ecologica Romana. 92(2): 21-38.
- Wang, L., Q. Zhou and L. Li. 2022. Analysis of Phylogeny
of *Agrocybe* Genus Based on Nucleotide Database
in NCBI. bioRxiv. Available at: <https://doi.org/10.1101/2022.07.27.501799>. Accessed: October 11, 2025.
- White, T.J., T. Bruns, S. Lee and J. Taylor. 1990.
Amplification and direct sequencing of fungal
ribosomal RNA genes for phylogenetics. pp.
315-322. In: PCR protocols: A guide to methods
and applications, M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J.
Sninsky, T.J. White (eds). Academic, San Diego.

กระดาษลามิเนตชีวภาพจากเปลือกโกโก้สำหรับบรรจุภัณฑ์เบเกอรี่

Biodegradable Laminated Paper from Cocoa Pod Husk for Bakery Containers

กนกศักดิ์ ลอยเลิศ^{1/*} ประยูร เอ็นมาก^{1/} นภัตสร เลียบวัน^{1/} สุกัญญา นิตยนต์^{1/} ศิวัช พลายเสน^{1/}

Kanoksak Loiloes^{1/*} Prayoon Enmak^{1/} Napatsorn Leabwan^{1/} Sukanya Nitiyon^{1/} Siwat Plaisen^{1/}

Received 4 Jun. 2025/Revised 14 Aug. 2025/Accepted 17 Aug. 2025

ABSTRACT

Paper derived from cocoa pod husk generally exhibits limited mechanical durability. This research investigates the use of cocoa pod husk, a waste material, to produce disposable paperboard containers for bakery products. The chemical pulping process utilized sodium hydroxide-anthraquinone (SAQ) for pulping cocoa pod husks. The resulting cocoa pod husk pulp, referred to as SAQ5, displayed the best overall properties for paper production. The characteristics of the SAQ5 pulp included a yield of $77.87 \pm 2.57\%$, a kappa number of 26.0 ± 0.1 , a lignin content of $3.38 \pm 0.01\%$, and a freeness of 802.67 ± 63.79 CSF. Subsequently, modified starch was added to the paper as a binding material. The paper produced, known as pulp 10 g and modified starch 0.25 g, exhibited the best overall properties for paper formation. The paper had an air permeability of 12.6 ± 3.3 Pa·s/m, and a basis weight of 67.33 ± 12.92 g/m². Laminating paper with polybutylene adipate-co-terephthalate (PBAT) film improved its resistance to water and oil. Among the samples tested, the paper laminate (PBAT 4-layer/paper/PBAT 4-layer) exhibited improved resistance to water and oil. It had a basis weight of 119.70 ± 7.94 g/m² and a density of 1.40 ± 0.20 g/cm³. When formed into containers for bakery products, such as sausage and mayonnaise-filled bread, butter cake, almond mixed butter cookies, and milk-flavored croissants, demonstrated resistance to fats and oils after 180 minutes.

Keywords: bakery products; cocoa pod husk; paper; packaging; polybutylene adipate-co-terephthalate

^{1/} กองวิจัยพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร 50 ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{1/} Postharvest and Processing Research and Development Division, 50 Phahonyothin Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

* Corresponding author: sakagro176@gmail.com

บทคัดย่อ

กระดาษเปลือกโกโก้มีข้อจำกัดเรื่องความทนทานด้านเชิงกล จึงศึกษาการใช้เปลือกโกโก้ที่เป็นวัสดุเหลือใช้เพื่อผลิตภาชนะกระดาษซึ่งลามิเนตด้วยพลาสติกชีวภาพพอลิবিทิลีนอะดิเพท-โค-เทเรฟทาเลท (PBAT) สำหรับผลิตภัณฑ์เบเกอร์ โดยต้มเยื่อเปลือกโกโก้ด้วยวิธีการทางเคมีซึ่งใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์-แอนทราควิโนน (SAQ) แล้วทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมี พบว่า การต้มเยื่อเปลือกโกโก้สูตร SAQ5 (โซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 (%โดยน้ำหนัก/ปริมาตร) แอนทราควิโนน 0.1 (%โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 140°C ใช้เวลา 60 นาที) ได้ปริมาณเยื่อสูงสุด $77.87 \pm 2.57\%$ คัปปานัมเบอร์ 26.0 ± 0.1 ลิกนิน $3.38 \pm 0.01\%$ และสภาพการระบายน้ำ 802.67 ± 63.79 ซีเอสเอฟ การขึ้นรูปกระดาษโดยใช้สูตรชดัดแปรเป็นตัวประสานพบว่า เยื่อเปลือกโกโก้ 10 ก. สูตรชดัดแปร 0.25 ก. มีความต้านทานการไหลของอากาศ 12.6 ± 3.3 ปาสคาล.วินาที/ม. และน้ำหนักมาตรฐาน 67.33 ± 12.92 ก./ตร.ม. เมื่อใช้พลาสติก PBAT ลามิเนตเพื่อต้านทานน้ำและไขมัน พบว่า PBAT 4 ชั้น/กระดาษ/ PBAT 4 ชั้น ให้สมบัติดีที่สุด มีน้ำหนักมาตรฐาน 119.70 ± 7.94 ก./ตร.ม. มีความหนาแน่น 1.40 ± 0.20 ก./ลบ.ซม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดควบคุม เมื่อขึ้นรูปแล้วนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์เบเกอร์ชนิดขนมปังไส้กรอกมายองเนส บัตเตอร์เค้ก คุกกี้เนยผสมอัลมอนต์ และครัวซองต์รสนม แสดงแนวโน้มการเพิ่มคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ/น้ำมันจากค่ามุมสัมผัสและผลการทดสอบต้านทานไขมันและน้ำมันเชิงคุณภาพได้ทุกผลิตภัณฑ์เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์เบเกอร์; เปลือกโกโก้; กระดาษ; บรรจุภัณฑ์; พอลิবিทิลีนอะดิเพท-โค-เทเรฟทาเลท

บทนำ

โกโก้เป็นพืชเศรษฐกิจที่นำเมล็ดของโกโก้มาผ่านกระบวนการผลิตได้เป็นช็อกโกแลต โดยมีของเหลือใช้จากการผลิตช็อกโกแลตที่สำคัญคือเปลือกโกโก้ ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 76% ของผลโกโก้ เมล็ดโกโก้แห้ง 1 ตัน มีเปลือกโกโก้เหลือทิ้ง 10 ตัน ซึ่งเดิมเปลือกโกโก้ไม่นำมาใช้ประโยชน์ เกิดปัญหาด้านกลิ่นและแมลงรบกวน การนำมาใช้ประโยชน์จึงเป็นการจัดการที่มีประสิทธิภาพ (Murray et al., 2021) เปลือกโกโก้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง เช่น การนำมาผลิตเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ การสกัดสารสำคัญเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร การผลิตปุ๋ย เป็นต้น (Oddoye et al., 2012) นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มมูลค่าของเปลือกโกโก้ด้วยวิธีการทางชีวภาพ ฟิสิกส์ เคมี และเคมีฟิสิกส์ (Murray et al., 2021; Vandenbergh et al., 2022) การนำมาผลิตเป็นกระดาษ พบว่า มีปริมาณเซลลูโลสสูง 34% ปริมาณลิกนินน้อยกว่า 30% และปริมาณเถ้าที่ต่ำ (Lu et al., 2018) แต่การผลิตกระดาษโดยใช้เปลือกโกโก้ยังต้องมีการพัฒนาเพื่อให้มีคุณภาพเหมาะสมกับการใช้งาน

กระดาษโดยทั่วไปมีข้อด้อย คือ เป็นวัสดุที่ทนต่อความชื้นต่ำหรือมีความชอบน้ำ (hydrophilic materials) สามารถดูดน้ำและความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้ดี ส่งผลต่อการสูญเสียความแข็งแรงเชิงกล เพื่อทำให้กระดาษไม่สัมผัสกับของเหลวโดยตรง จึงต้องเคลือบกระดาษด้วยพอลิเมอร์ประเภทพลาสติก เช่น ใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเคลือบกระดาษ (ธัญญรัตน์, 2557) พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติมีหลายชนิด เช่น พอลิแลคติกแอซิด (polylactic acid, PLA) พอลิবিทิลีนอะดิเพท-โค-เทเรฟทาเลท (polybutylene adipate-co-terephthalate, PBAT) และพอลิবিทิลีนซัคซิเนต (polybutylene succinate,

PBS) เป็นต้น สำหรับพลาสติกชีวภาพ PBAT จัดเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ประเภทเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ที่มีความยืดหยุ่นสูงสามารถขึ้นรูปประเภทฟิล์มได้ดี (Li et al., 2015) การผสมกระดาษและพลาสติกเข้าด้วยกันจะช่วยเสริมสมบัติให้ดียิ่งขึ้น โดยเรียกกระบวนการผสมนี้ว่า การลามิเนต (lamination) เป็นการยึดติดกันของชั้นบาง ๆ ของชั้นฟิล์มพลาสติกกับวัสดุอื่น เช่น กระดาษ จำนวนของชั้นลามิเนตควรมีน้อยกว่า 2 ชั้น และหนึ่งในชั้นเหล่านั้นต้องเป็นเทอร์โมพลาสติก (รุ่งนภา, 2562)

สำหรับแนวทางในการพัฒนาการผลิตกระดาษจากเปลือกโกโก้ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์นั้น กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจากเปลือกโกโก้ทางเคมี และกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษจากเปลือกโกโก้ทั้งการขึ้นรูปกระดาษ และการลามิเนตพลาสติกชีวภาพ โดยใช้วิธีการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งยังไม่มีการผลิตออกมาใช้งานเพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษสำหรับผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาภาชนะกระดาษจากเยื่อเปลือกโกโก้ที่ลามิเนตด้วยพลาสติกชีวภาพ PBAT เพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์แบบคงรูปชนิดใช้แล้วทิ้ง เพื่อใช้กับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ โดยบรรจุภัณฑ์มีความสามารถในการต้านทานไขมันได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบทางเคมี

เตรียมเปลือกโกโก้พันธุ์ลูกผสมชุมพร 1 ทำความสะอาดเปลือกโกโก้ด้วยน้ำสะอาด ลดขนาดเปลือกโกโก้ด้วยเครื่องหั่นสไลด์วัสดุให้มีขนาดความยาว 1-2 นิ้ว หนา 0.4 ซม. จากนั้นอบเปลือกโกโก้ให้แห้งที่อุณหภูมิ 80°C. เป็นเวลา 24 ชม. หรือจนกว่าเปลือกโกโก้แห้ง แล้วเก็บรักษาในถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีน

วิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบของเปลือกโกโก้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชัน (field emission scanning electron microscope: FESEM) (Model: JEOL JSM7800F, Japan) และเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองแสงของรังสีเอกซ์ (energy dispersive X-ray spectrometer: EDS) (model: Oxford X-Max 20, United Kingdom) วิเคราะห์ทางเคมีของเปลือกโกโก้ ได้แก่ การละลายในน้ำร้อน การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% เพนโตซาน ลิกนิน ไฮโดรเซลลูโลส อัลฟาเซลลูโลส เบตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลส ตามมาตรฐานการทดสอบอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษ (TAPPI)

2. การผลิตเยื่อจากเปลือกโกโก้

ต้มเปลือกโกโก้ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์-แอนทราควิโนน (SAQ) โดยใช้เปลือกโกโก้หั่นสไลด์ปริมาณ 10 ก. วางแผนการทดลองแบบ 3x2x2 factorial in RCBD 3 ซ้ำ มี 3 ปัจจัยคือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ และเวลา ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)-แอนทราควิโนน 0.1% (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 140°C. เป็นเวลา 60 นาที (SAQ1)

กรรมวิธีที่ 2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)-แอนทราควิโนน 0.1% (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 160°C. เป็นเวลา 60 นาที (SAQ2)

กรรมวิธีที่ 3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)-แอนทราควิโนน 0.1% (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 140°C. เป็นเวลา 60 นาที (SAQ3)

กรรมวิธีที่ 4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)-แอนทราควิโนน 0.1% (โดย

- น้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 160°ซ. เป็นเวลา 60 นาที (SAQ4)
- กรรมวิธีที่ 5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 20% (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)-แอนทราควิโนน 0.1% (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 140°ซ. เป็นเวลา 60 นาที (SAQ5)
- กรรมวิธีที่ 6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 20% (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)-แอนทราควิโนน 0.1% (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 160°ซ. เป็นเวลา 60 นาที (SAQ6)
- กรรมวิธีที่ 7 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)-แอนทราควิโนน 0.1% (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 140°ซ. เป็นเวลา 120 นาที (SAQ7)
- กรรมวิธีที่ 8 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)-แอนทราควิโนน 0.1% (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 160°ซ. เป็นเวลา 120 นาที (SAQ8)
- กรรมวิธีที่ 9 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)-แอนทราควิโนน 0.1% (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 140°ซ. เป็นเวลา 120 นาที (SAQ9)
- กรรมวิธีที่ 10 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)-แอนทราควิโนน 0.1% (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 160°ซ. เป็นเวลา 120 นาที (SAQ10)
- กรรมวิธีที่ 11 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 20% (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)-แอนทราควิโนน 0.1% (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 140°ซ. เป็นเวลา 120 นาที (SAQ11)
- กรรมวิธีที่ 12 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 20% (โดยน้ำหนัก/ปริมาตร)-แอนทราควิโนน 0.1% (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 160°ซ. เป็นเวลา 120 นาที (SAQ12)

ศึกษาสมบัติของเยื่อที่ผลิตได้ ได้แก่ 1) ความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำต้มเยื่อ (pulping liquor) 2) ความชื้น (TAPPI T 258 om-21) 3) ผลผลิตเยื่อ 4) ส่วนที่ไม่เป็นเยื่อ (reject) 5) คัปปานัมเบอร์ (ISO 302: 2004) 6) ระดับลิกนิน 7) สภาพการระบายน้ำ (freeness) (TAPPI T 227 om-99) และ 8) วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเยื่อจากเปลือกโกโก้

3. การขึ้นรูปกระดาษ

เลือกวิธีการผลิตเยื่อจากเปลือกโกโก้ให้เหมาะสมที่สุดจาก ข้อ 2. ขึ้นรูปเยื่อกระดาษให้มีน้ำหนักมาตรฐาน 60 แกรม ตามมาตรฐานการทดสอบอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษ (TAPPI T205 sp-02 แปรปริมาณเยื่อจากเปลือกโกโก้ 4 5 6 7 8 9 และ 10 ก. โดยใช้เยื่อแช่น้ำปริมาตร 250 มล. เป็นเวลา 24 ชม. หลังจากนั้นเติมน้ำอีก 750 มล. เติมสตาชต์ดัดแปร (ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปของ บริษัท สยามโมดิฟายด์สตาชต์ Lot No.11802814 ผลิตจากมันสำปะหลัง) โดยใช้ปริมาณสตาชต์ดัดแปร 0.0 0.25 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ก. ปั่นเยื่อให้กระจายตัวด้วยเครื่องปั่น 3 ครั้ง ๆ ละ 30 วินาที ขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปแผ่นกระดาษ ตั้งเวลาในการเติมน้ำ 40 วินาที กวน 8 วินาที และเซตตัว 5 วินาที จากนั้นนำไปอัดแผ่นด้วยแรงดัน 0.125 เมกะปาสคาล เป็นเวลา 1 นาที อัดแผ่นกระดาษให้เรียบด้วยเครื่องอัดแผ่นกระดาษที่แรงดัน 0.35 เมกะปาสคาล 2 ครั้ง เป็นเวลา 5 และ 2 นาที ตามลำดับ แล้วผึ่งให้แห้ง

คัดเลือกสูตรที่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ 3 สูตร ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นกระดาษ (จำนวน 3 ซ้ำ) ได้แก่ 1) ความชื้น (TAPPI T550 om-03) 2) ความหนาแน่น 3) ความต้านทานการไหลของอากาศ (TAPPI T460 om-02) 4) น้ำหนักมาตรฐาน (TAPPI T410 om-08) 5) ความขาวสว่าง (ISO 2470-1: 2016) 6) ความทึบแสง (ISO 2471: 2008) จากนั้นเลือกกระดาษ

ที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดเพื่อใช้เป็นวัสดุเชิงประกอบ/วัสดุร่วม (composite) ด้วยพลาสติกชีวภาพ

4. การลามิเนตพลาสติกชีวภาพ

เม็ดพลาสติกชีวภาพ PBAT นำมาทดสอบสมบัติก่อนการขึ้นรูปพลาสติก (จำนวน 3 ซ้ำ) ได้แก่ 1) ความหนาแน่น 2) จุดหลอมเหลว และ 3) อัตราการหลอมไหลของพลาสติก (melt flow rate) จากนั้นขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีดแบบเป่าถุง (blown film extrusion) (TPBI Public Co., Ltd, Thailand) ช่วงอุณหภูมิของ หัวตาย (die) 3 โซน คือ 116 115 และ 115°C. ตามลำดับ และช่วงอุณหภูมิของสกรูฟีด (screw feed) 3 โซน คือ 120 120 และ 120°C. ตามลำดับ ความเร็วของเกลียวหนอน (screw) 40 รอบ/นาที ทดสอบสมบัติของพลาสติกชีวภาพ PBAT ได้แก่ 1) สมบัติเชิงกล และ 2) สมบัติทางกายภาพ ก่อนนำไปลามิเนต

คัดเลือกกรรมวิธีที่ดีที่สุดในการขึ้นรูปกระดาศ จากข้อ 3 ลามิเนตด้วยพลาสติกชีวภาพ PBAT ทั้งสองด้านของกระดาศ ด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัดร้อน (hot compression moulding) (TPBI Public Co., Ltd, Thailand) ที่อุณหภูมิ 150°C. แรงดัน 4.14 เมกะปาสคาล เป็นเวลา 8 นาที วางแผนการทดลองแบบ CRD 3 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 กระดาศเปลือกโกโก้ไม่ลามิเนตพลาสติกชีวภาพ (C0: ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 กระดาศเปลือกโกโก้ลามิเนตพลาสติกชีวภาพ 4 ชั้น (C1: PBAT 2 ชั้น/กระดาศ/PBAT 2 ชั้น)

กรรมวิธีที่ 3 กระดาศเปลือกโกโก้ลามิเนตพลาสติกชีวภาพ 6 ชั้น (C2: PBAT 3 ชั้น/กระดาศ/PBAT 3 ชั้น)

กรรมวิธีที่ 4 กระดาศเปลือกโกโก้ลามิเนตพลาสติกชีวภาพ 8 ชั้น (C3: PBAT 4 ชั้น/กระดาศ/PBAT 4 ชั้น)

กรรมวิธีที่ 5 กระดาศเปลือกโกโก้ลามิเนตพลาสติกชีวภาพ 10 ชั้น (C4: PBAT 5 ชั้น/กระดาศ/PBAT 5 ชั้น)

ทดสอบสมบัติของกระดาศลามิเนตด้วยพลาสติกชีวภาพ PBAT ได้แก่ 1) น้ำหนักมาตรฐาน (TAPPI T410 om-08) 2) ความหนาแน่น 3) ความขาวสว่าง (ISO 2470-1: 2016) 4) ความทึบแสง (ISO 2471: 2008) และ 5) ความต้านแรงที่มทะเล (ISO 3036: 2013) จากนั้นคัดเลือกกรรมวิธีที่ดีที่สุดขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์

ทดสอบการใช้งานกับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ โดยขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุในรูปแบบจานกระดาศด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัดร้อนจากกรรมวิธีที่ดีที่สุดไปทดสอบกับประเภทผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ 4 ประเภท ได้แก่ ขนมปัง เค้ก บิสกิต/คุกกี้ และพาย ซึ่ง Guiné (2022) รายงานการศึกษาจากงานวิจัยจาก 37 วารสารทั่วโลกว่า มีสถิติการวิจัยสูงสุด 4 อันดับแรก โดยคัดเลือกผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่วางจำหน่ายในร้านสะดวกซื้อ ดังนี้ ขนมปังไส้กรอกมายองเนส บัตเตอร์เค้ก คุกกี้ เนยผสม อัลมอนต์ และครัวซองต์รสนม ทำ 3 ซ้ำ โดยวางผลิตภัณฑ์เบเกอรี่บนภาชนะ บริเวณทดสอบห้องต้องเป็นสัดส่วนแยกจากสิ่งรบกวนต่างๆ ผนังเป็นพื้นสีขาว เพื่อไม่ให้สีของตัวอย่างทดสอบเปลี่ยนไป แสงสว่างมีความสม่ำเสมอเพียงพอ สังเกตการซึมผ่านของไขมันและน้ำมันของภาชนะบรรจุกระดาศ (จากการมองเห็นด้วยตาเปล่า แบ่งระดับการซึมผ่านของไขมันและน้ำมันผ่านภาชนะ 3 ระดับ คือ 0=ไม่พบ 1=พบคราบทะลุบางส่วน 2=พบคราบทะลุเท่ากับพื้นผิวที่เบเกอรี่สัมผัสกับภาชนะ) ทุกๆ 30 นาที จนครบเวลา 180 นาที จากนั้นวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตบรรจุภัณฑ์

วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Tukey's test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบทางเคมี

โครงสร้างของเปลือกโกโก้แห้งที่กำลังขยาย 100 500 และ 1,000 เท่า พบว่า พื้นผิวของเปลือกโกโก้มีรอยแตกไม่สม่ำเสมอ ไม่ปรากฏรูพรุน (porous) เส้นใยยึดติดกันแน่นเหมาะสำหรับเป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตเยื่อ (Figure 1a-1c) ธาตุที่พบประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) 47.31% และออกซิเจน (O) 46.20% เป็นองค์ประกอบหลักของเซลลูโลส ช่วยทำให้โครงสร้างเส้นใยแข็งแรงและมีหมู่ไฮดรอกซิลที่มี

องค์ประกอบของออกซิเจนเส้นใยดูดซับน้ำได้เกิดพันธะไฮโดรเจนยึดเกาะระหว่างเส้นใย สามารถขึ้นรูปเป็นกระดาษได้ (Daud et al., 2014) (Figure 1d) ใกล้เคียงกับ Córdova et al. (2020) ที่รายงานพบธาตุ C 50.60% และ O 46.60% ส่วนผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกโกโก้แห้งสำหรับการผลิตเยื่อกระดาษซึ่งองค์ประกอบทางเคมีบ่งชี้สมบัติเบื้องต้นของเปลือกโกโก้ ทำให้ทราบถึงการละลายในสารละลายชนิดต่างๆ เช่น การละลายในน้ำร้อน และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% รวมถึงปริมาณลิกนินเพื่อเป็นแนวทางในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อ และปริมาณเซลลูโลสที่ได้จากการสกัดเยื่อ (รมณีย์และคณะ, 2554) (Table 1)

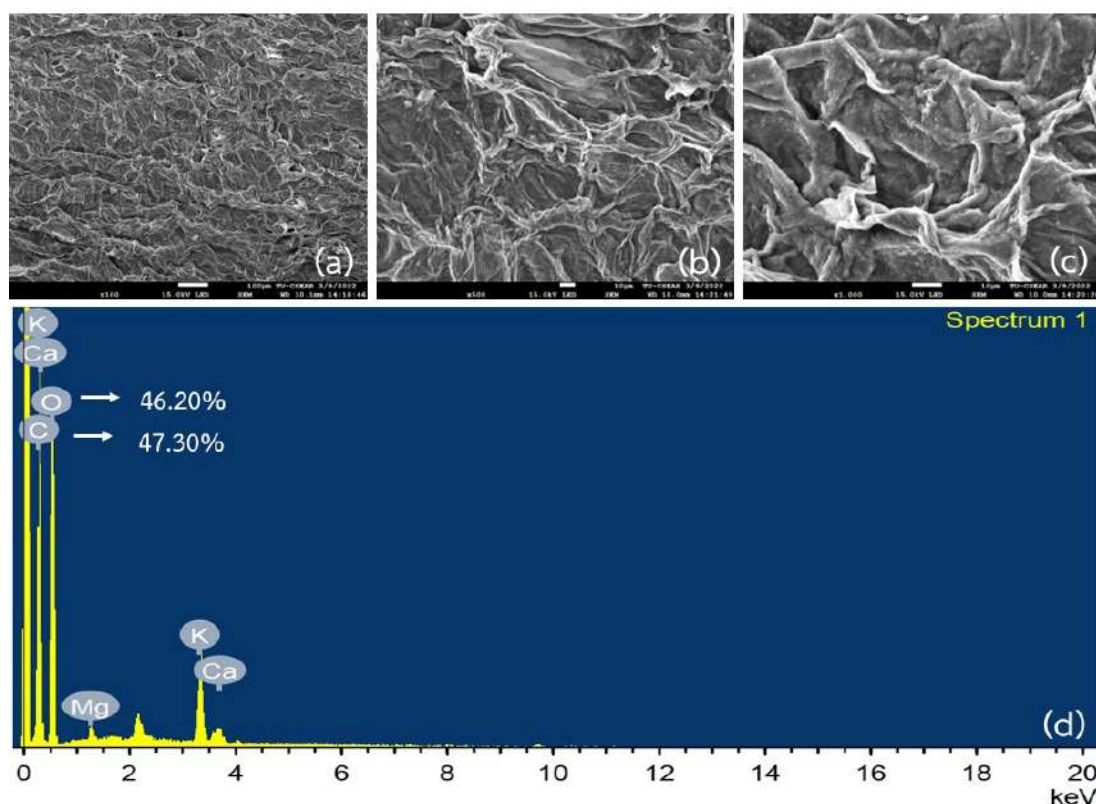


Figure 1 FESEM image (a) x100 (b) x500 (c) x1000 and EDS image (d) of cocoa pod husk for producing paper pulp

Table 1 Solubility and chemical composition of cocoa pod husk for producing paper pulp

Solubility and structural component	Amount (% w/w, dry weight)	Standard test methods
Hot water solubles	44.8	TAPPI T 207 cm-08
1%NaOH solubles	68.1	TAPPI T 212 om-08
Pentosan	2.4	TAPPI T 223 cm-10
Lignin	20.1	TAPPI T 222 om-15
Holocellulose	58.8	Isolation of chlorite holocellulose in TAPPI SECTION
Alpha-cellulose	35.8	TAPPI T 203 cm-09
Beta-cellulose	10.2	TAPPI T 203 cm-09
Gamma-cellulose	12.8	TAPPI T 203 cm-09

TAPPI T = Technical Association of the Pulp and Paper Industry test methods

2. การผลิตเยื่อจากเปลือกโกโก้

การต้มเยื่อเปลือกโกโก้ในสูตร SAQ1 ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (Table 2) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่ 140°C เวลา 60 นาที และปริมาณสารโซเดียมไฮดรอกไซด์-แอนทราควิโนนที่ใช้ ส่งผลให้กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารโซเดียมไฮดรอกไซด์-แอนทราควิโนนที่ใช้ในการต้มกับเปลือกโกโก้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแอนทราควิโนนในกระบวนการผลิตเยื่อช่วยลดระยะเวลา และเพิ่มปริมาณผลผลิตเยื่อที่ได้ (Mannai et al., 2017) ส่วนสารแอนทราควิโนนมีสมบัติในการเพิ่มอัตราการดูดซับของสารละลายเข้าไปในเยื่อพืช และช่วยลดปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับผลิตเยื่อ (รมณีย์และคณะ, 2554)

ความชื้นของเยื่อ (moisture content) จากเยื่อเปลือกโกโก้ 2 สูตรแรก (SAQ1 และ SAQ2) อยู่ระหว่าง 9.89 ± 3.48 และ $9.60 \pm 2.97\%$ ต่ำกว่าสูตรอื่นๆ เนื่องจากการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และระยะเวลาสั้นกว่า ส่วนสูตรที่เหลือ (SAQ3-SAQ12) ค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 10.52 ± 2.66 - $14.36 \pm 2.90\%$ โดยปกติแล้วเยื่อที่สกัดได้ต้องมีความชื้นอยู่ระหว่าง 10-15% ซึ่งเป็นค่าความชื้นที่เหมาะสมแก่การนำเยื่อ

ที่ได้ไปผลิตเป็นกระดาษเพื่อให้คุณภาพที่ดีของกระดาษ แต่ถ้าเยื่อมีความชื้นมากกว่า 15% กระดาษที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากเส้นใยสานตัวกันแบบหลวมๆ กระดาษเกิดการสลายตัวได้ง่ายขึ้น (Akpabio et al., 2012) สำหรับอุณหภูมิและปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการต้มเยื่อเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อผลผลิตเยื่อที่ได้ โดยสูตร SAQ5 ให้ปริมาณผลผลิตเยื่อสูงสุด คือ $77.87 \pm 2.57\%$ รองลงมาคือ SAQ3 และ SAQ7 มีค่า 77.73 ± 11.39 และ $77.46 \pm 9.46\%$ ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2) สำหรับเยื่อที่ไม่สามารถนำมาผลิตได้ (%Rejects) มีปริมาณที่น้อยมาก ค่าน้อยกว่า 1% ทุกสูตร ไม่ส่งผลต่อการผลิตเยื่อของสูตร SAQ5

สำหรับค่าคัปปานัมเบอร์และระดับลิกนินของเยื่อสูตร SAQ5 มีค่าต่ำสุด คือ 26.0 ± 0.1 และ $3.38 \pm 0.01\%$ ตามลำดับ ส่วนสภาพการระบายน้ำ (freeness) บ่งบอกการระบายน้ำของเยื่อ (drainage) พบว่า เยื่อสูตร SAQ5 มีค่าสภาพการระบายน้ำสูงสุดที่ 802.67 ± 63.79 ซีเอสเอฟ สามารถระบายน้ำจากตะแกรงได้ดีและใช้เวลาน้อยสำหรับขั้นตอนการเตรียมขึ้นรูปเยื่อเป็นแผ่นกระดาษ เมื่อพิจารณาความ

คุ่มค่าในการผลิตเยื่อพบว่า เยื่อสูตร SAQ5 ให้ผลผลิตเยื่อสูงสุด รวมถึงสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความชื้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระดาษ ค่าคัปปานิซึมเบอร์ และระดับของลิกนินในระดับต่ำ และสภาพการระบายน้ำสูง ดังนั้น จึงเลือกวิธีการสกัดเยื่อสูตร

SAQ5 (โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 (%โดยน้ำหนัก/ปริมาตร) แอนทราควิโนน 0.1 (%โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 140°C. เป็นเวลา 60 นาที) (Table 2)

Table 2 Physical and chemical properties of pulps produced from cocoa husk

Production process	pH of pulping liquor	Moisture content (%)	Pulp yield (%)	Reject (%)	Kappa number	Lignin level (%)	Freeness (CSF)
SAQ1	11.64±0.05 a	9.89±3.48 a	74.34±5.80 a	0.20±0.15 a	26.0±0.5 h	3.38±0.07 h	752.33±55.54 ab
SAQ2	11.37±0.03 cd	9.60±2.97 a	70.96±7.14 a	0.05±0.06 a	26.2±0.2 h	3.41±0.02 h	622.00±16.64 c
SAQ3	11.46±0.01 b	10.52±2.66 a	77.73±11.39 a	0.25±0.03 a	31.8±0.2 ef	4.13±0.03 ef	712.67±60.30 abc
SAQ4	11.45±0.03 b	10.34±2.35 a	72.08±11.18 a	0.24±0.04 a	33.6±0.4 d	4.37±0.05 d	711.67±48.95 abc
SAQ5	11.46±0.02 b	14.46±3.52 a	77.87±2.57 a	0.16±0.02 a	26.0±0.1 h	3.38±0.01 h	802.67±63.79 a
SAQ6	11.42±0.01 bc	13.81±3.21 a	74.08±2.00 a	0.21±0.23 a	30.9±0.1 g	4.02±0.01 g	695.00±34.39 abc
SAQ7	11.41±0.03 bc	14.44±3.83 a	77.46±9.46 a	0.34±0.20 a	35.4±0.4 c	4.60±0.05 c	761.33±45.61 ab
SAQ8	11.38±0.01 cd	14.02±2.54 a	62.04±2.51 a	0.26±0.24 a	32.1±0.4 e	4.17±0.05 e	718.33±40.81 abc
SAQ9	11.34±0.00 d	14.50±2.56 a	69.11±1.63 a	0.28±0.15 a	38.9±0.3 a	5.06±0.05 a	711.00±70.77 abc
SAQ10	11.35±0.00 cd	14.03±2.51 a	66.56±5.22 a	0.09±0.01 a	37.8±0.2 b	4.91±0.02 b	654.00±19.05 bc
SAQ11	11.16±0.01 e	14.46±3.41 a	71.84±3.65 a	0.30±0.00 a	31.3±0.3 fg	4.07±0.03 fg	685.33±34.39 abc
SAQ12	11.18±0.06 e	14.36±2.90 a	65.69±3.29 a	0.13±0.01 a	36.0±0.5 c	4.68±0.06 c	663.33±36.86 bc
F-test	**	ns	ns	ns	**	**	**
CV (%)	0.186	23.815	7.547	45.617	0.904	0.904	6.117

Means within the column followed by the same letter are not significantly different at 5% level ($p>0.05$);

**=significant at 1% level ($p<0.01$); ns=not significant ($p>0.05$)

3. การขึ้นรูปกระดาษจากเปลือกโกโก้

เลือกวิธีการสกัดเยื่อสูตร SAQ5 ขึ้นรูปแผ่นกระดาษสูตรที่แตกต่างกัน ด้วยการเติมและไม่เติมสตาร์ชตัดแปร พบว่า สามารถขึ้นรูปกระดาษจากเยื่อเปลือกโกโก้ที่เติมสตาร์ชตัดแปรเพื่อเป็นตัวประสานให้เส้นใย ยึดติดกันได้ดีสมบูรณ์ 3 สูตร ได้แก่ 1) เยื่อเปลือกโกโก้ 5 ก. สตาร์ชตัดแปร 1.5 ก. 2) เยื่อเปลือกโกโก้ 7 ก. สตาร์ชตัดแปร 0.5 ก. และ 3) เยื่อเปลือกโกโก้ 10 ก. สตาร์ชตัดแปร 0.25 ก. (Table 3) ถ้าเพิ่มปริมาณส่วนผสมในปริมาณที่สูงขึ้น

ไม่สามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษได้ ตะแกรงในการขึ้นรูปตัน สมบัติของกระดาษที่ผลิตได้พบว่า ค่าความชื้นอยู่ในช่วง 9.32 ± 0.06 - $9.76\pm0.10\%$ ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.60 ± 0.01 - 0.66 ± 0.00 ก./ลบ.ซม น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษอยู่ในช่วง 41.55 ± 10.19 - 67.33 ± 12.92 ก./ตร.ม จึงเลือกการขึ้นรูปกระดาษเยื่อเปลือกโกโก้ 10 ก. สตาร์ชตัดแปร 0.25 ก. ซึ่งมีน้ำหนักมาตรฐานสูงสุด และความต้านทานการไหลของอากาศต่ำ 12.6 ± 3.3 ปาสคาล.วินาที/ม. ไปผลิตเป็นกระดาษลามิเนต

Table 3 Physical properties of paper sheets produced from pulp of cocoa pod husk

Paper sheet process	Moisture content (%)	Density (g/cm ³)	Air permeability (Pa.s/m)	Basis weight (g/m ²)
Pulp 5 g+starch 1.5 g	9.32±0.06 a	0.60±0.15 a	59.2±14.6 a	41.55±10.19 b
Pulp 7 g+starch 0.5 g	9.31±0.30 a	0.66±0.05 a	12.0±2.7 b	42.32±6.53 b
Pulp10 g+starch 0.25 g	9.76±0.10 a	0.65±0.01 a	12.6±3.3 b	67.33±12.92 a
F-test	ns	ns	**	**
CV (%)	1.668	12.471	24.707	19.725

Means within the column followed by the same letter are not significantly different at 5% level (p>0.05);

**=significant at 1% level (p<0.01), ns=not significant (p>0.05)

Table 4 Physical, mechanical and thermal properties of PBAT for laminating with cocoa pod husk paper

Properties	Value	Standard/method
PBAT pellets		
Density (g/cm ³)	1.24	ISO 1183
Melting point (°C)	145	DSC
Melt flow rate (g/10min) 190°C 2.16 kg	4	ISO 1133
PBAT film		
Thickness (mm)	0.05	ISO 4593:1993
Tensile strength (MPa) - MD	102	ASTM D882-02
Tensile strength (MPa) - CD	55	ASTM D882-02
Elongation at break (%) - MD	114	ASTM D882-02
Elongation at break (%) - CD	72	ASTM D882-02
Oxygen transmission rate (cm ³ /m ² .day)	1,291	ASTM D 3985-17
Water vapor transmission rate (g/m ² /day)	142	ASTM E 398-20
Puncture (J)	0.0148	ASTM F 1306-21
Water contact angle (°)	73.6	ASTM D 5946-04
Diiodomethane contact angle (°)	71.0	ASTM D 5946-04
Surface energy (mN/m)	29.26	ASTM D 5946-04
Polar component (mN/m)	11.02	ASTM D 5946-04
Dispersion component (mN/m)	18.24	ASTM D 5946-04
Surface roughness (µm)	0.30	ISO 25178
Transparency (%) at 560 nm	21.88	ASTM D 1746-03

4. การลามิเนตพลาสติกชีวภาพบนกระดาษเปลือกโกโก้

เม็ดพลาสติก PBAT ที่ใช้มีความหนาแน่นสูง จุดหลอมเหลวของพลาสติกที่ไม่สูงมาก และอัตราการหลอมไหลของพลาสติกที่ต่ำเหมาะสำหรับการผลิตพลาสติกแบบแผ่นบางได้ดีโดยพลาสติกที่ได้มีความสม่ำเสมอตลอดการขึ้นรูป (Table 4) สามารถเป่าขึ้นรูปพลาสติกในรูปแบบของท่อได้อย่างต่อเนื่อง (Figure 2) สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของพลาสติกที่ได้จากการขึ้นรูปนั้นเพื่อประยุกต์ใช้งานสำหรับการลามิเนตกระดาษได้อย่างเหมาะสม (Table 4) พลังงานพื้นผิว 29.26 มิลลิวัตต์/ม. ส่งผลต่อ

การเกิดพันธะมีขั้ว (polar component) ที่ต่ำ เนื่องจากพลังงานพื้นผิวประกอบด้วย polar component เช่น พันธะไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งถ้าค่า polar component มีค่าต่ำแสดงให้เห็นว่ามีความชอบน้ำต่ำ ลักษณะจุลสัณฐานวิทยาของมัมส์ผสมใช้สารที่อยู่ในสถานะของเหลว 2 ชนิด ได้แก่ น้ำ (25°C) 73.6° ทนต่อการสัมผัสของน้ำ และไดโอไอโอดมีเทนเพื่อทดสอบการทนต่อของเหลวที่ไม่มีขั้ว 71.0° ทนไขมันและน้ำมันได้ดี (โสธรญา, 2560) และความขรุขระของพลาสติก PBAT มีลักษณะปรากฏไม่สม่ำเสมอมีค่า 0.30 ไมโครเมตร ส่งผลต่อการยึดติดกับวัสดุชนิดอื่นได้เป็นอย่างดี (Figure 3)



Figure 2 PBAT pellets for biodegradable plastic (a), blown film production form PBAT (b-c) and PBAT film (d) with its low melt flow rate, it is ideal for producing plastic with uniformity throughout the forming process

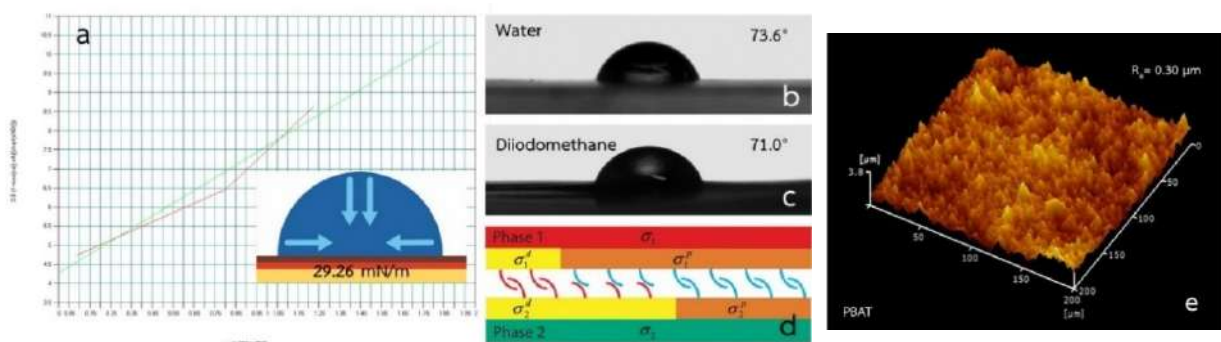


Figure 3 Surface energy (a), contact angle (b, c) micromorphology, polar and dispersion component (d) and roughness (e) of PBAT film for laminating with cocoa pod husk paper

สูตรเยื่อเปลือกโกโก้ 10 ก. สตาร์ชตัดแปรร 0.25 ก. ที่ให้สมบัติดีที่สุดจากข้อ 3. โดยมีน้ำหนักมาตรฐานสูงสุดในสูตรที่ทำการผลิตกระดาษรวมถึงความต้านทานการไหลของอากาศต่ำ ลามิเนตด้วยพลาสติกชีวภาพ PBAT เปรียบเทียบกับชุดควบคุมด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัดร้อนเป็นกระบวนการที่ใช้แรงกดและความร้อนกดอัดให้พลาสติกและกระดาษเชื่อมติดกันได้ กระดาษที่ได้จะมีความเรียบเนียนและแข็งแรงขึ้น พบว่า สามารถลามิเนตกระดาษด้วยพลาสติกชีวภาพ PBAT ทั้งสองด้านของกระดาษได้ทุกกรรมวิธี (สูตร C1-C4) โดยความหนาแน่นของ

พลาสติกชีวภาพ PBAT มีค่า 1.24 ก./ตร.ซม สอดคล้องกับ Nabels et al. (2022) กล่าวว่า การลามิเนตกระดาษด้วยพลาสติกชีวภาพ ความหนาแน่นของพอลิเมอร์อยู่ระหว่าง 1.23-1.26 ก./ลบ.ซม. พอลิเมอร์มีความสามารถในการจัดเรียงตัวเกิดเป็นชั้นลามิเนตยึดติดกับกระดาษได้ดี และสูตร C4 มีค่าน้ำหนักมาตรฐานและความหนาแน่นสูงสุดที่ 121.56 ± 8.79 ก./ตร.ม และ 1.51 ± 0.20 ก./ลบ.ซม. ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Figure 4)

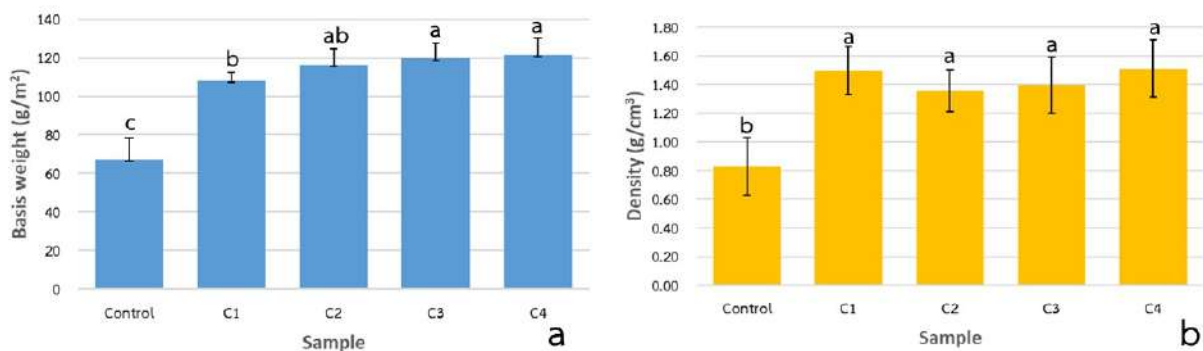


Figure 4 Basis weight (a) and density (b) of PBAT film laminated paper

ค่าความขาวสว่างและความทึบแสงของกระดาษลามิเนตด้วยพลาสติกชีวภาพ PBAT ลดลง โดยกระดาษลามิเนตสูตร C1 มีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (Table 5) แต่เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของพอลิเมอร์ความขาวสว่างมีแนวโน้มลดลงจากการซ้อนทับกันของพอลิเมอร์แต่ละชั้น รวมถึงตัวพอลิเมอร์ทำให้การทะลุผ่านของแสงเพิ่มขึ้นได้ ส่งผลให้ค่าความทึบแสงลดลง ส่วนการทดสอบแรงทึงทะลุพบว่า กระดาษที่มีจำนวนชั้นลามิเนตเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านแรงทึงทะลุสูงขึ้นไปด้วย โดยกระดาษลามิเนตสูตร C3 มีค่าสูงสุด รองลงมา คือ กระดาษลามิเนตสูตร C2 ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากจำนวนชั้นของพลาสติกที่

น้อยจะปรากฏรูที่มีขนาดเล็กของพลาสติกมากกว่า ทำให้ความต้านแรงทึงทะลุต่ำ แต่เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นพลาสติกส่งผลให้ความต้านแรงทึงทะลุสูงขึ้น (Riley, 2012) แต่เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของพลาสติกจนถึงระดับหนึ่งค่าความต้านแรงทึงทะลุต่ำลง อาจเนื่องมาจากการสะสมความร้อนในขณะทำการลามิเนตมากเกินไป ส่งผลต่อการทำลายพันธะที่เชื่อมต่อกันของพลาสติกแต่ละชั้นทำให้ความแข็งแรงลดลงซึ่งเห็นได้ชัดเจนจากกระดาษลามิเนตสูตร C4 ดังนั้น จึงเลือกกระดาษลามิเนตสูตร C3 สำหรับการทดสอบกับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด

Table 5 Optical and mechanical properties of PBAT film laminated paper from cocoa pod pulp 10 g and modified starch 0.25 g

Sample	Brightness (%)	Opacity (%)	Puncture (J)
Control	6.12±0.04 d	88.26±0.20 c	0.0056±0.0001 d
C1: PBAT 2 layer/paper/PBAT 2 layer	7.45±0.03 a	97.30±0.18 a	0.0152±0.0002 c
C2: PBAT 3 layer/paper/PBAT 3 layer	7.39±0.00 b	95.90±0.62 b	0.0181±0.0003 a
C3: PBAT 4 layer/paper/PBAT 4 layer	6.64±0.00 c	86.80±0.10 d	0.0182±0.0002 a
C4: PBAT 5 layer/paper/PBAT 5 layer	6.65±0.00 c	81.90±0.07 e	0.0162±0.0001 b
F-test	**	**	**
CV (%)	0.303	0.257	1.309

Means within the column followed by the same letter are not significantly different at 5% level ($p>0.05$);

**=significant at 1% level ($p<0.01$)

การต้านทานการซึมผ่านของไขมันและน้ำมันของกระดาษลามิเนตสูตร C3 ขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุในรูปแบบของจานกระดาษ พบว่า สามารถต้านทานการซึมผ่านของไขมันและน้ำมันจากผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้ทุกชนิด เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที (Table 6) โดยค่าพลังงานพื้นผิว (surface energy) มีค่าต่ำ ซึ่งกำลังการดูดซับที่ต่ำของพอลิเมอร์หรือวัสดุอื่นๆ ส่งผลให้มุมสัมผัส (contact angle) ที่ได้มีค่าสูง (Choi et al., 2019) เสมือนเกราะป้องกันไม่ให้โมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันซึมผ่านไปได้ และชั้นของพอลิเมอร์ที่ใช้ลามิเนตมีจำนวนชั้นมากพอช่วยลดการซึมผ่านของไขมันหรือน้ำมันได้ (Tayeb et al., 2020) อย่างไรก็ตาม

ก่อนนำไปใช้งานจริง ควรเพิ่มการทดสอบวัสดุสัมผัสอาหารของกระดาษและพลาสติก PBAT โดยการทดสอบกระดาษใช้แบบอาหารจำลอง ได้แก่ เอทานอล 50 และ 95% และอาหารจริง วิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) เพื่อตรวจสอบสารที่อาจย้ายออกมา (Zubiaguirre et al., 2021) พลาสติกใช้แบบอาหารจำลอง ได้แก่ เอทานอล 10 และ 95% กรดอะซิติก 3% พร้อมใช้เทคนิควิเคราะห์ด้วย GC-MS และวิเคราะห์การแยกและระบุสารในตัวอย่างโดยละเอียด (UHPLC-Q-TOF-MS) เพื่อหาสารจากพลาสติกย้ายออกไปสู่อาหาร (Wongphan et al., 2025)

Table 6 Effect of bakery products on the fat and oil barrier of paperboard containers (C3)

Product type	Bread	Cake	Biscuits/cookie	Pastries
Category	Sausage with mayonnaise filled bread*	Butter cake*	Almond mixed butter cookies*	Milk flavored croissant*
				
Fat and oil penetration levels	0	0	0	0

* Commercial products from convenience stores and specify the ingredients (listed in descending order of percentage)

0 = no penetration observed; 1 = partial penetration or staining observed; 2 = full penetration through the surface

ต้นทุนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากเปลือกโกโก้

การผลิตเยื่อจากเปลือกโกโก้ สูตร SAQ5 เปลือกโกโก้แห้ง 100 ก. ได้เยื่อ 77.87 ก. (โดยไม่รวมค่าวัตถุดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้ รวมทั้งค่าพลังงานและอุปกรณ์) ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 ก. ราคา 91.0 บาท และแอน ทราควิโนน 1 ก. ราคา 1.89 บาท รวม 92.89 บาท

การผลิตจานกระดาษลามิเนตพลาสติกชีวภาพ PBAT สูตร C3 1 ใบ ใช้เยื่อเปลือกโกโก้ 10 ก. มูลค่า 11.92 บาท (92.89 บาท $\times$ 10 ก./77.87 ก.) เม็ดพลาสติก PBAT ชนิดเกรดเป่าฟิล์ม ขึ้นรูปฟิล์มพลาสติก ราคา 160 บาท/กก. สำหรับลามิเนตกระดาษสูตร C3 ใช้น้ำหนักฟิล์ม 3 ก. คิดเป็นมูลค่า 0.48 บาท (160 บาท $\times$ 3 ก./1,000 ก.) รวมทั้งสิ้น 12.40 บาท (11.92 บาท + 0.48 บาท) ทั้งนี้ไม่รวมค่าวัตถุดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้ รวมทั้งค่าพลังงานและอุปกรณ์

การผลิตบรรจุภัณฑ์จากเปลือกโกโก้มีความคุ้มค่า เนื่องจากการเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร แม้ว่าต้นทุนเริ่มต้นอาจอยู่ในระดับสูง แต่เมื่อขยายการผลิตสู่ระดับอุตสาหกรรมต้นทุนต่อหน่วยมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ ความสามารถในการแข่งขันด้านราคาขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยแนวทางการพัฒนาควรมุ่งเน้นการสร้างมูลค่าเพิ่มด้านความยั่งยืนและการใช้ทรัพยากรหมุนเวียนอย่างคุ้มค่า เนื่องจากเปลือกโกโก้เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

สรุปผลการทดลอง

กระดาษจากเยื่อเปลือกโกโก้ที่ลามิเนตด้วยพลาสติกชีวภาพ PBAT เพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์แบบคงรูปชนิดใช้แล้วทิ้งกับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ พบว่า เปลือก

โกโก้ให้ปริมาณเยื่อสูงที่สุดถึง $77.87 \pm 2.57\%$ ด้วยวิธีการสกัดเยื่อสูตร SAQ5 (โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 (%โดยน้ำหนัก/ปริมาตร) แอนทราควิโนน 0.1 (%โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 140°C . เป็นเวลา 60 นาที) และเมื่อนำเยื่อที่ได้โดยเติมสตาร์ชดัดแปรสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษได้ และจากการลามิเนตกระดาษด้วยพลาสติกชีวภาพ PBAT 4 ชั้น/กระดาษ/PBAT 4 ชั้น มีสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ เชิงกลและกายภาพโดยรวมดีกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ เมื่อขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์สามารถต้านทานการซึมผ่านของไขมันและน้ำมัน จึงเหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดใช้แล้วทิ้งสำหรับเบเกอรี่ได้

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ขอขอบคุณข้าราชการ พนักงานราชการ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ธัญญารัตน์ จิฎกานัญจน์. 2557. การทดสอบกระดาษและบรรจุภัณฑ์กระดาษ. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท Asia digital การพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ. 130 หน้า.
- รมณีย์ หวังดีธรรม กิตติภณ เจริญพรพิทักษ์ ไพศักดิ์ อนันท์นุกูล และยุทธนันท์ สิงค์คำมา. 2554. การศึกษากระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจากสับปะรด. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 84 หน้า.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2562. การประเมินและการเพิ่มอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท โอ. เอส. พรินติ้ง เฮาส์ จำกัด, กรุงเทพฯ. 397 หน้า.
- โสธรา เรืองดิษฐ์. 2560. การดัดแปลงเมมเบรนพอลิซิลิโคนสำหรับการแยกแก๊ส CO_2/CH_4 โดยเทคนิคพลาสมา กระแสตรง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 92 หน้า.

- Akpabio, U.D., I.E. Effiong and A.E. Akpakpan. 2012. Preparation of pulp and cellulose acetate from *Nypa* palm leaves. *International Journal of Environment and Bioenergy* 1(3): 179-194.
- Choi, H.J., M.S. Kim, D. Ahn, S.Y. Yeo and S. Lee. 2019. Electrical percolation threshold of carbon black in a polymer matrix and its application to antistatic fibre. *Scientific Reports* 9(1): 6338.
- Córdova, B.M., J.P.S. Cruz, T.V. Ocampo, R.G.H. Palomino and A.M.B. Moncada. 2020. Simultaneous adsorption of a ternary mixture of brilliant green, rhodamine B and methyl orange as artificial wastewater onto biochar from cocoa pod husk waste. Quantification of dyes using the derivative spectrophotometry method. *New Journal of Chemistry*. 44: 8303-8316.
- Daud, Z., H. Awang, A.S.M. Kassim, M.Z.M. Hatta and A.M. Aripin. 2014. Cocoa pod husk and corn stalk: alternative paper fibres. *Advanced Materials Research*. 911: 331-335.
- Guiné, R.P.F. 2022. Textural properties of bakery products: A review of instrumental and sensory evaluation studies. *Applied Sciences*. 12(17): 8628.
- Li, G., S. Shankar, J.W. Rhim and B.Y. Oh. 2015. Effects of preparation method on properties of poly (butylene adipate-co-terephthalate) films. *Food Science and Biotechnology*. 24(5): 1679-1685.
- Lu, F., J.R. Garcia, I.V. Damme, N.J. Westwood, L. Shaw, J.S. Robinson, G. Warren, A. Chatzifragkou, S.M. Mason, L. Gomez, L. Faas, K. Balcombe, C. Srinivasan, F. Picchioni, P. Hdley and D. Charalampopoulos. 2018. Valorisation strategies for cocoa pod husk and its fractions. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 14: 80-88.
- Mannai, F., M. Aammar, J.G. Yanez, E. Elaloui and Y. Moussaoui. 2017. Alkaline delignification of cactus fibres for pulp and papermaking applications. *Journal of Polymers and the Environment*. 26(2): 798-806.
- Murray, R., S. Bachu, C. Pemberton and R. Birch. 2021. Investigation of the impact of aging upon the mechanical properties of cocoa pod husk. *Pelita Perkebunan*. 37(2): 146-165.
- Nabels, S.M., O. Platnieks, L. Grase and S. Gaidukovs. 2022. Lamination of cast hemp paper with bio-based plastics for sustainable packaging: Structure-thermomechanical properties relationship and biodegradation studies. *Journal of Composites Science*. 6(9): 246.
- Oddoye, E.O.K., C.K.A. Badu and E.G. Akoto. 2012. Cocoa and Its By-Products: Identification and Utilization. pp. 23-37. In: *Chocolate in Health and Nutrition*, R.W. Ronald, V.R. Preedy and S. Zibadi (eds.). Humana Press, Totowa, NJ.
- Riley, A. 2012. Plastics Manufacturing Processes for Packaging Materials. pp. 310-360. In: *Packaging Technology Fundamentals, Materials and Processes*, A. Emblem and H. Emblem (eds). Woodhead Publishing Limited.
- Tayeb, A.H., M. Tajvidi and D. Bousfield. 2020. Paper-based oil barrier packaging using lignin-containing cellulose nanofibrils. *Molecules*. 25(6): 1344.
- Vandenberghe, L.P.S., K.K.V. Diestra, G.A. Bittencourt, A.F.M. Mello, Z.S. Vásquez, P.Z. Oliveira, G.V.M. Pereira and C.R. Soccol. 2022. Added-value biomolecules' production from cocoa pod husks: A review. *Bioresource Technology*. 344: 126252.
- Wongphan, P., E. Canellas, C. Nerín, C. Estremera, N. Harnkarnsujarit and P. Vera. 2025. Screening and relative quantification of migration from novel thermoplastic starch and PBAT blend packaging. *Foods*. 14: 1-16.
- Zubiaguirre, L.B., I. Zabaleta, A. Prieto, M. Olivares, O. Zuloaga and M.P. Elizalde. 2021. Migration of photoinitiators, phthalates and plasticizers from paper and cardboard materials into different simulants and foodstuffs. *Food Chemistry*. 344: 1-8.

การให้แคลเซียมโบรอนทางใบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดการสูญเสียคุณภาพ
มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ผ่านการฉายรังสี

Foliar Application of Calcium-Boron to Increase Production Efficiency and
Reduce the Quality Loss of Irradiated ‘Nam Dok Mai Si Thong’ Mango

ภาณุมาศ โคตรพงศ์^{1/*} ทิวาพร ผดุง^{2/} สโรชา ถึงสุข^{3/} พัชร อารุง^{4/}

Panumas Kotepong^{1/*} Thiwaporn Phadung^{2/} Sarocha Thuengsuk^{3/} Patcharee Umroong^{4/}

Received 3 Jul. 2025/Revised 22 Dec. 2025/Accepted 22 Dec. 2025

ABSTRACT

Regarding plant quarantine measures, ‘Nam Dok Mai Si Thong’ mango exported to the United States, Australia, and New Zealand must be treated with gamma irradiation. The irradiation causes loss of quality in most mangoes at destination markets, with the symptoms of brown skin, watery flesh, and short shelf life. This research aimed to study treating mangoes with calcium-boron to increase production efficiency and to reduce loss of quality in irradiated mangoes. The appropriate concentration of calcium-boron for yield and quality improvement was also investigated. It was found that foliar spray of calcium-boron at a concentration of 0.5% at 30, 45 and 60 days after flowering produced the highest amount of yields and fruit quality. According to the effects of calcium-boron on irradiated mangoes, it was found that when they were stored under 13°C for 28 days for export simulation, irradiated mangoes receiving calcium-boron lost 22.45% of their quality. In contrast, irradiated mangoes without calcium-boron lost 60.34% of their quality. After that, treating calcium-boron technology was tested in mango planting plots for export, i.e., the community enterprise of quality mango production for export, Phetchabun, Nakhon Ratchasima, and Sa Kaeo Provinces. It was found that calcium-boron could increase production efficiency for farmers, with high yields up to 1,292 kg/rai, higher than the current method by 19.09% (16,569 baht/rai). This research revealed that treating mangoes with calcium-boron improved production efficiency and could reduce loss of quality in irradiated mango, and creates the

^{1/} กองวิจัยพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลผลิตเกษตร 50 ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{1/} Postharvest and Processing Research and Development Division, Phahonyothin Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^{2/} กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร 50 ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{2/} Agricultural Production Science Research and Development Division, Phahonyothin Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^{3/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบูรณ์ ต.สะเดียง อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000

^{3/} Phetchabun Agricultural Research and Development Center, Sadiang, Mueang, Phetchabun 67000, Thailand

^{4/} สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ถ.งามวงศ์วาน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{4/} Kasetsart University Research and Development Institute, Ngamwongwan Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

* Corresponding author: panumas.k@doa.in.th

opportunity for export markets to the countries using the plant quarantine measures by irradiation in the future.

Keywords: calcium-boron; production efficiency; quality loss; Nam Dok Mai Si Thong mango; irradiation

บทคัดย่อ

การส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองไปยังสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ต้องผ่านการฉายรังสีแกมมาตามมาตรการกักกันพืชก่อนการส่งออก ซึ่งส่งผลให้เปลือกและเนื้อผลเกิดสีน้ำตาลฉ่ำน้ำ และมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการให้แคลเซียมโบรอนทางใบต่อประสิทธิภาพการผลิตและลดการสูญเสียคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหลังฉายรังสี โดยศึกษาวิธีการให้แคลเซียมโบรอนต่อปริมาณคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพบว่า การพ่นแคลเซียมโบรอนทางใบ ความเข้มข้น 0.5% ที่อายุ 30 45 และ 60 วันหลังดอกบาน ให้ปริมาณและคุณภาพผลผลิตดีที่สุด จากนั้นศึกษาผลของแคลเซียมโบรอนต่อคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสีพบว่า เมื่อจำลองการส่งออกที่อุณหภูมิ 13°C เป็นเวลา 28 วัน มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสีที่ได้รับแคลเซียมโบรอนทางใบ ความเข้มข้น 0.5% มีการสูญเสียคุณภาพ 22.45% ในขณะที่มะม่วงฉายรังสีที่ไม่ได้รับแคลเซียมโบรอนมีการสูญเสียคุณภาพสูงถึง 60.34% และทำการทดสอบเทคโนโลยีการให้แคลเซียมโบรอนในพื้นที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออก ได้แก่ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มผลิตมะม่วงคุณภาพเพื่อการส่งออก จ. เพชรบูรณ์ นครราชสีมา และสระแก้ว พบว่า การให้แคลเซียมโบรอนทางใบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเฉลี่ยสูงถึง 1,292 กก./ไร่ เพิ่มขึ้นจากวิธีการ

ของเกษตรกร 19.09% คิดเป็นรายได้เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 16,569 บาท/ไร่ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการให้แคลเซียมโบรอนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดการสูญเสียคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ฉายรังสีได้ อีกทั้งยังสร้างโอกาสการส่งออกไปยังประเทศที่มีมาตรการกักกันพืชด้วยวิธีการฉายรังสีได้ในอนาคต

คำสำคัญ: แคลเซียมโบรอน; ประสิทธิภาพการผลิต; การสูญเสียคุณภาพ; มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง; การฉายรังสี

บทนำ

การส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองไปจำหน่ายยังประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ จำเป็นต้องผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีไม่ต่ำกว่า 400 เกรย์ตามมาตรการกักกันพืช การฉายรังสีดังกล่าวทำให้มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเกิดความเสียหายด้านคุณภาพเมื่อถึงตลาดปลายทางโดยพบอาการเปลือกและเนื้อผลเป็นสีน้ำตาล ฉ่ำน้ำ และมีอายุการเก็บรักษาสั้น ทำให้ไม่สามารถขยายตลาดการส่งออกไปยังประเทศดังกล่าวได้ ซึ่งการสูญเสียคุณภาพมะม่วงขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีแกมมาที่ได้รับ หากได้รับมากเกินไปจะเกิดผลกระทบต่อคุณภาพมาก จากงานวิจัยพบว่า เนื้อผลมะม่วงอ่อนยุบตัวทันทีหลังจากได้รับรังสีแกมมา 1,000 เกรย์ (Mahto and Das, 2013) แต่เมื่อทดลองฉายรังสีแกมมาที่ระดับ 400-600 เกรย์ พบว่า มะม่วงจะเกิดความเสียหายตามปริมาณรังสีแกมมาที่มากขึ้น โดยแสดงอาการผลมะม่วงจะสุกไม่สม่ำเสมอ และมีอาการจุดดำกระจายทั่วผล ส่วนบริเวณเนื้อผลจะมีสีน้ำตาลเนื้อสัมผัสคล้ายเจลและมีรสชาติที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (ผ่องเพ็ญและอภิตี, 2554)

แนวทางในการแก้ปัญหาการสูญเสียคุณภาพมะม่วงจากการฉายรังสีแกมมาอาจทำได้โดยการทำให้ผลมะม่วงมีเนื้อผลที่แข็งแรงมากขึ้น ซึ่งจะทำได้

ทนทานต่อรังสีแกมมาได้มากขึ้น วิธีการหนึ่งที่ทำให้มะม่วงมีเนื้อผลที่แข็งแรงสามารถทำได้โดยการให้ธาตุอาหาร เช่น แคลเซียม และโบรอน ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ พืชสามารถดูดซึมและนำไปใช้ได้ทันที โดยแคลเซียมเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทสำคัญทางสรีรวิทยาพืชทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ โดยเชื่อมโยงภายในเซลล์ให้ยึดติดกันแน่น จึงสร้างโครงข่ายที่แข็งแรง และยังเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์โปรตีนไคเนสและแอลฟาอะไมเลสที่มีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายแป้งไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช (Huang et al., 2008) แคลเซียมยังเกี่ยวข้องกับการลดการเสื่อมสภาพและชะลอการอ่อนนุ่มของผลไม้ (Elmer et al., 2007) ส่วนโบรอนเป็นธาตุอาหารที่ส่งเสริมการดูดซึมแคลเซียมและการเคลื่อนย้ายแคลเซียมในพืช การให้โบรอนในรูปกรดบอริกสามารถเพิ่มความแน่นเนื้อผลเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เพิ่มปริมาณน้ำตาล และลดการเน่าเสียของผลไม้ได้อีกด้วย (Thomidis and Exadaktylou, 2010)

การให้แคลเซียมจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการก่อนการเก็บเกี่ยวเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของผลไม้หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างช่วงการเจริญเติบโตและพัฒนาของผล (เฉลิมชัย, 2561) เช่น การให้แคลเซียม ความเข้มข้น 0.5% ในแอปเปิ้ล ร่วมกับการฉายรังสีแกมมาในปริมาณ 400 เกรย์ หลังเก็บรักษานาน 90 วัน พบว่า สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักและสามารถชะลอการลดลงของค่าความแน่นเนื้อผลได้ (Hussain et al., 2012) เช่นเดียวกับการฉายรังสีในฝรั่ง โดยให้รังสีแกมมา 400 เกรย์ ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 4% แก่ผลฝรั่ง หลังเก็บรักษานาน 20 วัน พบว่า มีการสูญเสียน้ำหนักลดน้อยลงสามารถชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อผล และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้น (Hassanein et al., 2018)

ข้อมูลดังกล่าวข้างต้นชี้ว่าการให้แคลเซียมและโบรอนเป็นวิธีในการเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อเยื่อผลไม้ ทำให้ทนต่อการฉายรังสีได้มากขึ้นและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชได้ อย่างไรก็ตามยังขาดคำแนะนำที่เหมาะสมในการให้แคลเซียมและโบรอนในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการให้แคลเซียมโบรอนทางใบในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดการสูญเสียคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหลังการฉายรังสี ตลอดจนการทดสอบเทคโนโลยีการให้แคลเซียมโบรอนทางใบในพื้นที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออก เพื่อรองรับการขยายตลาดการส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองไปยังประเทศที่มีมาตรการกักกันพืชด้วยวิธีการฉายรังสี ซึ่งจะทำได้สามารถเพิ่มปริมาณการส่งออกและเพิ่มมูลค่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ปลูกในประเทศไทยให้มากขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วิธีการให้แคลเซียมโบรอน

คัดเลือกต้นมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง อายุ 8-10 ปี จากแปลงเกษตรกรที่ผ่านการรับรอง GAP ของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งออกมะม่วง บ้านโป่งตาลอง-เขาใหญ่ อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา 150 ต้น ทำการให้สารละลายแคลเซียมโบรอนในรูปของแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ร่วมกับกรดบอริก (boric acid) ในระหว่างการพัฒนาผลโดยการพ่นทางใบทั่วทั้งต้น 3 ครั้ง ที่อายุผล 30 45 และ 60 วันหลังดอกบาน ในอัตราที่ใช้ 5 ลิตร/ต้น ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันตามแต่ละกรรมวิธี วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design มี 3 กรรมวิธี 5 ซ้ำ ขนาดหน่วยทดลองละ 10 ต้น ดำเนินการระหว่างเดือน ธ.ค. 2563-มี.ค. 2564 ดังนี้

- 1) ไม่ให้แคลเซียมโบรอน (กรรมวิธีควบคุม)
- 2) ให้แคลเซียมโบรอน ความเข้มข้น 0.25%
- 3) ให้แคลเซียมโบรอน ความเข้มข้น 0.5%

เก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งต้นเมื่ออายุ 105 วันหลังดอกบาน โดยมีความสุกแก่ของผลประมาณ 85% ขนส่งโดยรถห้องเย็นมายังห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน บันทึกข้อมูลผลผลิต ได้แก่ น้ำหนัก/ผล ปริมาณผลผลิต/ไร่ คุณภาพผลผลิต ได้แก่ สีเปลือก (ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*)) ความแน่นเนื้อผล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity) ตามวิธีการของ AOAC (1984) ปริมาณวิตามินซี ตามวิธีการของ AOAC (1990) ปริมาณแคลเซียมและโบรอนในส่วนของเปลือกและเนื้อผล ตามวิธีการของจำเริญ (2547)

2. ผลของแคลเซียมโบรอนต่อคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสี

คัดเลือกกรรมวิธีที่ดีที่สุดจากข้อที่ 1 โดยพิจารณาจากข้อมูลผลผลิตและคุณภาพผลผลิตเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของแคลเซียมโบรอนที่เหมาะสม โดยทำการคัดเลือกต้นมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองอายุ 8-10 ปี จากแปลงเกษตรกรที่ผ่านการรับรอง GAP ของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งออกมะม่วง บ้านโป่งตาลอง-เขาใหญ่ อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ไม่ให้แคลเซียมโบรอน และกลุ่มที่ 2 ให้แคลเซียมโบรอน กลุ่มละ 50 ต้น เพื่อเตรียมผลผลิตที่ใช้ในการทดลองฉายรังสี ดำเนินการระหว่างเดือน ธ.ค. 2564 - มี.ค. 2565

ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตเช่นเดียวกับการทดลองในขั้นตอนที่ 1 นำมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมาล้างทำความสะอาด แล้วคัดเลือกผลที่ไม่มีตำหนิ โดยมีขนาดและสีผิวใกล้เคียงกัน ก่อนที่จะบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ลงในกล่อง

กระดาษลังลูกฟูก จำนวน 12 ผล/กล่อง เพื่อใช้ในการทดลองฉายรังสี

ทำการวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) มี 4 กรรมวิธี 5 ซ้ำ ดังนี้

- 1) กลุ่มที่ 1 ไม่ให้แคลเซียมโบรอน (ควบคุม)
- 2) กลุ่มที่ 2 ให้แคลเซียมโบรอน
- 3) กลุ่มที่ 1 ไม่ให้แคลเซียมโบรอน + ฉายรังสี
- 4) กลุ่มที่ 2 ให้แคลเซียมโบรอน + ฉายรังสี

นำไปผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับ 400 เกรย์ ตามมาตรการกักกันพืช (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555) ที่ศูนย์ฉายรังสี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) หลังจากนั้นนำไปจำลองการส่งออกโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C. ความชื้นสัมพัทธ์ 95% เป็นเวลา 28 วัน บันทึกผล สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ดังนี้

- คุณภาพผลผลิต ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนัก (%) สีเปลือก (ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*)) ความแน่นเนื้อผล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซี

- การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์ และขนาดองค์ประกอบของเซลล์ ตามวิธีการของ Umroong and Kotepong (2019)

- เพอร์เซ็นต์การสูญเสียคุณภาพ โดยพิจารณาจากอาการเปลือกสีน้ำตาล และฉ่ำน้ำของผล โดยให้คะแนนอาการเปลือกสีน้ำตาลที่ปรากฏ 1-5 คะแนน ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Munirah et al. (2017) และ Amadi et al. (2009) ดังนี้

- 1: บริเวณเปลือกมีสีน้ำตาล 0–20%
- 2: บริเวณเปลือกมีสีน้ำตาล 21–40%
- 3: บริเวณเปลือกมีสีน้ำตาล 41–60%
- 4: บริเวณเปลือกมีสีน้ำตาล 61–80%
- 5: บริเวณเปลือกมีสีน้ำตาล 81–100%

สำหรับอาการน้ำที่บริเวณเนื้อผล ให้คะแนนอาการน้ำที่ปรากฏ เป็น 1-5 ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Munirah et al. (2017) และ Amadi et al. (2009) ดังนี้

- 1: บริเวณเนื้อผลมีการฉ่ำน้ำ 0–20%
- 2: บริเวณเนื้อผลมีการฉ่ำน้ำ 21–40%
- 3: บริเวณเนื้อผลมีการฉ่ำน้ำ 41–60%
- 4: บริเวณเนื้อผลมีการฉ่ำน้ำ 61–80%
- 5: บริเวณเนื้อผลมีการฉ่ำน้ำ 81–100%

นำข้อมูลการให้คะแนนอาการเปลือกสีน้ำตาลและอาการน้ำที่บริเวณเนื้อผล มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียคุณภาพเทียบกับวันเก็บเกี่ยว

3. ทดสอบเทคโนโลยีการให้แคลเซียมโบรอนในพื้นที่

คัดเลือกต้นมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง อายุ 8-10 ปี จากแปลงเกษตรกรต้นแบบที่ผ่านการรับรอง GAP ที่การปลูกเพื่อการส่งออก 3 พื้นที่ ได้แก่ 1) พื้นที่ภาคกลาง: วิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตมะม่วงเพื่อการส่งออก อ.วังสมบูรณ์ จ.สระแก้ว 2) พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ: วิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งออกมะม่วงบ้านโป่งตาลอง-เขาใหญ่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา และ 3) พื้นที่ภาคเหนือ: วิสาหกิจชุมชนกลุ่มผลิตมะม่วงคุณภาพเพื่อการส่งออก ต.บ้านโพน อ.หนองไผ่ จ.เพชรบูรณ์ พื้นที่ละ 2 แปลง ๆ ละ 200 ต้น โดยมีต้นมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ไม่ให้แคลเซียมโบรอน และกลุ่มที่ 2 ให้แคลเซียมโบรอน กลุ่มละ 100 ต้น เพื่อเตรียมผลผลิตที่ใช้ในการทดลอง ดำเนินการระหว่างเดือน ธ.ค. 2565–มี.ค. 2566 ดังนี้

1) เทคโนโลยีที่เกษตรกรใช้: ไม่ให้แคลเซียมโบรอน (กรรมวิธีควบคุม)

2) เทคโนโลยีตามคำแนะนำ: โดยให้แคลเซียมโบรอนความเข้มข้น 0.5% 3 ครั้ง ที่อายุผล 30 45 และ 60 วันหลังดอกบาน

เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่ออายุ 105 วันหลังดอกบาน โดยมีความสุกแก่ประมาณ 85% มีการขนส่ง ล้างทำความสะอาด บรรจุใส่กล่องบรรจุภัณฑ์ แล้วนำไปผ่านการฉายรังสีเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 2 หลังจากนั้นนำไปจำลองการส่งออกโดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C. เป็นเวลา 28 วัน โดยทดสอบเทคโนโลยีการให้แคลเซียมโบรอนในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองตามแต่ละกรรมวิธี

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลผลิต คุณภาพผลผลิต การสูญเสียคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างแบบ t-test และวิเคราะห์ต้นทุนของเทคโนโลยีและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. วิธีการให้แคลเซียมโบรอน

ปริมาณและคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองขึ้นกับความเข้มข้นของแคลเซียมโบรอนที่ได้รับในระหว่างการพัฒนาของผลโดยมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ได้รับแคลเซียมโบรอนความเข้มข้น 0.5% มีน้ำหนักผลสูงสุด คือ 384 ก. คิดเป็นปริมาณผลผลิต 1,251 กก./ไร่ ในขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ไม่ได้รับแคลเซียมโบรอนในกรรมวิธีควบคุมมีน้ำหนักผลเพียง 330 ก. คิดเป็นปริมาณผลผลิต 1,017 กก./ไร่ (Table 1) สอดคล้องกับงานวิจัยของสายน้ำผึ้งและคณะ (2562) ที่พบว่าการพ่นแคลเซียมโบรอนส่งผลให้ผลพลับมีน้ำหนักผลมากกว่ากรรมวิธีควบคุมที่ไม่ได้รับแคลเซียมโบรอน สำหรับคุณภาพผลผลิตนั้นพบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ได้รับแคลเซียมโบรอนความเข้มข้น 0.5% มีความแน่นเนื้อผลสูงสุด คือ 26.98 นิวตัน และปริมาณ

ของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุด คือ 9.9°บrix ทั้งนี้ เนื่องจากแคลเซียมโบรอนที่ได้รับในระหว่างการพัฒนาของผลไปส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาลและอาหารในการขยายขนาดของผลและมีการประสานกัน

ของเนื้อเยื่อพืชให้เกาะกันแน่นขึ้น (ยงยุทธ, 2558) ในขณะที่การให้แคลเซียมโบรอนไม่มีผลต่อสีของเปลือก (ค่า L^* , a^* , b^*) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซี (Table 2)

Table 1 Effect of calcium-boron application on the yield of ‘Nam Dok Mai Si Thong’ mango

Treatment	Fruit weight (g)	Yield (kg/rai)
No Ca-B	330 b	1,017 b
Ca-B 0.25%	350 b	1,110 b
Ca-B 0.5%	384 a	1,251 a
F-test	*	*
CV (%)	12.3	18.3

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

Table 2 Effect of calcium-boron application on the fruit quality of ‘Nam Dok Mai Si Thong’ mango

Treatment	Peel color			Firmness (N)	Total soluble solids (°Brix)	Titratable acidity (%)	Vitamin C (mg/100 ml)
	L^*	a^*	b^*				
No Ca-B	74.56	4.34	32.45	24.12 b	8.34 b	2.38	32.34
Ca-B 0.25%	73.45	4.67	33.11	25.34 b	9.08 a	2.45	33.98
Ca-B 0.5%	73.12	4.87	33.89	26.98 a	9.94 a	2.50	34.23
F-test	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
CV (%)	23.5	12.3	21.3	18.5	13.5	17.9	22.1

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

สำหรับปริมาณแคลเซียมและโบรอนในเปลือกและเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของแคลเซียมโบรอนที่ได้รับในระหว่างการพัฒนาของผลโดยมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ได้รับแคลเซียมโบรอนความเข้มข้น 0.5% มีปริมาณแคลเซียมในเปลือกและเนื้อผลสูงสุด คือ 1,986 และ 602 มก./กก. ตามลำดับ และมีปริมาณโบรอนในเปลือกและเนื้อสูงสุด คือ 14.64 และ 7.92

มก./กก. ตามลำดับ (Table 3) ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่า แคลเซียมและโบรอนที่ได้รับทางใบในระหว่างการพัฒนาของผลมีการเคลื่อนย้ายไปสะสมที่บริเวณผลเพื่อใช้ในการสร้างองค์ประกอบของเซลล์ให้มีความแข็งแรง สอดคล้องกับการทดลองของ Neilsen et al. (2005) ที่มีการฉีดพ่นแคลเซียมในแอปเปิ้ลพันธุ์ Braeburn ทำให้ผลแคลเซียมมีปริมาณเพิ่มขึ้น

Table 3 Effects of calcium-boron application on calcium and boron contents in the part of peel and pulp of ‘Nam Dok Mai Si Thong’ mango

Treatment	Calcium content (mg/kg)		Boron content (mg/kg)	
	Peel	Pulp	Peel	Pulp
No Ca-B	1,343 b	393 b	11.6 b	6.38 b
Ca-B 0.25%	1,494 b	459 b	12.5 b	7.05 b
Ca-B 0.5%	1,986 a	602 a	14.6 a	7.92 a
F-Test	*	*	*	*
CV (%)	23.7	19.5	15.7	17.9

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

2. ผลของแคลเซียมโบรอนต่อคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสี

ภายหลังการฉายรังสีมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองทุกกรรมวิธีมีคุณภาพทางด้านการสูญเสียน้ำหนักสีของเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Figure 1a-h) เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C. เป็นเวลา 28 วัน พบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษาโดยมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ผ่านการฉายรังสีมีการสูญเสียน้ำหนัก (8.05-8.25%) สูงกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ไม่ผ่านการฉายรังสี (6.80-7.0%) (Figure 1a) ทั้งนี้เนื่องมาจากการฉายรังสีไปกระตุ้นกิจกรรมการหายใจ การคายน้ำภายในเซลล์ให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจึงทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น (Youssef et al., 2002) ความแน่นเนื้อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในทุกกรรมวิธีมีความแตกต่างกันทางสถิติโดยความแน่นเนื้อผลลดลงตามอายุการเก็บรักษา โดยมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสีที่ไม่ได้รับแคลเซียมโบรอนมีความแน่นเนื้อผลต่ำที่สุด คือ 3.79 นิวตัน ในขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองไม่ฉายรังสีที่ได้รับแคลเซียมโบรอนมีความแน่นเนื้อผลสูงที่สุด คือ 10.20 นิวตัน (Figure 1e) ซึ่งสอดคล้องกับ ญัฐกานต์และคณะ (2567) ที่พบว่า

มะม่วงเมื่อได้รับการฉายรังสี UV-C ในทุกระดับความเข้มข้น มีความแน่นเนื้อสูงกว่ามะม่วงที่ไม่ได้รับการฉายรังสี ซึ่งอาจเป็นผลมาจากรังสี UV-C ช่วยลดการอ่อนตัวของผนังเซลล์ และชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายผนังเซลล์ เช่น expansins, polygalacturonase, endoglucanase และ pectin methylesterase ส่งผลให้สามารถชะลอการนิ่มของผลไม้ได้ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ไม่ได้รับแคลเซียมโบรอน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (13.83-14.25°บริกซ์) ต่ำกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ได้รับแคลเซียมโบรอน (15.73-16.39°บริกซ์) (Figure 1f) ในขณะที่การให้แคลเซียมโบรอนในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองไม่มีผลต่อสีของเปลือก ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซี (Figure 1 b-d, g-h)

ศึกษาองค์ประกอบของผนังเซลล์ประกอบด้วย 4 ชั้น ได้แก่ คิวติเคิล เอพิเดอร์มิส ไฮโปเดอร์มิส และพาริงโคมา พบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ได้รับแคลเซียมโบรอนมีการจัดเรียงตัวของผนังเซลล์แต่ละชั้นเกาะกันแน่นกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ไม่ได้รับแคลเซียมโบรอน (Figure 2a-b) และเมื่อนำไปผ่านการฉายรังสีส่งผลให้ผนังเซลล์มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสีที่ไม่ได้รับแคลเซียมโบรอนเริ่มมีการหลุดตัวและถูกทำลายของผนังเซลล์เนื่องจากผลกระทบของรังสี ในขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสีที่

ได้รับแคลเซียมโบรอนยังคงมีความเต่งของผนังเซลล์ที่สมบูรณ์ (Figure 2c-d) เมื่อวิเคราะห์ขนาดของผนังเซลล์พบว่า ภายหลังจากฉายรังสีมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ได้รับแคลเซียมโบรอนมีขนาดของผนังเซลล์หนากวามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ไม่ได้รับแคลเซียมโบรอนโดยมีขนาดชั้นคิวติเคิล 20.77 ไมโครเมตร

ชั้นเอพิเดอร์มิส 23.36 ไมโครเมตร ชั้นไฮโปเดอร์มิส 17.93 ไมโครเมตร และชั้นพาริเควมา 33.85 ไมโครเมตร และเมื่อเก็บรักษานาน 28 วัน มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ได้รับแคลเซียมโบรอนสามารถรักษาความหนาผนังเซลล์ได้ใกล้เคียงกับวันที่เก็บเกี่ยว (Figure 3a-h)

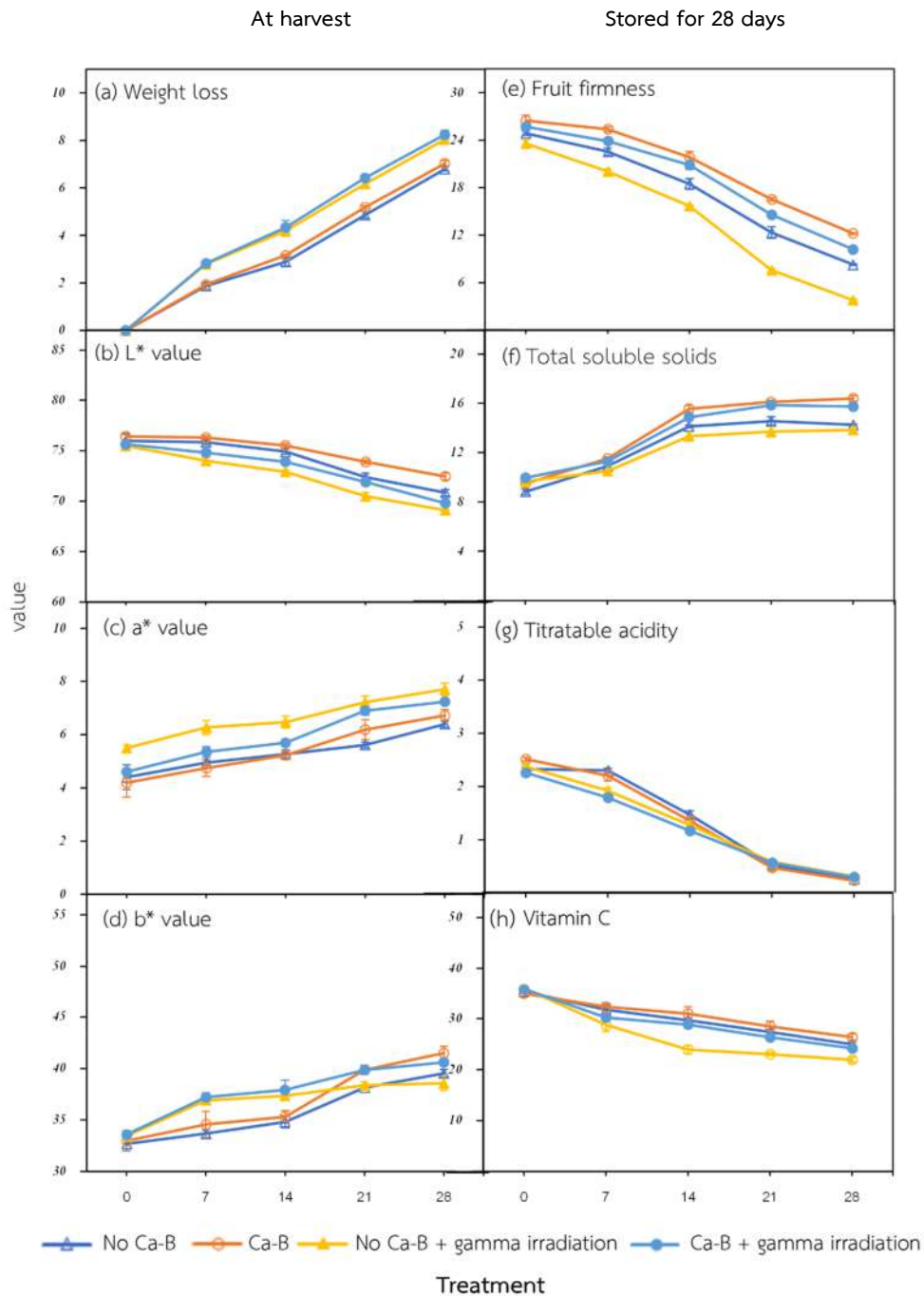


Figure 1 Effect of calcium-boron application on the fruit quality of irradiated 'Nam Dok Mai Si Thong' mango during storage

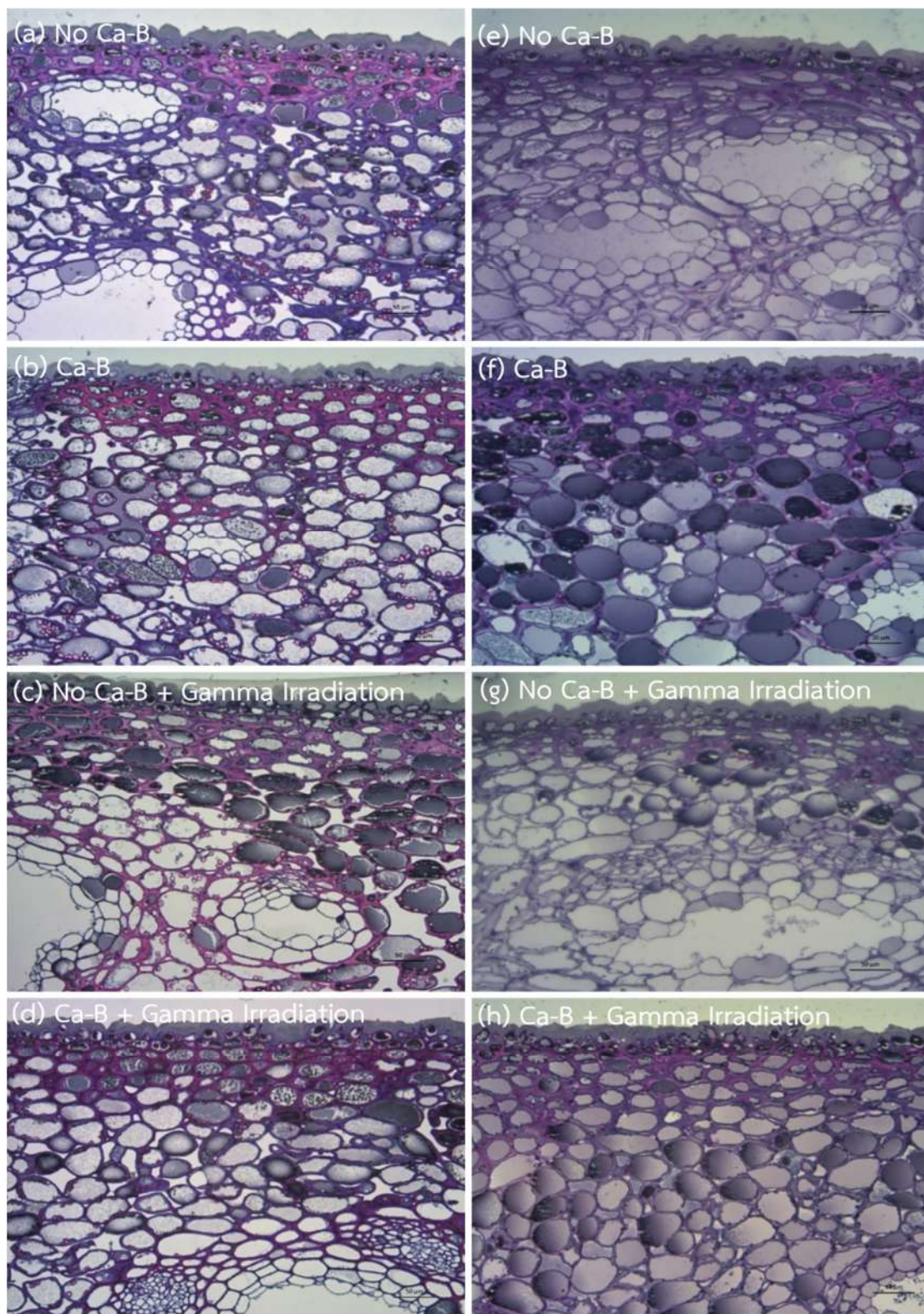


Figure 2 Effect of calcium-boron application on the ultrastructure of irradiated ‘Nam Dok Mai Si Thong’ mango during storage

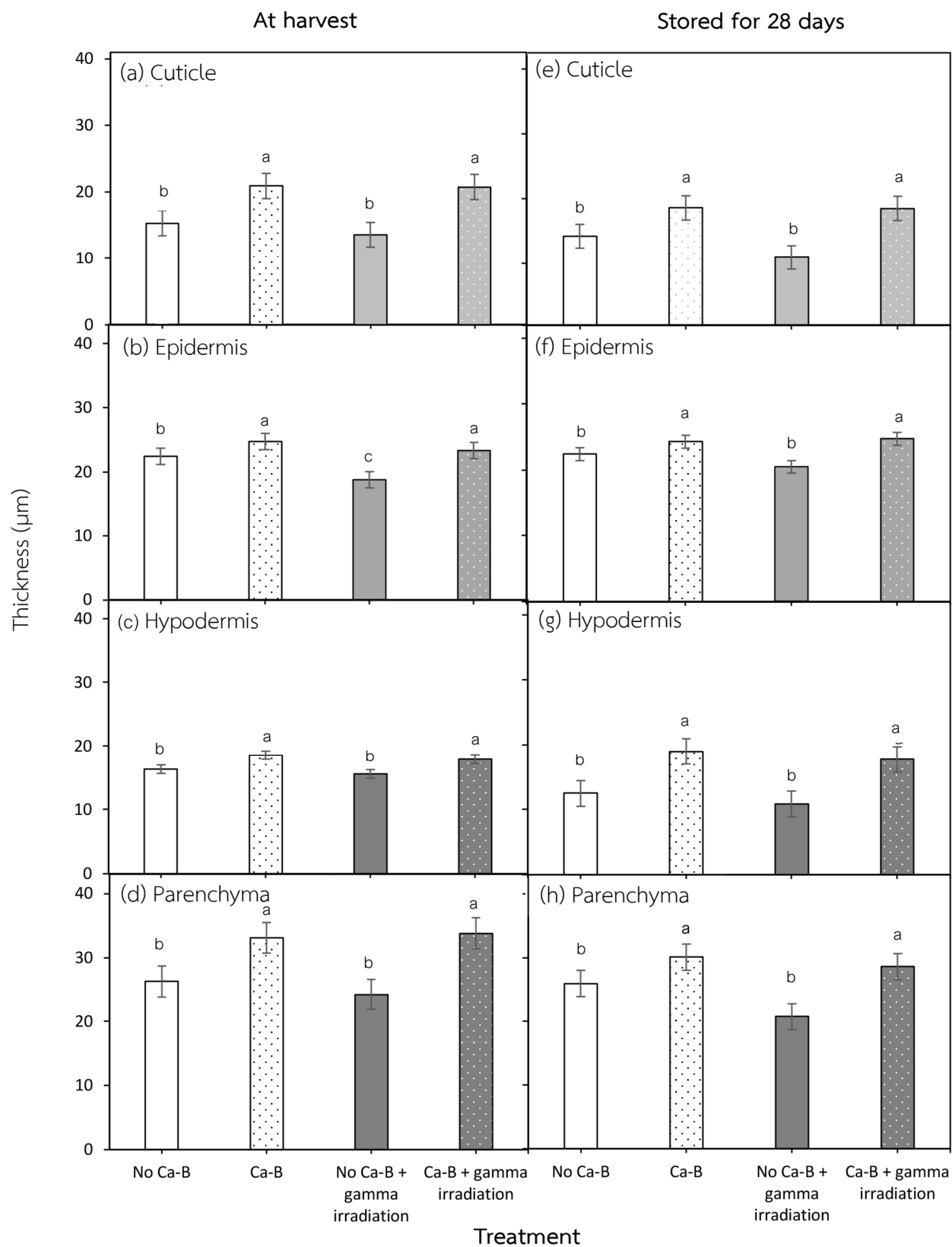


Figure 3 Effect of calcium-boron application on cell wall thickness of irradiated ‘Nam Dok Mai Si Thong’ mango during storage

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ได้รับแคลเซียมโบรอนและไม่ผ่านการฉายรังสีมีการสูญเสียคุณภาพต่ำที่สุดสำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสีที่ไม่ได้รับแคลเซียมโบรอนมีการสูญเสียคุณภาพจากอาการเปลือกสีน้ำตาลและเนื้อฉ่ำน้ำในระหว่างการเก็บรักษาอย่างรวดเร็วทำให้เก็บรักษาได้นานเพียง 14 วัน โดยมีการสูญเสียคุณภาพสูงถึง 30.34% และไม่เป็นที่

ยอมรับของผู้บริโภค ในขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสีที่ได้รับแคลเซียมโบรอนมีการสูญเสียคุณภาพเพียง 14.98% และสามารถเก็บรักษาได้ต่อเนื่องจนถึง 28 วัน โดยมีการสูญเสียคุณภาพ 22.45% (Table 4) จึงเป็นทางเลือกในการลดความเสียหายของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสีให้แก่เกษตรกรและผู้ประกอบการส่งออก

Table 4 Effect of calcium-boron application on the quality loss of irradiated ‘Nam Dok Mai Si Thong’ mango after storing for 28 days

Treatment	Days after storage				
	0	7	14	21	28
No Ca-B	0	7.53 b	12.22 b	17.67 b	29.24 b
Ca-B	0	4.55 b	9.56 b	12.89 b	15.68 b
No Ca-B + Gamma irradiation	0	10.33 a	30.34 a	54.46 a	60.34 a
Ca-B + Gamma irradiation	0	6.45 b	14.98 b	18.56 b	22.45 b
F-Test	-	*	*	**	*
CV(%)	-	25.3	18.9	22.2	20.2

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

3. ทดสอบเทคโนโลยีการให้แคลเซียมโบรอนในพื้นที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออก

ทดสอบเทคโนโลยีการให้แคลเซียมโบรอนแก่มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออกใน 3 พื้นที่พบว่า ในสามพื้นที่จะออกดอกไม่พร้อมกัน แต่ในการทดลองแต่ละที่จะเริ่มนับจำนวนวันหลังดอกบานเหมือนกันทำให้แต่ละพื้นที่ใช้หลักเกณฑ์เดียวกันที่อายุ 30 45 60 วันหลังดอกบาน ให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,292 กก./ไร่ คิดเป็นมูลค่าเฉลี่ย 103,351 บาท/ไร่ ในขณะที่วิธีของเกษตรกรที่ใช้ในปัจจุบันทั้ง 3 พื้นที่ที่ไม่มีการให้แคลเซียมโบรอนในระหว่างการพัฒนาของผลให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,085 กก./ไร่ คิดเป็นมูลค่าเฉลี่ย 86,782 บาท/ไร่ ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 19.09% คิดเป็นรายได้ของเกษตรกรเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 16,569 บาท/ไร่ โดยมีต้นทุนในการให้แคลเซียมโบรอนจากค่า

ปุ๋ยเคมีและค่าแรง 2,300 บาท/ไร่ เมื่อนำมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองไปผ่านการฉายรังสีแล้วจำลองสภาพการส่งออก พบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสีที่ได้รับแคลเซียมโบรอนมีการสูญเสียคุณภาพ 20.34% ในขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสีที่ไม่ได้รับแคลเซียมโบรอนมีการสูญเสียคุณภาพสูงถึง 66.23% (Table 5)

เทคโนโลยีการให้แคลเซียมโบรอนจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองของเกษตรกรโดยให้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นและแก้ไขปัญหาการสูญเสียคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ผ่านฉายรังสีจากมาตรการกักกันพืชเพื่อเตรียมความพร้อมให้ผู้ประกอบการในการรองรับการขยายตลาดส่งออก และสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีการให้แคลเซียม

โบรอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดการสูญเสียคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสีให้แก่เกษตรกรในวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตมะม่วงเพื่อการส่งออก อ. วังสมบูรณ์ จ. สระแก้ว วิสาหกิจชุมชน

กลุ่มส่งออกมะม่วงบ้านโป่งตาลอง-เขาใหญ่ อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา วิสาหกิจชุมชนกลุ่มผลิตมะม่วงคุณภาพเพื่อการส่งออกตำบลบ้านโพน อ. หนองไผ่ จ. เพชรบูรณ์

Table 5 Testing the calcium-boron technology in the ‘Nam Dok Mai Si Thong’ mango plantation for export, by using fruits from each treatment for irradiating and then storing for 28 days

Treatment	Yield (kg/rai)	Quality loss (%)	Total cost (Baht)	Benefit (Baht/rai)
Farmer	1,085	66.23	0	86,782
Ca-B Technology	1,292	20.34	2,300	103,351

สรุปผลการทดลอง

การให้แคลเซียมโบรอนในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองโดยการพ่นทางใบความเข้มข้น 0.5% จำนวน 3 ครั้ง ที่ระยะผลอายุ 30 45 และ 60 วันหลังดอกบานให้คุณภาพผลผลิตที่ดีที่สุดโดยให้ผลผลิตสูงถึง 1,292 กก./ไร่ ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น 19.09% จากวิธีของเกษตรกรที่ใช้ในปัจจุบันที่ไม่มีการให้แคลเซียมโบรอนในระหว่างการพัฒนาของผล คิดเป็นรายได้ของเกษตรกรเพิ่มขึ้น 16,568.52 บาท/ไร่ การให้แคลเซียมโบรอนทางใบทำให้ผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีความแข็งแรง มีความแน่นเนื้อผลสูงกว่าการไม่ให้แคลเซียม จึงมีความต้านทานต่อการฉายรังสีมากขึ้น ส่วนการทดสอบเทคโนโลยีการให้แคลเซียมโบรอนทางใบในพื้นที่การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออก โดยนำมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมาผ่านการฉายรังสีแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C. ความชื้นสัมพัทธ์ 95% เป็นเวลา 28 วัน มีการสูญเสียคุณภาพเพียง 20.34% ในขณะที่มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองฉายรังสีที่ไม่ได้รับแคลเซียมโบรอน มีการสูญเสียคุณภาพสูงถึง 66.23%

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตมะม่วงเพื่อการส่งออก อ. วังสมบูรณ์ จ. สระแก้ว วิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งออกมะม่วงบ้านโป่งตาลอง-เขาใหญ่ อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา วิสาหกิจชุมชนกลุ่มผลิตมะม่วงคุณภาพเพื่อการส่งออก ต. บ้านโพน อ. หนองไผ่ จ. เพชรบูรณ์ ที่สนับสนุนแปลงต้นแบบและโรงคัดบรรจุที่ใช้ในการวิจัย รวมทั้งศูนย์ฉายรังสีสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนการดำเนินงานในกระบวนการฉายรังสีตามขั้นตอนของมาตรการกักกันพืชให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- จำเริญ อ่อนทอง. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา. 168 หน้า.
- เฉลิมชัย วงษ์อารี. 2561. การใช้แคลเซียมเพื่อรักษาผลคุณภาพของผลไม้ที่ดีหลังการเก็บเกี่ยว. Postharvest Newsletter. 17(4): 5-7.
- ณัฐกานต์ พรหมขาม สุวิตา แสไพศาล และศุภัญญา นามพิลา. 2567. ผลของการฉายรังสี UV-C ต่อการเปลี่ยนแปลง

- คุณภาพและควบคุมโรคของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในระหว่างการเก็บรักษา. วารสารแก่นเกษตร. 52(2): 418-432.
- ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์ และอภิรดี อุทัยรัตน์กิจ. 2554. ผลของรังสีแกมมาที่ปริมาณสูงต่อคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42(พิเศษ 1): 251-254.
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2558. ธาตุอาหารพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 548 หน้า.
- สายน้ำผึ้ง เหลาพะวัง เจนจิรา ชุมภูคำ อธิยา นะมิกิ วีระศรี เมฆตรง และกฤษฎา กฤษณพุกต์. 2562. ผลของแคลเซียมโบรอนและจิบเบอเรลลินแอซิดต่อการพัฒนาคุณภาพผลผลิตพลับพลาพันธุ์ฟูยู. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 8(1): 10-19.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2555. คู่มือแนวทางปฏิบัติเพื่อการส่งออกผลไม้ไปสหรัฐอเมริกา. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 123 หน้า.
- Amadi, J.E., A.M. Omoniyi and C.S. Eze. 2009. Isolation and identification of a bacterial blotch organism from watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum and Nakai). African Journal of Agricultural Research. 4(11): 1291-1294.
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 14th Edition, AOAC, Arlington. 1141 p.
- AOAC. 1990. Vitamin C (Ascorbic Acid). Association of Official Analytical Chemists. 15th Edition, AOAC, Gaithersburg. 1298 p.
- Elmer, P.A.G., T.M. Spiers and P.N. Wood. 2007. Effect of pre-harvest foliar calcium sprays on fruit calcium levels and brown rot of peaches. Crop Protection. 26(1): 11-18.
- Hussain, P.R., R.S. Meena, M.A. Dar and A.M. Wani. 2012. Effect of post-harvest calcium chloride dip treatment and gamma irradiation on storage quality and shelf-life extension of red delicious apple. Journal of Food Science and Technology. 49(4): 415-426.
- Hassanein, R.A., E.A. Salem and A.A. Zahran. 2018. Efficacy of coupling gamma irradiation with calcium chloride and lemongrass oil in maintaining guava fruit quality and inhibiting fungal growth during cold storage. Folia Horticulturae. 30(1): 67-78.
- Huang, X.M., H.C. Wang, W.L. Zhong, W.Q. Yuan, J.M. Lu and J.G. Li. 2008. Spraying calcium is not an effective way to increase structural calcium in litchi pericarp. Scientia Horticulturae. 117(1): 39-44.
- Mahto, R. and M. Das. 2013. Effect of gamma irradiation on the physico-chemical and visual properties of mango (*Mangifera indica* L.), cv. 'Dushehri' and 'Fazli' stored at 20°C. Postharvest Biology and Technology. 86: 447-455.
- Munirah, M.S., A.R. Azmi, S.Y.C. Yong and M.Z.N.A. Izzati. 2017. Characterization of *Lasiodiplodia theobromae* and *L. pseudotheobromae* causing fruit rot on pre-harvest mango in Malaysia. Plant Pathology and Quarantine. 7(2): 202-213.
- Neilsen, G., D. Neilsen, S. Dong and P. Toivonen. 2005. Application of CaCl₂ sprays earlier in the season reduce bitter pit incidence in 'Braeburn' apple. HortScience. 40(6): 1850-1853.
- Thomidis, T. and E. Exadaktylou. 2010. Effect of boron on the development of brown rot (*Monilinia laxa*) on peaches. Crop Protection. 29(6): 572-576.
- Umroong, P. and P. Kotepong. 2019. Ultrastructure studies of fungus *Colletotrichum gloeosporioides* cause of anthracnose disease mango by microscope technique. Microscopy and Microanalysis Research. 32(2): 1-5.
- Youssef, B.M., A.A. Asker, S.K. El-Samahy and H.M. Swailam. 2002. Combined effect of steaming gamma irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature. Food Research International. 35(1): 1-13.

การพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอสนิปในยีน *Piezo-type mechanosensitive ion channel homolog (Piezo)* และประสิทธิภาพในการคัดเลือกลักษณะความต้านทาน
โรคยอดเน่าในสับปะรด

Development of SNP Marker in *Piezo-type Mechanosensitive Ion Channel Homolog (Piezo)* Gene and Efficiency Testing of the SNP Marker
in Screening for Heart Rot Disease Resistance in Pineapple

จิราพร แก่นทรัพย์^{1/*} มัลลิกา นวลแก้ว^{2/} อมรรักษ์ คัดใจเดียว^{3/} สุภาวดี จ้อเหรียญ^{1/}
Jeeraporn Kansup^{1/*} Mallika Nualkaew^{2/} Amornrat Kidjaidiew^{3/} Suphawadee Ngorian^{1/}

Received 17 May 2025/Revised 18 Jun. 2025/Accepted 24 Jul. 2025

ABSTRACT

Heart rot disease caused by fungi *Phytophthora* spp. is a major problem in pineapple production. This research was conducted to develop a primer set specific for a nonsynonymous SNP marker in the pineapple *Piezo-type mechanosensitive ion channel homolog (Piezo)* gene, S13_8307911, which exhibits nucleotide sequence differences between heart rot disease-resistant and susceptible varieties. PCR conditions were optimized to detect this SNP marker using tetra-primer ARMS-PCR technique. The efficiency of the SNP markers for selecting heart rot disease resistance was assessed in a hybrid pineapple sample set of 22 lines exhibiting resistance under natural conditions, using genotype-phenotype concordance as a measure of prediction accuracy. The results showed that SNP marker S13_8307911, compared with S6_3252739 in the *E3 ubiquitin-protein ligase MED25 binding RING-H2 protein 1* gene and S15_644992 in the *Pathogenesis-related protein-4-like* gene, exhibited marker prediction accuracies of 95.5%, 100%, and 81.8%, respectively. These findings suggest that the identified SNP markers have potential for application in marker-assisted selection of pineapple varieties resistant to heart rot disease. However, further validation in larger and genetically diverse populations is necessary to confirm their stability and predictive performance before implementation in breeding programs.

Keywords: DNA marker; SNP; heart rot disease; pineapple; tetra-primer ARMS-PCR

^{1/} สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ ถ.รังสิต-นครนายก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

^{1/} Biotechnology Research and Development Office, Rangsit-Nakhon Nayok Rd., Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

^{2/} ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี 76120

^{2/} Phetchaburi Agricultural Research and Development Center, Cha-am, Phetchaburi 76120, Thailand

^{3/} สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช 50 ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{3/} Plant Protection Research and Development Office, 50 Phahonyothin Rd, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

* Corresponding author: jkansupthdoa@gmail.com

บทคัดย่อ

โรคยอดเน่าจากเชื้อรา *Phytophthora* spp. เป็นปัญหาสำคัญในการผลิตสับปะรด เครื่องหมายดีเอ็นเอสนิปที่มีประสิทธิภาพสามารถใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ต้านทานต่อโรคยอดเน่าอย่างรวดเร็วและแม่นยำ งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการพัฒนาชุดไพรเมอร์ที่จำเพาะต่อเครื่องหมายดีเอ็นเอชนิดสนิปแบบ nonsynonymous ในยีน *Piezo-type mechanosensitive ion channel homolog (Piezo)* ของสับปะรด ตำแหน่ง S13_8307911 ที่พบว่ามีความแตกต่างของลำดับนิวคลีโอไทด์ระหว่างพันธุ์ต้านทานและพันธุ์อ่อนแอต่อโรคยอดเน่า และได้หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบเครื่องหมายดีเอ็นเอสนิปด้วยเทคนิค tetra-primer ARMS-PCR ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหมายในการคัดเลือกลักษณะความต้านทานต่อโรคยอดเน่าในกลุ่มตัวอย่างสับปะรดลูกผสม จำนวน 22 สายต้นที่แสดงลักษณะต้านทานโรคภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ โดยประเมินจากความสอดคล้องระหว่างจีโนไทป์และฟีโนไทป์ หรือความแม่นยำ พบว่าเครื่องหมายดีเอ็นเอสนิป S13_8307911 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องหมายดีเอ็นเอสนิป S6_3252739 ในยีน *E3 ubiquitin-protein ligase MED25 binding RING-H2 protein 1* และ S15_644992 ในยีน *Pathogenesis-related protein-4-like* มีความแม่นยำของเครื่องหมาย 95.5 100 และ 81.8% ตามลำดับ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าเครื่องหมายสนิปดังกล่าวมีศักยภาพสำหรับประยุกต์ใช้เพื่อการคัดเลือกพันธุ์สับปะรดต้านทานโรคยอดเน่า อย่างไรก็ตาม ควรมีการประเมินเพิ่มเติมในประชากรขนาดใหญ่และมีพื้นฐานพันธุกรรมที่หลากหลายเพื่อยืนยันความเสถียรและความแม่นยำก่อนนำไปใช้ในโปรแกรมปรับปรุงพันธุ์

คำสำคัญ: เครื่องหมายดีเอ็นเอ; สนิป; โรคยอดเน่า; สับปะรด; เติตระไพเรเมอร์ เออาร์เอ็มเอส พีซีอาร์

บทนำ

สับปะรด (*Ananas comosus* (L.) Merr.) เป็นพืชไม้ผลเมืองร้อน (tropical fruit crop) ที่สำคัญของโลก มีการผลิตทั่วโลกประมาณ 27 ล้านตัน/ปี ประเทศผู้ผลิตสำคัญ ได้แก่ คอสตาริกา ฟิลิปปินส์ บราซิล จีน อินโดนีเซีย และไทย ซึ่งมีสัดส่วนการผลิตรวมกันคิดเป็น 49.18% ของปริมาณผลผลิตโลก ในปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยว 351,841 ไร่ ผลผลิต 1.3 ล้านตัน มูลค่าส่งออกกว่า 18,309 ล้านบาท (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) แปรรูปเป็นสับปะรดกระป๋อง หรือน้ำสับปะรดเข้มข้น และบริโภคผลสด อย่างไรก็ตาม การผลิตสับปะรดในประเทศไทยมักประสบปัญหาความเสียหายที่เกิดจากโรคพืช โรคยอดเน่าจากเชื้อรา *Phytophthora* spp. การติดเชื้อในช่วงที่ต้นสับปะรดอายุน้อยจะทำให้ใบอ่อนหยุดเติบโตและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เกิดรอยโรคที่ฉ่ำน้ำและรอยเน่าที่โคนต้นทำให้ใบหลุดร่วงได้ง่าย ในกรณีที่รุนแรงการตายของต้นสับปะรดอาจสูงถึง 100% (Ratti et al., 2018) หากติดเชื้อในช่วงที่ต้นสับปะรดโตเต็มที่ จะทำให้ผลเน่า (Serrato-Diaz et al., 2022)

Leelasethakul (1972) รายงานการเกิดโรคยอดเน่าในสับปะรดครั้งแรกในประเทศไทย โดยมีสาเหตุจากเชื้อรา *Phytophthora parasitica* ซึ่งพบการระบาดในพันธุ์ที่ปลูกเชิงการค้าในขณะนั้น โดยเฉพาะกลุ่มพันธุ์ปัตตาเวียที่เป็นพันธุ์หลักของประเทศ ทั้งนี้ ความรุนแรงของโรคมียากแตกต่างกันตามพันธุ์สับปะรด โดยมีรายงานว่าพันธุ์ MD2 ซึ่งเป็นพันธุ์บริโภคสดที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศ มีความอ่อนแอต่อโรคยอดเน่า (Sanewski et al.,

2016) ซึ่งพันธุ์ MD2 และพันธุ์ MG3 เป็นสับปะรดลูกผสมที่เกิดจากสายพันธุ์พ่อแม่เดียวกัน ขณะที่พันธุ์อินทรชิตขาวและพันธุ์อินทรชิตแดง (Singapore Spanish) ซึ่งเป็นพันธุ์พื้นเมืองเก่าแก่ของประเทศไทย (จารุพันธ์, 2526) และมีรายงานว่าพันธุ์ดังกล่าวมีความต้านทานต่อโรคยอดเน่า (จารุพันธ์, 2526; Clark and Finn, 2010)

นักวิจัยได้พยายามปรับปรุงพันธุ์สับปะรดเพื่อเพิ่มความต้านทานต่อโรคยอดเน่า อย่างไรก็ตามการประเมินลักษณะความต้านทานในสภาพแปลงปลูกต้องใช้ระยะเวลานานและได้รับอิทธิพลจากปัจจัยแวดล้อม ดังนั้น การพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอที่สัมพันธ์กับลักษณะความต้านทานจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการคัดเลือกพันธุ์โดยใช้เทคนิค marker-assisted selection (MAS) (Collard and Mackill, 2008)

จิราพรและคณะ (2566) ได้วิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของจีโนมสับปะรดด้วยวิธี genotyping-by-sequencing (GBS) และนำข้อมูลผลการวิเคราะห์มาค้นหาตำแหน่งที่ให้ความแตกต่างของลำดับนิวคลีโอไทด์ระหว่างสับปะรดกลุ่มพันธุ์ต้านทานและกลุ่มพันธุ์อ่อนแอต่อโรคยอดเน่า โดยเลือกเฉพาะตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงของนิวคลีโอไทด์หนึ่งเบส (single nucleotide polymorphism, SNP) หรือเรียกว่า สนิป ที่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มพันธุ์และเป็นฮอโมไซกัส จากการคัดกรองพบ สนิปจำนวนมาก และเมื่อพิจารณาเฉพาะตำแหน่ง สนิป แบบ nonsynonymous ที่เป็นการเปลี่ยนแปลงนิวคลีโอไทด์ที่ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงกรดอะมิโนพบเครื่องหมายดีเอ็นเอชนิดสนิป จำนวน 14 ตำแหน่งใน 9 ยีน เช่น ยีน *E3 ubiquitin-protein ligase MED25 binding RING-H2 protein 1 (MBR1)*

(รหัส LOC109711953) ที่ตำแหน่งสนิป S6_3252739 และยีน *Pathogenesis-related protein-4-like (PR-4)* (รหัส LOC109720991) ที่ตำแหน่งสนิป S15_644992 ซึ่งทั้งสองยีนมีบทบาทโดยตรงในกระบวนการป้องกันโรคของพืช (Duplan and Rivas, 2014; Ali et al., 2018) โดยมีการพัฒนาไพรเมอร์และหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบเครื่องหมายสนิป S6_3252739 และ S15_644992 ด้วยเทคนิค tetra-primer amplification refractory mutation system-polymerase chain (tetra-primer ARMS-PCR) แล้ว นอกจากนี้ ยังพบเครื่องหมายสนิปในยีน *Piezo-type mechanosensitive ion channel homolog (Piezo)* (รหัส LOC109719476) ซึ่งเป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้แรงเชิงกลและการส่งสัญญาณภายในเซลล์ โดยมีรายงานว่าอาจมีบทบาทเชื่อมโยงกับกระบวนการตอบสนองต่อความเครียดและการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคในพืช แม้จะเป็นบทบาททางอ้อม (Kim and Hyun, 2023) อย่างไรก็ตามบทบาทของยีน *Piezo* ต่อความต้านทานโรคยอดเน่าในสับปะรดยังไม่มีรายงานอย่างชัดเจน จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจสำหรับการศึกษาเพิ่มเติมและการพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลเพื่อใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาชุดไพรเมอร์ที่จำเพาะต่อเครื่องหมายสนิปในยีน *Piezo* และหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบด้วยเทคนิค tetra-primer ARMS-PCR นอกจากนี้ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหมายสนิป S13_8307911 เปรียบเทียบกับเครื่องหมายที่มีรายงานก่อนหน้านี้ ได้แก่ เครื่องหมายสนิป S6_3252739 ในยีน *E3 ubiquitin-protein ligase MED25 binding RING-H2 protein 1* และ S15_644992 ในยีน *Pathogenesis-related protein-4-like*

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การค้นหาเครื่องหมายสนิป

สกัดดีเอ็นเอของสับปะรดกลุ่มพันธุ์ต้านทานต่อโรคยอดเน่า ได้แก่ พันธุ์อินทรีชิตขาว และพันธุ์อินทรีชิตแดง และกลุ่มพันธุ์อ่อนแอต่อโรคยอดเน่า ได้แก่ พันธุ์ MD2 และพันธุ์ MG3 ส่งวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของจีโนมสับปะรดด้วยวิธี GBS บริษัท Novogene (China) (<https://www.novogene.com/amea-en>) นำข้อมูลผลการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์มาค้นหาตำแหน่งที่ให้ความแตกต่างของลำดับนิวคลีโอไทด์ระหว่างสับปะรดกลุ่มพันธุ์ต้านทานและกลุ่มพันธุ์อ่อนแอต่อโรคยอดเน่า โดยเลือกเฉพาะตำแหน่งสนิปที่เป็นฮอโมไซกัสและมีความแตกต่างระหว่างกลุ่มพันธุ์ ตามวิธีการของจีราพรและคณะ (2566) และออกแบบไพรเมอร์สำหรับใช้ตรวจสอบเครื่องหมายสนิปดังกล่าว

2. การออกแบบไพรเมอร์และศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของเครื่องหมายสนิป S13_8307911

นำข้อมูลเครื่องหมายสนิป S13_8307911 และลำดับนิวคลีโอไทด์ของจีโนมบริเวณใกล้เคียงไปใช้ในการออกแบบไพรเมอร์ของเครื่องหมายสนิปสำหรับการตรวจสอบด้วยเทคนิค tetra-primer ARMS-PCR โดยใช้โปรแกรม Primer1 (<http://primer1.soton.ac.uk/primer1.html>) ซึ่ง 1 ตำแหน่งของเครื่องหมายสนิปใช้ไพรเมอร์จำนวน 4 เส้นในการตรวจสอบ ประกอบด้วย outer forward primer (OF) outer reverse primer (OR) inner forward primer (IF) และ inner reverse primer (IR) ดัง Table 1

ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของการตรวจสอบเครื่องหมายสนิปด้วยปฏิกิริยาพีซีอาร์โดยใช้ GoTaq® green master mix (Promega, USA) ในปริมาตรทั้งหมด 20 ไมโครลิตร

ประกอบด้วยดีเอ็นเอปริมาณ 50 นาโนกรัม 1X GoTaq® green master mix ไพรเมอร์ OF 0.25 μ M ไพรเมอร์ OR 0.25 μ M ไพรเมอร์ IF 0.25 μ M และไพรเมอร์ IR 0.25 μ M ปรับปริมาตรให้ครบด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำสารที่ผสมแล้วเข้าเครื่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติยี่ห้อ GeneAmp® PCR System 9700 (Applied Biosystems) กำหนดอุณหภูมิของ annealing 3 ค่า ดังนี้ 55 60 และ 65°C. โดยใช้โปรแกรมดังต่อไปนี้ predenature ที่ 95°C. 2 นาที ตามด้วย 3 steps cycling จำนวน 35 รอบ กำหนดอุณหภูมิ ดังนี้ denature ที่ 94°C. 40 วินาที annealing ที่ 55 60 และ 65°C. 40 วินาที (เพื่อหาอุณหภูมิ annealing ที่เหมาะสม) extension ที่ 72°C. 30 วินาที และ final extension ที่ 72°C. 5 นาที 1 รอบ ตรวจวิเคราะห์แถบดีเอ็นเอด้วยเทคนิคอิเล็กโตรโฟรีซิส ในอะกาโรสเจลเข้มข้น 2.5%

3. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหมายสนิปในการคัดเลือกลักษณะความต้านทานต่อโรคยอดเน่า

ตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องหมายสนิป S13_8307911 โดยเปรียบเทียบกับเครื่องหมายสนิป 2 เครื่องหมาย ได้แก่ S6_3252739 และ S15_644992 ด้วยเทคนิค tetra-primer ARMS-PCR ในการคัดเลือกหรือระบุความต้านทานต่อโรคยอดเน่าในสับปะรดลูกผสมที่แสดงลักษณะต้านทานโรคในแปลงปลูกตามธรรมชาติ 22 สายต้น ได้แก่ PB54-028-002, PB54-028-015, PBB59-009-007, PB59-001-043, PB59-002-010, PB59-002-017, PB59-003-003, PB59-003-070, PB59-005-031, PB59-005-056, PB59-007-021, PB59-007-033, PB59-013-011, PB59-015-010, PB59-015-036, PB59-020-023, PB59-020-104, PB59-025-010, PB59-026-024, PB59-027-004, PB59-032-012 และ PB59-044-002

เก็บตัวอย่างใบของสับปะรดลูกผสมมาสกัด ดีเอ็นเอโดยวิธี cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) (Devi et al., 2013) นำดีเอ็นเอมาตรวจสอบคุณภาพและวัดความเข้มข้นด้วยเครื่องวัดปริมาณสารพันธุกรรม Biodrop (UK) ปรับความเข้มข้นเป็น 50 นาโนกรัม/ไมโครลิตร สำหรับใช้ทำปฏิกิริยาพีซีอาร์ด้วยชุดไพรเมอร์ของเครื่องหมายสนิปแต่ละเครื่องหมาย (Table 1) ส่วนประกอบของปฏิกิริยาและขั้นตอนการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป็นไปตามที่

อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2 โดยใช้อุณหภูมิ annealing ที่ 65 °C และ 60 °C. สำหรับเครื่องหมาย S13_8307911, S6_3252739 และ S15_644992 ตามลำดับ ตรวจสอบวิเคราะห์แถบดีเอ็นเอด้วยเทคนิคอิเล็กโตรโฟรีซิสในอะกาโรสเจล 2.5% จากนั้นวิเคราะห์ความสอดคล้องเปรียบเทียบระหว่างเครื่องหมายสนิป และลักษณะความต้านทานต่อโรคยอดเน่าเพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องหมายสนิปแต่ละเครื่องหมายในการคัดเลือกหรือระบุลักษณะความต้านทานต่อโรคยอดเน่า

Table 1 Primers used in the tetra-primer ARMS-PCR for detection of SNP S13_8307911, S6_3252739 and S15_644992

SNP position		Primer set and sequences		Product size
S13_8307911	S13-OF	5' TGCTCAATGGGACAGCTAATAGCTTTAG 3'		Control fragment: 419 bp
	S13-OR	5' TATTTGTTAAACTTCTCACACGCATGC 3'		
	S13-IF	5' CATGCAGGTAGATTGAGTTAGCGTCA 3'		A allele: 204 bp
	S13-IR	5' GAGGAGTCCCATTGTTCATAACAAGTTC 3'		G allele: 269 bp
S6_3252739 (จีราพรและคณะ, 2566)	S6-OF	5' AATTGACCTATGAGGTTGTCGACATGCT 3'		Control fragment: 315 bp
	S6-OR	5' GGAAACGAGAAAGGAAAAGAAATGTGAAA 3'		
	S6-IF	5' TTTCAATTTCTTGATCAGCATCGCGA 3'		A allele: 164 bp
	S6-IR	5' TGACATATTATCTATGTCCATTCTCAGGC 3'		G allele: 207 bp
S15_644992 (จีราพรและคณะ, 2566)	S15-OF	5' GACAAACACAGCAACAGGAGCACAAG 3'		Control fragment: 282 bp
	S15-OR	5' TGCGCATAGAAAAGCTTTTATTGCATTT 3'		
	S15-IF	5' GACCAGCTAGACACTAATGGACAAGACT 3'		T allele: 195 bp
	S15-IR	5' AGTCGACGATGAGATAGCCGTTGGCGAC 3'		G allele: 143 bp

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การค้นหาเครื่องหมายสนิป

ผลการวิเคราะห์ GBS จาก 4 ตัวอย่างพันธุ์ ได้ข้อมูลสนิปทั้งหมด 532,359 ตำแหน่ง เมื่อเลือกเฉพาะตำแหน่งสนิปที่เป็นฮอโมไซกัสและมีความแตกต่างระหว่างกลุ่มพันธุ์ ได้ 12,579 ตำแหน่ง จากนั้นเลือกเฉพาะตำแหน่งสนิปแบบ nonsynonymous ได้ 14 ตำแหน่งใน 9 ยีน เช่น ยีน *MBR1* (รหัส LOC109711953) ที่ตำแหน่งสนิป S6_3252739 และยีน *PR-4*

(รหัส LOC109720991) ที่ตำแหน่งสนิป S15_644992 ซึ่งทำหน้าที่ในระบบต้านทานโรคของพืชโดยตรง (จีราพรและคณะ, 2566) นอกจากนี้ ยังพบเครื่องหมายสนิปในยีน *Piezo* (รหัส LOC109719476) ที่มีรายงานว่าเกี่ยวข้องกับระบบต้านทานโรคเช่นเดียวกันแม้เป็นแบบโดยอ้อม

เครื่องหมายสนิปในยีน *Piezo* อยู่ตำแหน่งที่ 8,307,911 บนโครโมโซมที่ 13 (S13_8307911) จากฐานข้อมูล *Ananas comosus* reference genome

ASM154086v1 โดยสับประตกลุ่มพันธุ์ต้านทานต่อโรคยอดเน่า ได้แก่ พันธุ์อินทรชิตขาว และพันธุ์อินทรชิตแดง มีจีโนมไทป์ชนิดฮอโมไซกัส แอลลีล AA ขณะที่กลุ่มพันธุ์อ่อนแอต่อโรคยอดเน่า ได้แก่ พันธุ์ MD2 และ MG3 มีจีโนมไทป์ชนิดฮอโมไซกัส แอลลีล GG โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงกรดอะมิโนจากแอสพาราจีน (asparagine, Asn/N) ซึ่งมีสมบัติทางเคมีเป็นไฮโดรฟิลิก โมเลกุลแสดงควมมีขั้วแต่ไม่มีประจุในโมเลกุล กลายเป็นกรดแอสปาร์ติก (aspartic acid, Asp/D) ที่มีสมบัติทางเคมีเป็นกรด โมเลกุลแสดงควมมีขั้ว พร้อมทั้งมีประจุในโมเลกุลด้วย (Table 2)

ยีน *Piezo* แปรรหัสเป็นโปรตีนช่องไอออนที่ไวต่อแรงกด ทำหน้าที่รับรู้การกระตุ้นทางกลที่ส่งตรงไปยังเยื่อหุ้มเซลล์หรือโดยอ้อมผ่านส่วนประกอบที่ยึดติดอยู่ ทำให้เกิดการตอบสนองทางกลของเซลล์ ช่องไอออนนี้ Ca^{2+} สามารถซึมผ่านได้ (Kim and Hyun, 2023) โปรตีน *Piezo* ในสัตว์มีบทบาทสำคัญในการเป็นสื่อกลางก่อมะเร็งในเนื้อเยื่อหลายชนิด ทำหน้าที่ควบคุมการแพร่กระจาย การอพยพ และการบุกรุกของเซลล์มะเร็งผ่านกลไกต่าง ๆ (Yu and Liao, 2021) และ *Piezo* มีบทบาทสำคัญในการตายของเซลล์ที่ขึ้นอยู่กับการ Ca^{2+} เนื่องจากภาวะสมดุลของ

ไอออนภายในเซลล์ที่ผิดปกติส่งผลให้เกิดการตายของเซลล์โดยกระตุ้นให้เซลล์หดตัว (apoptosis) หรือการบวม (necrosis) (Kunzelmann, 2016) ในพืชต้นแบบ *Arabidopsis thaliana* และมอส *Physcomitrium patens* โปรตีน *Piezo* ได้รับการพิสูจน์ว่ามีตำแหน่งอยู่บนเยื่อหุ้มพลาสมาและเยื่อหุ้มแวคิวโอล (vacuole) และมีส่วนร่วมในการควบคุมสัญญาณวิทยาของรากและแวคิวโอล (Heng et al., 2021) นอกจากนี้ Zhang et al. (2019) รายงานว่า *AtPiezo* ยับยั้งการติดเชื้อไวรัสแบบ systemic ใน *A. thaliana* โดยพืชพันธุ์กลาย (mutant) ที่มียีน *AtPiezo* ผิดปกติจะแสดงการติดเชื้อ cucumber mosaic virus (CMV) และ turnip mosaic virus (TuMV) มากกว่าพืชปกติ (wild type) อีกทั้งเมื่อใช้เชื้อไวรัส TuMV ที่ได้รับการตัดต่อพันธุ์กรรมติดฉลากโปรตีนสีเขียวเรืองแสง (green fluorescent protein, GFP) สำหรับติดตามการแพร่กระจายของไวรัสภายในต้นพืชพบว่า ในพืชพันธุ์กลายจะมีการแพร่กระจายของไวรัสได้เร็วกว่าในพืชปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายีน *AtPiezo* มีส่วนเกี่ยวข้องในการจำกัดการแพร่กระจายของไวรัสภายในพืช อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับกลไกการยับยั้งดังกล่าว จำเป็นต้องมีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมต่อไป

Table 2 Nucleotide and amino acid variation of SNP S13_8307911 in the *Piezo* gene between heart rot-resistant and susceptible pineapple varieties

Nucleotide and amino acid change	Heart rot disease resistant variety		Heart rot disease susceptible variety	
	Intorachit Khaw	Intorachit Daeng	MD2	MG3
SNP	AA	AA	GG	GG
Amino acid	Asparagine	Asparagine	Aspartic acid	Aspartic acid

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอจากไพรเมอร์ที่ออกแบบได้

ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจสอบเครื่องหมาย SNP S13_8307911 ในยีน

Piezo พบว่า อุณหภูมิ annealing ที่เหมาะสม คือ 65°C. แสดงแถบดีเอ็นเอเป้าหมายที่ชัดเจนและมีแถบดีเอ็นเอที่ไม่จำเพาะปรากฏน้อยที่สุด (Figure 1C และ Figure 2) ในกลุ่มพันธุ์ต้านทานต่อโรคยอดเน่าที่

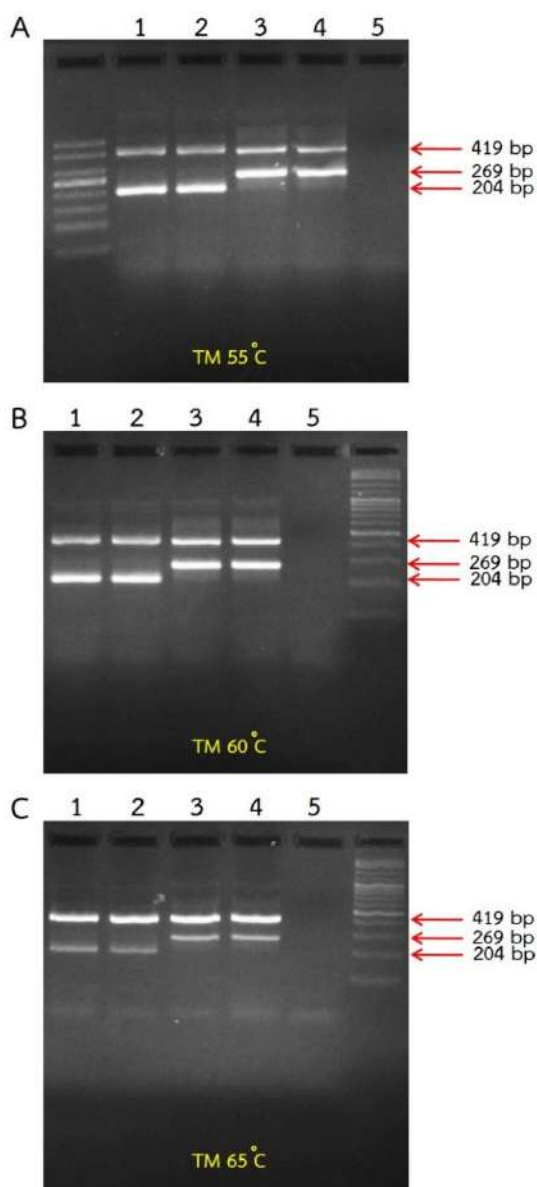


Figure 1 DNA amplification with primer of S13_8307911 marker using tetra-primer ARMS-PCR technique with each annealing temperature. The PCR was conducted in pineapple varieties Intorachit Khaw (lane 1), Intorachit Deang (lane 2), MD2 (lane 3), MG3 (lane 4) and distilled water as a negative control (lane 5). The annealing temperature in PCR was optimized among 55 (A), 60 (B) and 65 (C) degrees Celsius

มีจีโนไทป์ชนิดฮอโมไซกัส แอลลีล AA ปรากฏแถบ ดีเอ็นเอขนาด 419 คู่เบสที่เป็นแถบดีเอ็นเอควบคุม และขนาด 204 คู่เบสที่เป็นแถบดีเอ็นเอจากแอลลีล A (Figure 2 lane 9, 10) ขณะที่กลุ่มพันธุ์อ่อนแอที่มี จีโนไทป์ชนิดฮอโมไซกัส แอลลีล GG ปรากฏแถบ ดีเอ็นเอขนาด 419 คู่เบสที่เป็นแถบดีเอ็นเอควบคุม และขนาด 269 คู่เบสที่เป็นแถบดีเอ็นเอจากแอลลีล G (Figure 2 lane 11, 12)

3. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหมายสนิป ในการคัดเลือกลักษณะความต้านทานต่อโรคยอดเน่า

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหมาย สนิปนี้ พิจารณาจากความแม่นยำของเครื่องหมาย (marker accuracy) หรือความสอดคล้องระหว่าง จีโนไทป์ที่ตรวจพบจากเครื่องหมายโมเลกุลกับ ลักษณะฟีโนไทป์ความต้านทานโรคที่ปรากฏจริงใน แปลงปลูก ค่าดังกล่าวสะท้อนถึงความสามารถของ เครื่องหมายในการทำนายลักษณะทางพันธุกรรมที่ แสดงออกในพืช ผลการตรวจสอบจีโนไทป์ ของ เครื่องหมายสนิป 3 เครื่องหมาย ได้แก่ S13_8307911, S6_3252739 และ S15_644992 แสดงใน Figure 3 และ Table 3 เครื่องหมาย S13_8307911 ในยีน *Piezo* ตรวจพบแอลลีล A ซึ่งสัมพันธ์กับความต้านทานใน กลุ่มตัวอย่างลูกผสม 21 จาก 22 สายต้น คิดเป็น ความสอดคล้องระหว่างจีโนไทป์และฟีโนไทป์ 95.5% เครื่องหมาย S6_3252739 ในยีน *MBR1* พบแอลลีล ต้านทานในลูกผสมทั้ง 22 สายต้น (100%) ขณะที่ เครื่องหมาย S15_644992 ในยีน *PR-4* ตรวจพบแอลลีล ต้านทานใน 18 สายต้น คิดเป็น 81.8%

เมื่อพิจารณาค่าความแม่นยำของเครื่องหมาย พบว่า S6_3252739 มีค่าความแม่นยำสูงสุด รองลงมา คือ S13_8307911 และ S15_644992 ตามลำดับ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานในพืชชนิดอื่น เช่น Ige et al. (2021) และ Codjia et al. (2022)

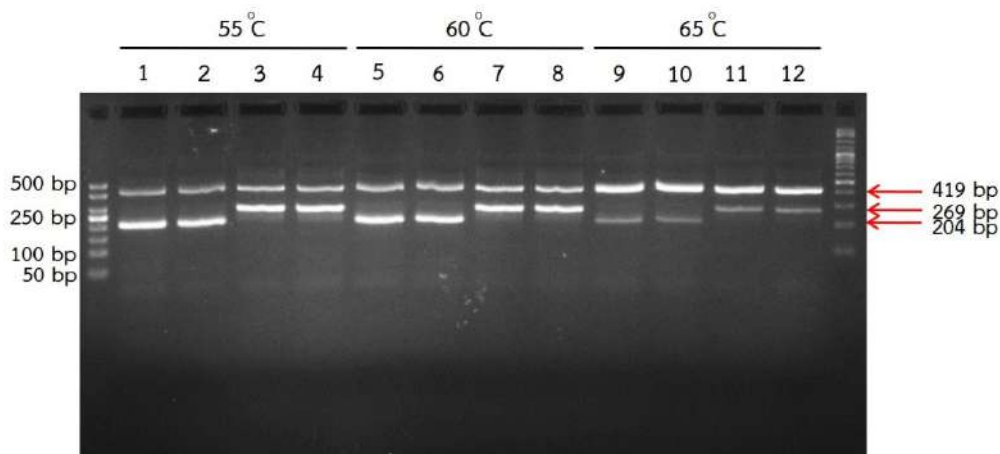


Figure 2 DNA amplification with primer of S13_8307911 marker using tetra-primer ARMS-PCR technique compared among different annealing temperature 55, 60 and 65 degrees Celsius. The PCR was conducted in pineapple varieties Intorachit Khaw (lane 1, 5, 9), Intorachit Deang (lane 2, 6, 10), MD2 (lane 3, 7, 11) and MG3 (lane 4, 8, 12). Using primer of S13_8307911 marker, the control fragment is 419-bp-band. The A allele is represented by 204-bp-band and found in heart rot disease resistant varieties, while the G allele is represented by 269-bp-band and found in heart rot disease susceptible varieties

ซึ่งรายงานค่าความแม่นยำของเครื่องหมาย 77–80% สำหรับเครื่องหมายต้านทานโรคใบด่างในมันสำปะหลัง แม้ว่าเครื่องหมายสนิปทั้งหมดในการศึกษานี้จะเป็น การเปลี่ยนแปลงแบบ nonsynonymous ซึ่งอาจส่งผล ต่อการเปลี่ยนแปลงกรดอะมิโนของโปรตีนโดยตรง อย่างไรก็ตาม สนิปดังกล่าวอาจไม่ใช่ตำแหน่งกลายพันธุ์ ที่เป็นสาเหตุหลักของลักษณะ (causal mutation) แต่เป็นเพียงตำแหน่งที่อยู่ใกล้หรือมีความสัมพันธ์ กับยีนที่ควบคุมลักษณะ ดังนั้น ความแตกต่างของค่า ความแม่นยำในการพยากรณ์ระหว่างเครื่องหมายอาจ สะท้อนระดับความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่าง เครื่องหมายกับยีนที่ควบคุมลักษณะ ในบางกรณี เครื่องหมายและยีนดังกล่าวอาจไม่ได้ถ่ายทอดร่วมกัน อย่างสมบูรณ์ในกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา ส่งผลให้ความ สอดคล้องระหว่างจีโนไทป์และฟีโนไทป์ลดลง นอกจากนี้ ความต้านทานต่อโรคยอดเน่าอาจเป็น

ลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative trait) ที่ถูกควบคุม โดยหลายยีนร่วมกัน ส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่าง จีโนไทป์และฟีโนไทป์ของเครื่องหมายแต่ละตำแหน่ง แตกต่างกัน การใช้เครื่องหมายหลายตำแหน่งร่วมกัน อาจช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคัดเลือกพันธุ์ได้

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ดำเนินการทดสอบ ในกลุ่มตัวอย่าง 22 สายต้น ซึ่งยังมีขนาดจำกัดและ อาจไม่ครอบคลุมความหลากหลายทางพันธุกรรม ทั้งหมด ดังนั้น ควรมีการประเมินเพิ่มเติมในประชากร ขนาดใหญ่และมีพื้นฐานพันธุกรรมที่หลากหลาย เช่น สายต้นลูกผสมจำนวน 300 สายต้นจากหลายคู่ผสม ร่วมกับการใช้วิธีปลูกเชื้อแบบซูโอสปอร์ (zoospore inoculation) ของเชื้อรา *Phytophthora* spp. เพื่อ ยืนยันเสถียรภาพของเครื่องหมายก่อนการประยุกต์ใช้ ในโปรแกรมปรับปรุงพันธุ์อย่างเหมาะสม

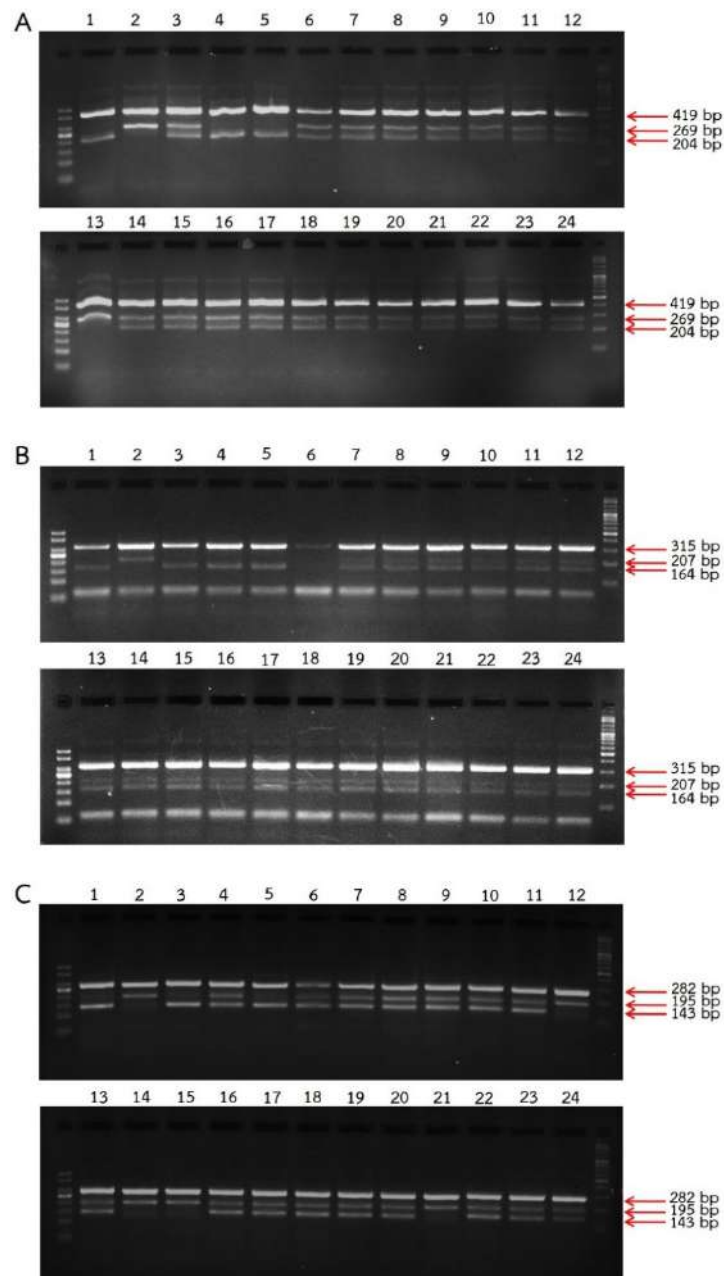


Figure 3 DNA amplification with primers of S13_8307911 (A), S6_3252739 (B) and S15_644992 (C) markers using tetra-primer ARMS-PCR technique. The PCR was conducted in Intorachit Khaw (lane 1), MG3 (lane 2) and hybrid population of 22 lines exhibiting heart rot disease resistance phenotypes in natural field settings (lane 3–24)

สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของจีโนม สับปรดจาก 4 ตัวอย่างพันธุ์โดยใช้วิธี genotyping-by-sequencing พบเครื่องหมายดีเอ็นเอชนิดแบบ

nonsynonymous ที่ให้ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม พันธุ์ต้านทาน และกลุ่มพันธุ์อ่อนแอต่อโรคยอดเน่าใน สับปรดในยีน *Piezo* ที่ตำแหน่ง S13_8307911 และได้ ทำการพัฒนาชุดไพรเมอร์สำหรับตรวจสอบเครื่องหมาย

Table 3 Genotype of SNP markers S13_8307911, S6_3252739 and S15_644992 in hybrid population of 22 lines exhibiting heart rot disease resistance phenotypes in natural field settings

Lane	Variety/hybrid name	S13_8307911	S6_3252739	S15_644992
1	Intorachit Khaw (heart rot disease resistant)	AA	AA	GG
2	MG3 (heart rot disease susceptible)	GG	GG	TT
3	PB54-028-002	AG	AA	GG
4	PB54-028-015	AA	AA	GT
5	PBB59-009-007	AA	AA	GG
6	PB59-001-043	AG	AA	GT
7	PB59-002-010	AG	AG	GT
8	PB59-002-017	AG	AG	GT
9	PB59-003-003	AG	AG	GT
10	PB59-003-070	AG	AG	GT
11	PB59-005-031	AG	AG	GT
12	PB59-005-056	AG	AG	TT
13	PB59-007-021	GG	AG	GT
14	PB59-007-033	AG	AG	TT
15	PB59-013-011	AG	AG	TT
16	PB59-015-010	AG	AG	GT
17	PB59-015-036	AG	AG	GT
18	PB59-020-023	AG	AG	GT
19	PB59-020-104	AG	AG	GT
20	PB59-025-010	AG	AG	GT
21	PB59-026-024	AG	AG	TT
22	PB59-027-004	AG	AG	GT
23	PB59-032-012	AG	AG	GT
24	PB59-044-002	AG	AG	GT

สนิปดังกล่าวด้วยเทคนิค tetra-primer ARMS-PCR พร้อมทั้งหาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหมายในการคัดเลือกลักษณะความต้านทานต่อโรคยอดเน่าในกลุ่มตัวอย่าง 22 สายต้น ซึ่งแสดงฟีโนไทป์ต้านทานในสภาพแปลงปลูกตามธรรมชาติ พบว่าเครื่องหมาย S13_8307911 (ในยีน *Piezo*) มีความแม่นยำของเครื่องหมาย 95.5% ขณะที่เครื่องหมาย S6_3252739 (ในยีน *E3 ubiquitin-protein ligase MED25 binding RING-H2 protein 1*) และ S15_644992 (ในยีน *Pathogenesis-related protein-4-like*) มีความ

แม่นยำของเครื่องหมาย 100% และ 81.8% ตามลำดับ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการประยุกต์ใช้สำหรับการคัดเลือกพันธุ์สับปรดต้านทานโรคยอดเน่า

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

จารุพันธ์ ทองแถม. 2526. สับปรดและอุตสาหกรรมสับปรดในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 158 หน้า.

จิราพร แก่นทรัพย์ มัลลิกา นวลแก้ว อมรรักษ์ คัดใจเดียว สุภาวดี จ้อเหรียญ รัชสิมันต์ ธีระวงศ์ภิญโญ และ ภรณ์ สว่างศรี. 2566. การพัฒนาเครื่องหมายดีเอ็นเอสนิป ในยีน *E3 ubiquitin- protein ligase MBR1* และยีน *pathogenesis-related protein PR-4-like* ที่เกี่ยวข้องกับ ความต้านทานโรคเน่าในสับปะรด, หน้า 1-9. ใน: การประชุม วิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 20, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. สถานการณ์สินค้า เกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2567. สำนักงาน เศรษฐกิจการเกษตร, กรุงเทพฯ. 238 หน้า.

Ali, S., B.A. Ganai, A.N. Kamili, A.A. Bhat, Z.A. Mir, J.A. Bhat, A. Tyagi, S.T. Islam, M. Mushtaq, P. Yadav, S. Rawat and A. Grover. 2018. Pathogenesis-related proteins and peptides as promising tools for engineering plants with multiple stress tolerance. *Microbiological Research*. 212-213: 29-37.

Clark, J.R. and C.E. Finn. 2010. Register of new fruit and nut cultivars list 45. *HortScience*. 45(5): 716–756.

Codjia, E.D., B. Olasanmi, P.A. Agre, R. Uwugiaren, A.D. Ige and I.Y. Rabbi. 2022. Selection for resistance to cassava mosaic disease in African cassava germplasm using single nucleotide polymorphism markers. *South African Journal of Science*. 118: 11607.

Collard, B.C.Y. and D.J. Mackill. 2008. Marker-assisted selection: An approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 363(1491): 557–572.

Devi, K.D., K. Punyarani, N.S. Singh and H.S. Devi. 2013. An efficient protocol for total DNA extraction from the members of order Zingiberales-suitable for diverse PCR based downstream applications. *SpringerPlus*. 2(1): 669.

Duplan, V. and S. Rivas. 2014. E3 ubiquitin-ligases and their target proteins during the regulation of plant innate immunity. *Frontiers in Plant Science*. 5: 42.

Heng, H., H. Guoqiang, S. Jin, Z. Fengli and Z. Dabing. 2021. Bioinformatics analysis for Piezo in rice. *Reproduction and Breeding*. 1(2): 108-113.

Ige, A.D., B. Olasanmi, E.G.N. Mbanjo, I.S. Kayondo, E.Y. Parkes, P. Kulakow, C. Egesi, G.J. Bauchet, E. Ng, L.A.B. Lopez-Lavalle, H. Ceballos and I.Y. Rabbi. 2021. Conversion and validation of uniplex SNP markers for selection of resistance to cassava mosaic disease in cassava breeding programs. *Agronomy*. 11: 420.

Kunzelmann, K. 2016. Ion channels in regulated cell death. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 73(11): 2387–2403.

Kim, Y.J. and J. Hyun. 2023. Mechanosensitive ion channels in apoptosis and ferroptosis: Focusing on the role of Piezo1. *BMB Reports*. 56(3): 145-152.

Leelasetthakul, K. 1972. Pineapple Disease. Office of Agriculture Thailand, Bangkok.

Ratti, M.F., M.S. Ascunce, J.J. Landivar and E.M. Goss. 2018. Pineapple heart rot isolates from Ecuador reveal a new genotype of *Phytophthora nicotianae*. *Plant Pathology*. 67(8): 1803-1813.

Sanewski, G., L. Ko, J. DeFaveri and A. Kilian. 2016. Genetic resistance to the root rot pathogen *Phytophthora cinnamomi* in *Ananas*. pp. 281-286. In: XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): IV 1111.

Serrato-Diaz, L., L. Simbana, Y. Vélez-Negrón and L. Vargas. 2022. Detection and incidence of pineapple heart rot disease caused by *Phytophthora nicotianae* in commercial farms of Puerto Rico. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*. 106(2): 233-246.

Yu, J.L. and H.Y. Liao. 2021. Piezo-type mechanosensitive ion channel component 1 (Piezo1) in human cancer. *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 140: 111692.

Zhang, Z., X. Tong, S.Y. Liu, L.X. Chai, F.F. Zhu, X.P. Zhang, J.Z. Zou and X.B. Wang. 2019. Genetic analysis of a Piezo-like protein suppressing systemic movement of plant viruses in *Arabidopsis thaliana*. *Scientific Reports*. 9(1): 3187.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

การส่งต้นฉบับ:

ผู้เขียนต้องส่งต้นฉบับผ่านทาง Online submission เท่านั้น ที่: 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 สกุล¹ (ผู้แต่งคนที่ 1) **ชื่อ สกุล²** (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 รวมทั้งอ้างถึงผลการทดลองของผู้อื่น (จากเอกสารอ้างอิงในบทนำ หรืออุปกรณ์และวิธีการ) เพื่อสนับสนุนหรือคัดค้านผลการทดลองนั้น ๆ

ตาราง: ชื่อตารางและรายละเอียดเป็นภาษาอังกฤษ เรียงตั้งแต่ Table 1 เป็นต้นไป

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

สรุปผลการทดลอง: สรุปสาระที่สำคัญของผลการทดลอง คำแนะนำในการนำไปใช้ประโยชน์ และข้อเสนอแนะในงานวิจัยเรื่องนั้น ๆ ในอนาคต (ถ้ามี)

คำขอบคุณ: กล่าวถึงบุคคลและหน่วยงานที่ช่วยเหลืองานวิจัยและทดลอง

เอกสารอ้างอิง: ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง ตามตัวอย่าง

1. การตรวจเอกสาร ในเรื่องของบทนำหรือ อุปกรณ์และวิธีการ หรือ ผลการทดลอง

ตัวอย่างการเขียน

- โกศล (2523) หรือ (โกศล, 2523)
- อิมจิตและคณะ (2535) หรือ (อิมจิตและคณะ, 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 กำกับในเนื้อเรื่องที่ย่างถึงก่อนและหลังตามลำดับ

2.2 ประเภทของเอกสาร

ก. ตำรา

ชื่อผู้แต่ง. ปี. ชื่อหนังสือ. ชื่อสำนักพิมพ์ จังหวัด. จำนวนหน้า.

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

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

ข. วารสาร Newsletter และ Bulletin

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

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

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

ค. รายงานประจำปี

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

กรทอง จันทน์ อำนวย ทองดี และบรรจง ลิกษะมณฑล. 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 พัทธ์ เทื่อนจิตต์ สัตยาวิรุทธิ์ และสาทร ลีสิงห์. 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: 2nd Princess Chulabhorn Science Congress. Nov. 2-6, 1992. Bangkok.

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

ฉ. สื่อวิชาการทาง Website

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

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

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

Thai Agricultural Research Journal

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

Advisors

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

Editor

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

Assistant Editors

Walaiporn Sasiprapa	Retired government official
Kanchana Pruesapan, Ph.D.	Plant Varieties Protection Office, DOA
Sainum Uduay, Ph.D.	Agricultural Production Science Research and Development Division, DOA

Editorial Board

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
Vichanee Ormzubsin	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 44 No. 1

January - April 2026

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

CONTENTS

EDITORIAL.....1

Suprada Sukonthabhirom na Pattalung

RESEARCH PAPERS

- Phylogenetic Characterization of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Complex
Causing Banana Wilt Disease in Thailand 2
Chanintorn Doungsa-ard Wanwisa Pet-amphai Suneerat Seemadua Manorat Sudsanguan
Amonrat Kitjaideaw Pornsiri Bunphum Tarntip Passabut Suttinee Likhitrakulrung
Pornpimon Athipunyakom Nuttima Kositcharoenkul
- Kluai Namwa Variety DOA Sukhothai1 14
Penchan Sutthanukul Uthaiwan Supkaew Runglawan Intawong Supaporn Sachati
Eakpol Phuvarartnarubal Areerat Prapet
- Comparison of High-yield Industrial Pineapple Lines 26
Mallika Nualkaew Nareerat Choochuay Kiranun Mohpraman Anuwat Kumpeangkaew
- Combining Ability of Maize Inbred Lines under Water Stress Conditions 40
Parinya Kansomjet Suriphat Thaitad Thadsanee Budthong Chaiyawat Nantachot
- Responses of Rice Varieties to the Pathogenesis of *Burkholderia glumae* Collected
from Different Regions of Thailand under Screenhouse Conditions 52
Tirayu Tuekam Chinnawat Mueangmatcha Orawan Thongnapa Siriporn Donnua
- Identification of Yanagi Mushroom (*Cyclocybe* spp.) Using Morphological Characteristics
and ITS Region Sequences 64
Jittra Kittimorakul Vipavee Chanroj Ratchadaporn Thonghem Paranee Sawangsri
- Biodegradable Laminated Paper from Cocoa Pod Husk for Bakery Containers 75
Kanoksak Loiloes Prayoon Enmak Napatsorn Leabwan Sukanya Nitiyon Siwat Plaisen
- Foliar Application of Calcium-Boron to Increase Production Efficiency
and Reduce the Quality Loss of Irradiated 'Nam Dok Mai Si Thong' Mango 89
Panumas Kotepong Thiwaporn Phadung Sarocha Thuengsuk Patcharee Umroong
- Development of SNP Marker in *Piezo-type Mechanosensitive Ion Channel Homolog*
(*Piezo*) Gene and Efficiency Testing of the SNP Marker in Screening for Heart Rot
Disease Resistance in Pineapple 102
Jeeraporn Kansup Mallika Nualkaew Amornrat Kidjaidiew Suphawadee Ngorian