Journal of Agricultural Research and Communications

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 41 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2568

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเซลลูโลสจากกากส้มโดย *Acetobacter xylinum*

สุภเวท มานิยม เสถียร บุญก้ำ

สิริวัฒน์ จินศิริวานิชย์ และพัชรีย์ พัฒนากูล.....123

การตรวจวินิจฉัย *Candidatus* Liberibacter solanacearum ที่ติดมากับหัวพันธุ์มันฝรั่งนำเข้า

สุรศักดิ์ แสนโคตร วันเพ็ญ ศรีชาติ โสภา มีอำนาจ

จันทร์พิศ เดชหามาตย์ และ วาสนา รุ่งสว่าง.....139

การประเมินวิธีการตรวจสอบความเสียหายทางกลแบบรวดเร็วในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ภภัสสร วัฒนกุลภาคิน กัณฑิมา ทองศรี และ ปวีณา รักอก.....147

การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวด้วยเทคโนโลยีพร้อมใช้บนพื้นที่สูง ในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน

ฐปรัฏฐ์ สีลอยอุ่นแก้ว ศรายุทธ วงค์คำ

แสงทิวา สุริยงค์ และ สุทธกานต์ ใจกาวิล.....159

การปนเปื้อนเมล็ดวัชพืชในเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายนำเข้าจากต่างประเทศ

จันทร์พิศ เดชหามาตย์ โสภา มีอำนาจ สุรศักดิ์ แสนโคตร

วาสนา รุ่งสว่าง อังคณา ทุนสันเทียะ และ ณกานดา ขวัญทองยิ้ม.....171

ISSN 3057-1022 (Online)

TCI

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

เรื่องที่ตีพิมพ์

1. เป็นบทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการทางด้านเกษตรศาสตร์และสาขาที่เกี่ยวข้อง

2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

การเตรียมต้นฉบับ

1. **ภาษา** เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ

2. **การพิมพ์**

1) พิมพ์หน้าเดียวบนกระดาษขนาด A4 พิมพ์แนวตั้ง (portrait orientation) ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์ เวิร์ด (Microsoft Word for Windows) ตัวอักษรใช้ Cordia New โดยทั่วไปใช้ระยะบรรทัดปกติคือ 1 เท่า หรือ Single ความยาวต้นฉบับไม่เกิน 10 -12 หน้า

2) ชื่อเรื่องให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 18 points พิมพ์ตัวหนา (bold) และจัดกึ่งกลางหน้า กระดาษ สำหรับชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ กำหนดให้อักษรตัวแรกของคำให้พิมพ์ด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ (capital letter)

3) ชื่อผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 15 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

4) ที่อยู่และที่อยู่อีเมลของผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 points พิมพ์ตัวเอียงธรรมดา (normal italic) และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

5) บทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 points พิมพ์ตัวธรรมดา (normal) ยกเว้นเฉพาะคำ บทคัดย่อ และ Abstract ให้พิมพ์ตัวหนาและจัดชิดซ้าย

6) เนื้อหาให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 points พิมพ์ตัวธรรมดา (normal)

7) หัวข้อหลัก ได้แก่ คำนำ อุปกรณ์และวิธีการ ผลการทดลองและวิจารณ์ สรุป เอกสารอ้างอิง ให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

8) หัวข้อย่อย ให้พิมพ์ตัวหนาและจัดชิดซ้าย

9) คำอธิบายตารางและภาพให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 points พิมพ์ตัวหนา โดยคำอธิบายตารางให้พิมพ์เหนือตารางและจัดชิดซ้าย ส่วนคำอธิบายภาพให้พิมพ์ใต้ภาพและจัดกึ่งกลางหน้า และคำอธิบายตารางและภาพถ้ามีมากกว่าหนึ่งบรรทัดให้เริ่มต้นพิมพ์บรรทัดถัดมาตรงกับข้อความของบรรทัดแรก

10) หากมีชื่อวิทยาศาสตร์ปรากฏในบทความ ให้เขียนตามหลักเกณฑ์การเขียนชื่อวิทยาศาสตร์ในครั้งแรกที่ปรากฏชื่อนี้ให้สะกดเต็ม เช่น *Meloidogyne incognita* และหลังจากนั้นถ้ามีการระบุชื่อนี้อีกให้ย่อชื่อสกุล โดยเขียนเป็น *M. incognita*

11) คำว่า *et al.* และ *P* (*P*-value) ให้พิมพ์เอน

ข้อแนะนำการใช้ภาษา

1) ใช้คำศัพท์ตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน และประกาศของราชบัณฑิตยสภา

2) การเขียนชื่อเฉพาะหรือคำแปลจากภาษาต่างประเทศ ควรพิมพ์ภาษาเดิมของชื่อนั้นๆ ไว้ในวงเล็บในครั้งแรกที่ปรากฏในบทความ โดยพิมพ์เป็นอักษรตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะให้พิมพ์เฉพาะอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่

3) ไม่ควรใช้ภาษาต่างประเทศถ้ามีภาษาไทยใช้อยู่แล้ว

4) รักษาความสม่ำเสมอในการใช้คำ คำศัพท์ และตัวย่อ โดยตลอดทั้งบทความ

การเรียงลำดับหัวข้อ ให้เรียงตามลำดับดังนี้

1. **ชื่อเรื่อง (Title)** ควรสั้น ชัดเจน และต้องสื่อเป้าหมายหลักของการศึกษาวิจัย ระบุชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาไทยให้พิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาอังกฤษให้พิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาอังกฤษก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาไทย

2. **ชื่อผู้เขียน** ใช้ชื่อผู้เขียนเต็มและระบุชื่อผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับไว้ที่ท้ายนามสกุลของผู้เขียนที่ให้ติดต่อ (corresponding author)

3. **ที่อยู่ หรือสังกัด** ระบุที่อยู่หรือสังกัดทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หากที่อยู่หรือสังกัดมีหลายแห่ง ให้พิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่หรือสังกัดแห่งแรกก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ จากนั้นพิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่หรือสังกัดแห่งที่สองแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ ผู้เขียนมีหลายคนและมีที่อยู่หรือสังกัดแตกต่างกัน ให้ใช้เลขตัวยก (superscript) ที่ต่างกันกำกับไว้ท้ายนามสกุลของผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ผู้เขียนคนเดียว หรือหลายคนแต่มีที่อยู่หรือสังกัดเดียวกัน ไม่ต้องใช้เลขตัวยก (superscript) กำกับท้ายนามสกุลของผู้เขียน ผู้เขียนเป็นนักศึกษา ให้ระบุที่อยู่หรือสังกัดตามหลักสูตรของนักศึกษา บรรทัดถัดจากที่อยู่ ให้พิมพ์ที่อยู่อีเมล์ (email address) ของผู้เขียนที่ให้ติดต่อ (corresponding author)

4. **บทคัดย่อ (Abstract)** ควรเป็นเนื้อหาที่ สั้น ชัดเจนและเข้าใจง่าย รวมเหตุผลในการศึกษาวิจัย อุปกรณ์ วิธีการ ตลอดจนผลการศึกษาและสรุป ระบุบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่ควรเกิน 250 คำ ต้นฉบับที่เป็นภาษาไทยให้พิมพ์บทคัดย่อภาษาอังกฤษก่อน แล้วตามด้วยบทคัดย่อภาษาไทย ต้นฉบับที่เป็นภาษาอังกฤษให้พิมพ์บทคัดย่อภาษาไทยก่อน แล้วตามด้วยบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ระบุคำสำคัญ (keywords) ไว้ท้ายบทคัดย่อแต่ละภาษาด้วย คำสำคัญไม่ควรเกิน 5 คำ

5. **เนื้อหา (Text) ประกอบด้วย**

5.1 **คำนำ (Introduction)** แสดงความเป็นมาและเหตุผลที่นำไปสู่การศึกษาวิจัย อาจรวมการตรวจเอกสาร (review of literature) และวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยไว้ด้วย

5.2 **อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)** ให้บอกรายละเอียดของวัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ ในการทดลอง ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ และแบบจำลองการศึกษาวิจัยที่ชัดเจนและสมบูรณ์

5.3 **ผลการทดลองและวิจารณ์ หรือ ผลการศึกษาและวิจารณ์ (Results and Discussion)** ให้บรรยายผลการศึกษาวิจัย พร้อมเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางหรือภาพประกอบได้ โดยตารางหรือภาพ รวมทั้งคำอธิบายให้จัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ถ้ามีตารางหรือภาพในบทความให้อ้างตารางหรือภาพนั้นในเนื้อหาด้วยโดยใช้เป็นภาษาอังกฤษ เช่น Table หรือ Figure สำหรับการวิจารณ์ ควรเชื่อมโยงกับผลการศึกษาว่าสอดคล้องกับสมมุติฐาน หรือแตกต่างไปจากผลงานวิจัยที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่อย่างไรและด้วยเหตุใด โดยมีพื้นฐานการอ้างอิงที่เชื่อถือได้

5.4 **สรุป (Conclusion)** เป็นการสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย อาจมีข้อเสนอแนะหรือระบุอุปสรรคและแผนงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป

5.5 **กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)** อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ที่ช่วยเหลือในงานวิจัย แต่ไม่ได้เป็นผู้ร่วมงานวิจัย

5.6 **เอกสารอ้างอิง (References)** ให้เรียงเอกสารตามตัวอักษรอังกฤษ

หลักการอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง

สืบเนื่องจากวารสาร มีความประสงค์ที่จะพัฒนาคุณภาพวารสารเพื่อปรับเข้าสู่ฐานข้อมูล ACI (ASEAN Citation Index) ซึ่งมีข้อกำหนดเกี่ยวกับรูปแบบในการจัดทำ เอกสารอ้างอิง (reference) โดยต้องจัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ทั้งในเนื้อเรื่องและท้ายบทความ โดยหลักการอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง มีดังนี้

1. **การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง** ระบบที่ใช้ในการอ้างอิงคือ ระบบชื่อ และปี (Name-and-year System) ให้ใช้ ชื่อสกุล และปี ค.ศ ดังนี้

1.1 ผู้เขียนมี 1 คน ตัวอย่าง Kubo (2003) รายงานว่า……หรือ……(Kubo, 2003)

1.2 ผู้เขียนมี 2 คน ให้ใช้คำว่า and คั่นกลาง ตัวอย่าง Muthita and Kuanprasert (2004) รายงานว่า……หรือ……(Muthita and Kuanprasert, 2004)

1.3 ผู้เขียนมีมากกว่า 3 คน ให้ใช้ชื่อคนแรกและตามด้วยคำว่า *et al.* ตัวอย่าง Bukhari et al. (2011) รายงานว่า……หรือ……(Bukhari et al., 2015)

1.4 กรณีมีหลายรายงานอ้างอิงในเรื่องเดียวกัน ให้เรียงลำดับตามตัวอักษรภาษาอังกฤษและใช้ (;) คั่นกลาง ตัวอย่าง (Bukhari et al. (2011); Kubo (2003); Muthita and Kuanprasert(2004))

1.5 กรณีผู้แต่งเดียวกัน และปีพิมพ์เดียวกัน ให้เพิ่มตัวอักษร a b c ต่อท้ายปี

ตัวอย่าง Tangtaweewipat et al. (2011a)……Tangtaweewipat et al. (2011b)……

(ดูคำแนะนำการเขียนเอกสารอ้างอิง การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ และการพิจารณาบทความได้ที่ปกหลังด้านใน)

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND COMMUNICATIONS

ผู้จัดพิมพ์	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Publisher	Faculty of Agriculture, Chiang Mai University
กำหนดการพิมพ์	วารสารราย 4 เดือน (3 ฉบับ/ปี) คือ ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม	Publication	Tri-annually Issue 1 January-April Issue 2 May-August Issue 3 September-December
วัตถุประสงค์	เพื่อเผยแพร่วิทยาการด้านการเกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง	Objective	To disseminate academic knowledge in agriculture and related fields
ที่ปรึกษา	คณบดีคณะเกษตรศาสตร์ รองคณบดีฝ่ายวิจัย และวิเทศสัมพันธ์	Consultants	Dean, Faculty of Agriculture; Associate Dean for Research and and International Relations
บรรณาธิการ	รศ.ดร. ณัฐา โพธาภรณ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editor	Nuttha Potapohn, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
รองบรรณาธิการ	ผศ.ดร. ชูชาติ สันธทรัพย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Vice Editor	Choochad Santasup, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
กองบรรณาธิการ ฝ่ายวิชาการ	ผศ.ดร. บุศรา ลิ้มนิรันดร์กุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editorial Board (Academic)	Budsara Limnirankul, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. จิรวรรณ กิจชัยเจริญ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Jirawan Kitchaicharoen, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ศ.ดร. ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Chanakan Thebault Prom-u-thai, Ph.D., Prof. Chiang Mai University
	รศ.ดร. ต่อนภา ผุสดี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Tonapa Pusadee, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. ฉันทลักษณ์ ติยายน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Chantalak Tiyayon, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. พิมพ์ใจ สีหะนาม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Pimjai Seehanam, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Piyawan Suttiprapan, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. อรอุมา เรืองวงษ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		On-Uma Ruangwong, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	รศ.ดร. เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Saowaluck Yammuen-art, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. มินตรา ศีลอุดม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Mintra Seel-audom, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	อ.ดร. มนตรี แสนวังสี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Montri Sanwangsri, Ph.D. Chiang Mai University

	รศ.ดร. พิชญา พูลลาภ		Pichaya Poonlarp, Ph.D., Assoc. Prof.
	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Chiang Mai University
	รศ.ดร. ธีรนุช เจริญกิจ		Theeranuch Jaroenkit, Ph.D., Assoc. Prof.
	มหาวิทยาลัยแม่โจ้		Maejo University
	ผศ.ดร. ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร		Pathipan Sutigoolabud, Ph.D., Assist. Prof.
	มหาวิทยาลัยแม่โจ้		Maejo University
	ผศ.ดร. ศุภวรรณ วิเศษน้อย		Supawan Visetnoi, Ph.D., Assist. Prof
	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย		Chulalongkorn University
	รศ.ดร. อนุสรณ์ เชิดทอง		Anusorn Cherdthong, Ph.D., Assoc. Prof.
	มหาวิทยาลัยขอนแก่น		Khon Kaen University
	ผศ.ดร. สุขกฤช นิมิตรกุล		Sukkrit Nimitku, Ph.D., Assist. Prof.
	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		Kasetsart University
	รศ.ดร. ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์		Ladawan Lerslerwong, Ph.D., Assoc. Prof.
	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์		Prince of Songkla University
	ผศ.ดร. สาวิกา กอนแสง		Sawika Konsaeng, Ph.D., Assist. Prof.
	มหาวิทยาลัยแม่โจ้		Maejo University
	Prof. Dr. Shang-Ho Yang		Shang-Ho Yang, Ph.D., Prof.
	National Chung Hsing University		National Chung Hsing University, Taiwan
	Prof. Dr. Mehmet UlaŞ Çınar		Mehmet UlaŞ Çınar, Ph.D., Prof.
	Erciyes Üniversitesi		Erciyes Üniversitesi, Turkey
	Prof. Dr. Bernard Dell		Bernard Dell, Ph.D., Prof.
	Murdoch University		Murdoch University, Australia
	Assoc. Prof. Dr. Teresita D. Amore		Teresita D. Amore, Ph.D., Assoc. Prof.
	University of Hawai‘i		University of Hawai‘i, United States
	Prof. Dr. Tomofumi Mochizuki		Tomofumi Mochizuki, Ph.D., Prof.
	Osaka Metropolitan University		Osaka Metropolitan University, Japan
	Prof. Dr. Won-Kyo Jung		Won-Kyo Jung, Ph.D., Prof.
	Pukyong National University		Pukyong National University, South Korea
	Assoc. Prof. Dr. Thilde Bech Bruun		Thilde Bech Bruun, Ph.D., Assoc. Prof.
	University of Copenhagen		University of Copenhagen, Denmark
ฝ่ายการจัดการ	นางลาลิตยา นุ่มมีศรี	(Management)	Lalitaya Nummisri
	นายมานพ เปี้ยพรรณ์		Manop Pearpun
	นางสาวศิริลักษณ์ ใจเหล็ก		Sirilak Chailek

บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน วารสาร Journal Of Agricultural Research And Communications ฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 41 ฉบับที่ 3 ประจำเดือนกันยายน-ธันวาคม พ.ศ. 2568 ซึ่งเป็นฉบับสุดท้ายของปีที่ 41 ในฉบับนี้ประกอบด้วยบทความทางวิชาการที่มีต้นฉบับเป็นภาษาไทย จำนวน 4 เรื่อง ภาษาอังกฤษ 1 เรื่อง โดยประกอบด้วยสาขาวิชาการผลิตและนวัตกรรมอาหาร 1 เรื่อง สาขาวิชาโรคพืช 1 เรื่อง และสาขาวิชาพืชสวน 3 เรื่อง

ทางวารสาร Journal Of Agricultural Research And Communications เปิดรับบทความวิชาการทางเกษตร วิทยาศาสตร์เกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง ผู้ที่สนใจส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสาร สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/index หรือสามารถติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่ E-mail : agjournal22@gmail.com ขอให้ทุกท่านมีความสุข สุขภาพแข็งแรง ส่งผลงานวิจัยมาตีพิมพ์กันนะคะ และพบกันปีหน้าค่ะ

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐา โพธาภรณ์
บรรณาธิการวารสาร

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเซลลูโลสจากกากส้มโดย *Acetobacter xylinum*

Optimization of Cellulose Production from Orange Pomace by *Acetobacter xylinum*

สุภเวท มานิยม* เสถียร บุญก้ำ สิริวัฒน์ จินศิริวานิชย์ และพัชรีย์ พัฒนากูล

Supavej Maniyom*, Sathian Boonkum, Siriwat Jinsiriwanit, Patcharee Pattanagul

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50100

Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100, Thailand

** Corresponding author: Email: supavej3117@gmail.com*

(Received: 6 January 2025; Revised: 13 June 2025 ; Accepted: 26 June 2025)

Abstract: The objectives of this study were to determine the optimum concentration of mannitol (3-7%) and yeast extract (0.3-0.7%) as well as the optimum shaking rate (0, 50, 100 and 150 rpm) for cellulose production from orange pomace by *Acetobacter xylinum* and to examine other qualities of bacterial cellulose and marinade. It was found that the cultivation of *A. xylinum* on medium made from orange pomace supplemented with 3% mannitol and 0.66% yeast extract gave the highest cellulose yield of 25.31 g (from 30 g of orange pomace). The addition of different amounts of mannitol and yeast extract affected the changes in color values, L*, a*, b* and moisture content of cellulose sheets, as well as reducing sugar content, soluble solids and acetic acid content of the marinade. While the optimum shaking rate was 100 rpm, the maximum cellulose yield was 42.82 g and the maximum acetic acid concentration in the marinade was found to be 2.93 g/L at the shaking rate of 50 rpm.

Keywords: Orange pomace, *Acetobacter xylinum*, cellulose, marinade

Copyright @ Journal of Agricultural Research and Communications. All rights reserved.

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ในการศึกษาในครั้งนี้คือ ต้องการหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำตาลแมนนิทอล (3-7 เปอร์เซ็นต์) และยีสต์เอ็กแทรกท์ (0.3-0.7 เปอร์เซ็นต์) รวมถึงอัตราการเขย่าที่เหมาะสม (0, 50, 100 และ 150 รอบต่อนาที) ในการผลิตเซลลูโลสจากกากส้มโดย *Acetobacter xylinum* และตรวจคุณภาพด้านอื่น ๆ ของเซลลูโลสและน้ำหมัก โดยพบว่า การเลี้ยง *A. xylinum* จากอาหารที่ทำจากกากส้มที่เติมน้ำตาลแมนนิทอล 3 เปอร์เซ็นต์ และยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ 0.66 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ปริมาณเซลลูโลสสูงสุดเท่ากับ 25.31 กรัม(จากกากส้ม 30 กรัม) การเติมน้ำตาลแมนนิทอลและยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ในปริมาณที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L*, a*, b* และปริมาณความชื้นของแผ่นเซลลูโลส ที่ได้รวมถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ค่าของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดอะซิติกของน้ำหมัก ในขณะที่อัตราการเขย่าที่เหมาะสมคือ 100 รอบต่อนาที โดยได้ปริมาณเซลลูโลสสูงสุดเท่ากับ 42.82 กรัม และพบว่าได้ความเข้มข้นกรดอะซิติกในน้ำหมักสูงสุด 2.93 กรัมต่อลิตร ที่อัตราการเขย่า 50 รอบต่อนาที

คำสำคัญ: กากส้ม, *Acetobacter xylinum*, เซลลูโลส, น้ำหมัก

บทนำ

วุ้นสวรรค์ (NATA de coco) จัดเป็นโพลีแซคคาไรด์จำพวกใยอาหาร (dietary fiber) อยู่ในกลุ่มของเซลลูโลส สามารถนำมาแปรรูปเป็นอาหารคาวหวานได้หลายชนิด เช่น วุ้นลอยแก้ว รวมมิตร เยลลี่เนื้อปลาหมึกเทียม แมงกะพรุนเทียม และอื่น ๆ (Monmai, 2025) การผลิตวุ้นสวรรค์โดยทั่วไปเกิดจากกระบวนการหมักของแบคทีเรียกรดน้ำส้ม (acetic acid bacteria) ได้แก่ *Acetobacter xylinum* ซึ่งในกระบวนการนี้ทำให้ได้น้ำหมัก (marinade) ที่มีรสเปรี้ยว สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำส้มสายชูหมักได้ วัตถุดิบที่นำมาใช้เพื่อผลิตวุ้นสวรรค์คือ น้ำมะพร้าวจากผลมะพร้าวแก่ หรือใช้น้ำผลไม้ชนิดต่าง ๆ มาทดแทนได้ วุ้นสวรรค์มีลักษณะเป็นวุ้นลอยอยู่ด้านบนของภาชนะหมัก และมีน้ำหมักที่มีฤทธิ์เป็นกรดอยู่ด้านล่าง ซึ่งประกอบไปด้วยกรดอะซิติกที่มีรสเปรี้ยว (Promwongpo *et al*., 2017)

ปัจจุบันวุ้นสวรรค์ผลิตจากวัตถุดิบหลากหลายชนิด เช่น น้ำสับปะรด น้ำกะทิ น้ำหางนม (whey) น้ำแอปเปิ้ล น้ำสาลี่ น้ำองุ่น การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเซลลูโลสที่ผลิตได้จากการหมักของจุลินทรีย์ *A. xylinum* จากการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน พบว่า การใช้น้ำส้มเป็นวัตถุดิบในกระบวนการหมักวุ้นสวรรค์ทำให้ได้ปริมาณวุ้นสูงที่สุดเท่ากับ 0.65 กรัมจากน้ำส้มทั้งหมด 100 กรัม (Kurosumi,2009) ทั้งนี้ยังมีการนำน้ำเสียจากกระบวนการแปรรูปสับปะรดมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการผลิตวุ้นสวรรค์อีกด้วย (Moukamnerd *et al*., 2018) อย่างไรก็ตาม การผลิตวุ้นสววรค์และน้ำส้มสายชูหมักให้ได้ปริมาณสูง ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ แหล่งคาร์บอน ไนโตรเจน อาหารเสริม ชนิดสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ และสภาวะที่ใช้ในการหมัก เป็นต้น (Khemacheewakul, 2017)

โดยทั่วไปแหล่งคาร์บอนที่นิยมนำมาใช้ในการ-ผลิตเซลลูโลสจากจุลินทรีย์สายพันธุ์ *A. xylinum* คือ กลูโคส นอกจากนี้ เซลลูโลสยังสังเคราะห์ได้จากแหล่งคาร์บอนชนิดอื่น ๆ เช่น กลุ่มน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีคาร์บอน จำนวน 5 หรือ 6 อะตอม โอลิโกแซก-คาไรด์ สตาร์ช แอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์ เป็นต้น (Khemacheewakul, 2017) Mohammadkazemi *et al*. (2015) ศึกษาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นสวรรค์ จากน้ำตาลแมนนิทอล ซูโครส น้ำเชื่อมอินทผลัม และกลูโคส พบว่า การใช้น้ำตาลแมนนิทอลเป็นแหล่งคาร์บอนทำให้ได้ปริมาณผลผลิตวุ้นสวรรค์สูงที่สุด อย่างไรก็ตามปริมาณที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของแหล่งไนโตรเจนที่เติมลงไปในสูตรอาหารด้วย Boonpan *et al*. (2010) ผลิตเซลลูโลสจาก *A. xylinum* โดยใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ พบว่า แบคทีเรียสามารถสร้างแผ่นเซลลูโลสได้ดีในกากน้ำตาลที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solid) 12 องศาบริกซ์ พีเอช 5.0 แอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.7 และปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 โดยใช้ระยะเวลาใน

การหมัก 12 วัน ซึ่งทำให้ได้แผ่นเซลลูโลสมีความหนาเท่ากับ 1.61 เซนติเมตร และน้ำหนักเท่ากับ 96.29 กรัม (จากกากน้ำตาลที่มีค่าของแข็งที่ละลายได้ 65 องศาบริกซ์ ปริมาตร 37 มิลลิลิตร)

นอกจากนี้ยังได้มีการนำน้ำมะม่วงสายพันธุ์น้ำดอกไม้มาใช้เป็นแหล่งอาหารในการ *A. xylinum* TISTR 975 และหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการหมัก พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 8 องศาบริกซ์ ค่าพีเอช 4.0 แอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 (มวลต่อปริมาตร) และหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 10 (ปริมาตรต่อปริมาตร) เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นสวรรค์ โดยหลังการหมัก 10 วัน สามารถผลิตเซลลูโลสได้ปริมาณสูงสุดเท่ากับ 43.83 กรัม (เทียบเท่ากับใช้มะม่วงน้ำดอกไม้ 15 กรัม) และได้ความหนาเท่ากับ 5.05 มิลลิเมตร (Promwongpo *et al*., 2017) Yodsuwan *et al*. (2012) ศึกษาแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นสวรรค์ พบว่า การเติมน้ำตาลแมนนิทอลร้อยละ 5 ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ *A. xylinum* TISTR 975 ทำให้แบคทีเรียสามารถผลิตเซลลูโลสได้สูงสุด (เพิ่มมากขึ้นเป็น 5 เท่าเมื่อเทียบกับอาหารเลี้ยงเชื้อสูตรควบคุม) รองลงมาคือน้ำตาลฟรุกโตส (เพิ่มขึ้น 3 เท่าของอาหารสูตรควบคุม) และแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อ คือ ยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ (yeast extract) ซึ่งใช้ปริมาณร้อยละ 1.0 ของอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตวุ้นสวรรค์สูงสุด

สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียเพื่อผลิตวุ้นสวรรค์อยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส *A. xylinum* สามารถเจริญและสร้างเซลลูโลสได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส (Lahiri *et al*., 2021) นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในระหว่างกระบวนการเลี้ยงเชื้อโดยการเขย่าส่งผลต่อการผลิตเซลลูโลส โดยพบว่า การเพิ่มความเร็วการเขย่าจาก 50 เป็น 150 รอบต่อนาที ทำให้ปริมาณของกรดกลูโคนิคในน้ำหมักเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณเซลลูโลสลดลง (Tantratian *et al*., 2005)

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบเหลือทิ้งจากการนำเปลือกส้มรวมกากใย (orange pomace) ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์มาแปรรูปเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับ *A. xylinum* ทีมนักวิจัยได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเลี้ยงเชื้อโดยการเติมแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนได้แก่ น้ำตาลแมนนิทอล และยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ ตามลำดับ รวมถึงศึกษาอัตราการเขย่าในระหว่างกระบวนการหมักเชื้อ เพื่อให้ได้เซลลูโลสและน้ำหมักที่มีปริมาณและคุณภาพดีที่สุด และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อให้เกิดการเพิ่มมูลค่าสินค้าจากเศษวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตรต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. เชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ *Acetobacter xylinum* จากสาขาเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทำการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบไปด้วย น้ำมะพร้าว 500 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร กลูโคส 50 กรัม ยีสต์สกัด 10 กรัม ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต 1 กรัม กรดซิตริก 1.5 กรัม และแมกนีเซียมซัลเฟต 0.5 กรัม และเติมเอทานอล 3.5 เปอร์เซ็นต์ (ปรับปรุงจาก Coconut water glucose media, Alsawehli *et al*., 2021) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน สำหรับใช้เติมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อกากส้มต่อไป

2. วัตถุดิบกากส้ม

ส้มสายน้ำผึ้งจากสวนส้มวังกานิล ตำบลแม่สาว อำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่ นำกากส้มที่เหลือจากการคั้นน้ำ มาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง (Tray dryer, Semon, SI-CO12G, USA) แล้วจึงนำมาบดละเอียดให้เป็นผง (Braun, K750, Germany) ใช้ตะแกรงร่อนขนาด 10 เมช (Sieve Shaker, Endecotts, OCTAGON 200, England) ร่อนให้ได้ผงที่ละเอียด นำกากส้มผงที่ได้บรรจุลงถุงปิดผนึกและเก็บไว้ในที่แห้ง

3. อาหารเลี้ยงเชื้อจากกากส้ม

นำกากส้มผง 300 กรัม ผสมน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสปริมาณ 1.5 ลิตร กวนผสมให้เข้ากัน จากนั้นปรับปริมาณของแข็งให้ได้ 10 องศาบริกซ์ด้วยน้ำกลั่น นำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4800 รอบ

ต่อนาที นาน 15 นาที (Hettich Universal, รุ่น 320R, Germany) เทส่วนใส 150 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ (เทียบเท่ากับใช้กากส้ม 30 กรัม) จากนั้นเติมแหล่งคาร์บอน ได้แก่ แมนนิทอล (3-7 เปอร์เซ็นต์) และแหล่งไนโตรเจน ได้แก่ ยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ (0.3-0.7 เปอร์เซ็นต์) นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นก่อนเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ 10 เปอร์เซ็นต์ ทำการหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน เมื่อครบกำหนดให้แยกแผ่นเซลลูโลสที่ลอยอยู่ด้านบนออกจากน้ำหมัก แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ต่อไป

4. แผนการทดลอง

4.1 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของแมนนิทอล (3-7 เปอร์เซ็นต์) และยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ (0.3-0.7 เปอร์เซ็นต์) ในอาหารเลี้ยงเชื้อกากส้ม วางแผนการทดลองแบบ Factorial experiment in central composite design วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) วิเคราะห์พื้นที่ตอบสนองด้วยวิธี response surface methodology และคำนวณค่าที่เหมาะสมจากการ optimization ด้วยโปรแกรม Minitab

4.2 การหาอัตราการเขย่าที่เหมาะสมต่อการเลี้ยง *A. xylinum* ในอาหารเลี้ยงเชื้อกากส้ม วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยวิธี ANOVA โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey method ด้วยโปรแกรม Minitab

5. การวิเคราะห์ผล

5.1 วิเคราะห์ค่าทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักเซลลูโลส น้ำหนักน้ำหมัก (Sartorius, Oerting, England) ค่าสีของวุ้น L*, a*, b* ค่าสีของน้ำหมัก L*, a*, b* (Konica, Minolta, CR-400, Japan)

5.2 วิเคราะห์ค่าทางเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช (Benchtop, Horiba F22, USA) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Miller, 1959) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Atago, PAL-Easy Acid181, Japan) ค่าความชื้นทั้งหมด (Camilo *et al*, 2025) และปริมาณกรดอะซิติก-วิเคราะห์ปริมาณกรดอะซิติก (ปรับปรุงจาก Zaky *et al*., 2017) ด้วยเครื่อง HPLC (Agilent Technologies, 1260 Infinity, USA) โดยใช้น้ำหมักปริมาตร 5 ไมโครลิตร ฉีดผ่านคอลัมน์ Agilent Hi-Plex H column (7.7 x 300 mm, 8 micron) ใช้ตัวทำละลายกรดซัลฟูริก 5 มิลลิโมลาร์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเท่ากับ 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที กำหนดระยะเวลา 27 นาทีต่อตัวอย่างวิเคราะห์ และเวลาที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 16.1-16.2 นาที โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานและตัวอย่างน้ำหมักที่ตรวจวิเคราะห์กรดอะซิติกแสดงใน Figure 1

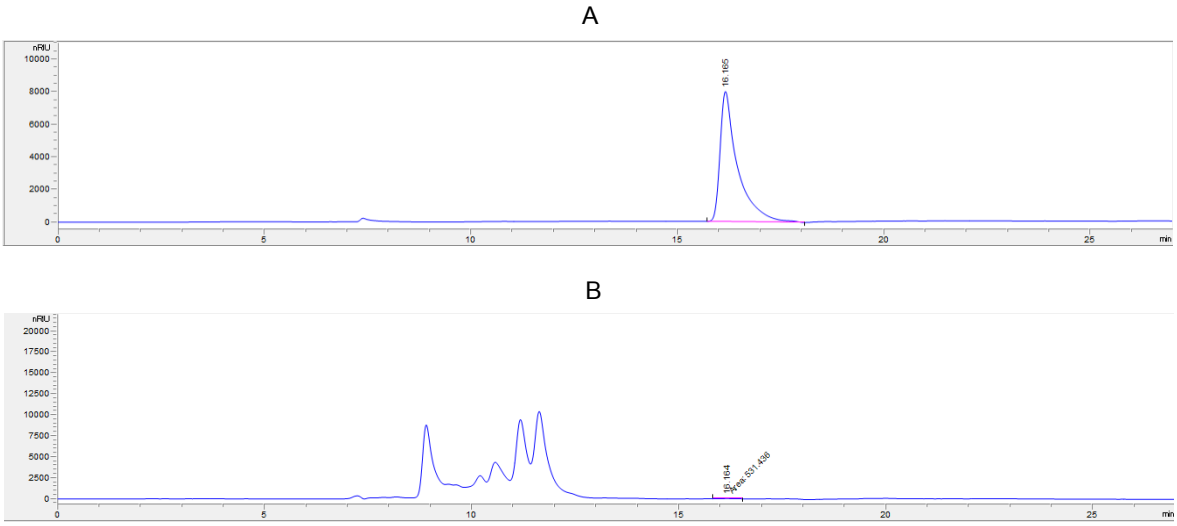


Figure 1. Chromatogram of acetic acid standard (A) and marinade sample (B)

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาระดับการเติมน้ำตาลแมนนิทอลปริมาณ 3-7 เปอร์เซ็นต์ และยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ปริมาณ 0.3-0.7 เปอร์เซ็นต์ พบว่า น้ำตาลแมนนิทอลและยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักเซลลูโลส ค่าสี L*, a* และ b* ของแผ่นเซลลูโลส (Figure 2-5) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ค่าของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณความชื้น และกรดอะซิติก (Figure 6-9)

จาก Figure 2 พบว่า การเติมน้ำตาลแมนนิทอลในระดับต่ำร่วมกับยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ในระดับสูงส่งผลให้การผลิตเซลลูโลสได้ในปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากสมการใน Table 1 ได้ค่าจากการคำนวณ (predicted value) ของปริมาณเซลลูโลสสูงสุดเท่ากับ 25.31 กรัม เมื่อใช้แมนนิทอล 3 เปอร์เซ็นต์ และยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ 0.66 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การเติมน้ำตาลแมนนิทอลที่สูงขึ้น ส่งผลให้แบคทีเรียใช้น้ำตาลผลิตเป็นกรดได้เพิ่มขึ้น (Figure 9) เมื่อมีกรดในปริมาณสูงทำให้สภาวะการหมักวุ้นสวรรค์ไม่เหมาะสมและผลิตเซลลูโลสได้น้อยลง (Khemacheewakul, 2017) อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ส่งผลให้การผลิตเซลลูโลสได้มากขึ้น (Figure 2) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yodsuwan *et al*. (2012) โดยการเพิ่มปริมาณแหล่งไนโตรเจนให้กับเชื้อจุลินทรีย์ส่งผลต่อปริมาณการผลิตสารเมตาโบไลต์ ทั้งนี้อัตราส่วนของแหล่งคาร์บอนต่อไนโตรเจนยังเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตเซลลูโลสของเชื้อ *A. xylinum* อีกด้วย (Zhang *et al*., 2016)

ค่าสี L*, a* และ b* ของแผ่นเซลลูโลสแปรผันตามปริมาณการเติมน้ำตาลแมนนิทอลและยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ (Figure 3-5) ซึ่งการเติมน้ำตาลแมนนิทอล 3-7 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ 0.3-0.7 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ค่าสี L*, a* และ b* มีค่าอยู่ในช่วง 44.34-52.82, 0.65-4.59 และ 14.04-21.58 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้เมื่อนำมาสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลแมนนิทอล ยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ และค่าสี พบว่า ค่าความสว่าง (L* value) สูงที่สุดเท่ากับ 52.47 เมื่อเติมน้ำตาล 4.09 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ 0.41 เปอร์เซ็นต์ ค่าสีแดง (a* value) สูงที่สุดเท่ากับ 4.42 เมื่อเติมน้ำตาล 6.07 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ปริมาณ 0.70 เปอร์เซ็นต์ และค่าสีเหลือง (b* value) สูงที่สุดเท่ากับ 21.37 เมื่อเติมน้ำตาล 5.13 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ 0.70 เปอร์เซ็นต์ (Table1)

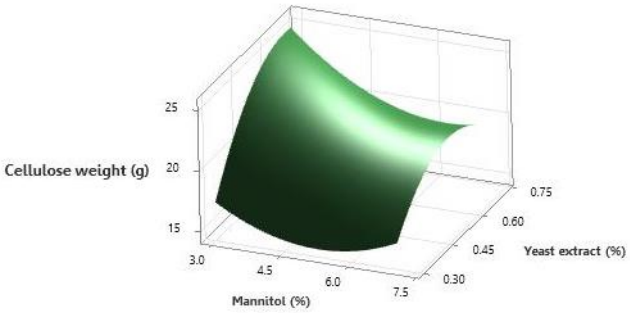


Figure 2. Effects of mannitol and yeast extract on cellulose weight of cellulose

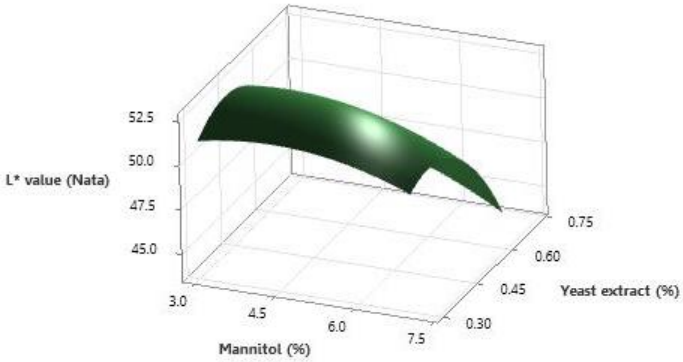


Figure 3. Effects of mannitol and yeast extract on L* value of cellulose

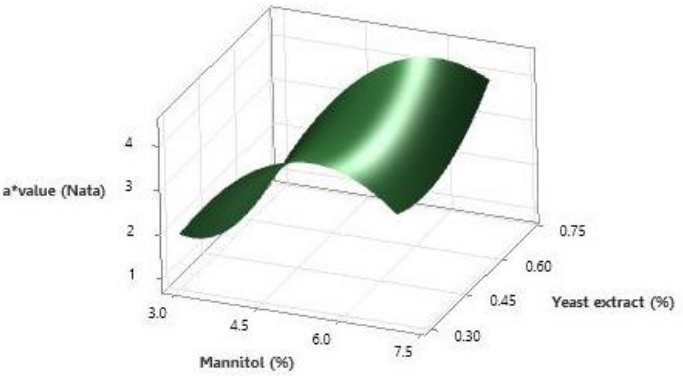


Figure 4. Effects of mannitol and yeast extract on a* value of cellulose

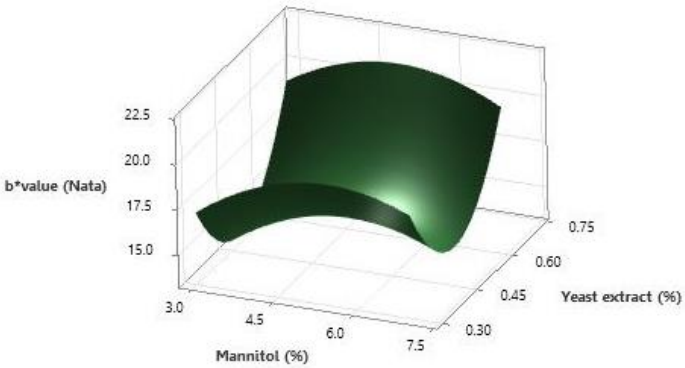


Figure 5. Effects of mannitol and yeast extract on b* value of cellulose

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำหมักมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ในอาหารเลี้ยงเชื้อมากขึ้น (Figure 6) จากสมการใน Table 1 สามารถคำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดได้ 29.77 กรัมต่อลิตร ซึ่งได้จากการเติมน้ำตาลแมนนิทอล 7.0 เปอร์เซ็นต์ และยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ 0.7 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำหมัก (total soluble solid) พบว่าการเติมน้ำตาลแมนนิทอลเพิ่มขึ้นจาก 3 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำหมักเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลแมนนิทอลเป็นน้ำตาลที่สามารถละลายได้ในน้ำ (Shrivastava *et al.*, 2021) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของน้ำตาลจึงทำให้สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง (Figure 7) โดยค่าปริมาณของแข็งที่วัดได้อยู่ในช่วง 13-16 องศาบริกซ์

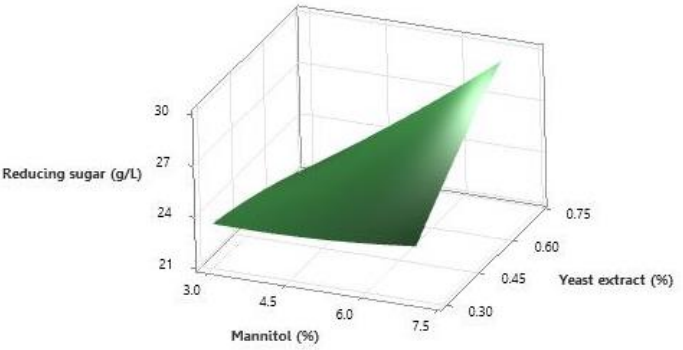


Figure 6. Effects of mannitol and yeast extract on reducing sugar content (g/l) of marinade

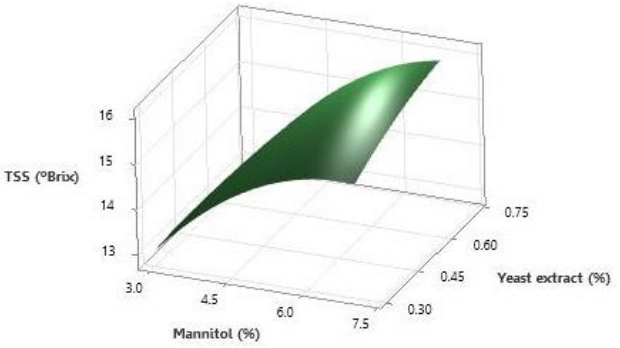


Figure 7. Effects of mannitol and yeast extract on total soluble solid (°Brix) of marinade

เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลแมนนิทอลสูงขึ้นทำให้ความชื้นของเซลลูโลสลดต่ำลง (Figure 8) ทั้งนี้เกิดจากน้ำตาลแมนนิทอลจัดเป็นสารดูดความชื้นต่ำมาก (low hygroscopicity) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณน้ำตาลแมนนิทอลจึงส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำลง (Higuchi *et al*., 2014) โดยความชื้นที่วัดได้อยู่ในช่วง 82.20-89.05 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณกรดอะซิติกของน้ำหมักเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำตาลแมนนิทอลและยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ที่เติมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ (Figure 9) โดยพบว่า การเติมน้ำตาลแมนนิทอล 5.38 เปอร์เซ็นต์ และยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ 0.34 เปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณค่ากรดอะซิติกของน้ำหมักได้สูงสุดเท่ากับ 0.77 กรัมต่อลิตร (Table 1) โดยทั้งนี้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำส้มสายชู กำหนดให้น้ำส้มสายชูหมักต้องมีกรดอะซิติกไม่น้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ (มอก. 83-2527) ดังนั้นจากการผลิตน้ำหมักด้วยอาหารกากส้มที่มีการเติมแมนนิทอลและยีสต์เอ็กแทรกท์สามารถนำไปแปรรูปเป็นน้ำส้มสายชูหมักได้

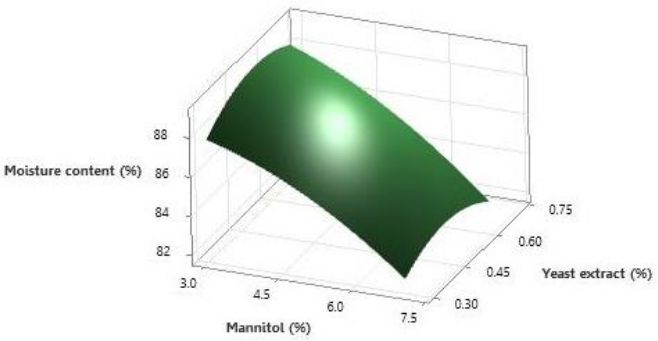


Figure 8. Effects of mannitol and yeast extract on moisture content of cellulose

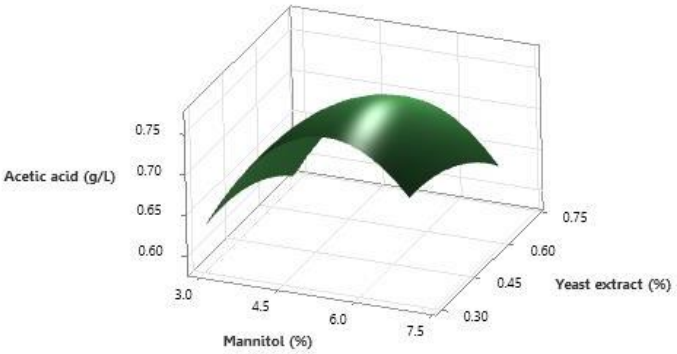


Figure 9. Effects of mannitol and yeast extract on acetic acid content (g/l) of marinade

Table 1. Regression equation and maximum predicted value of dependent variables on optimization process by using Minitab

Regression equation	R^2	Mannitol	Yeast extract	Predicted value
Cellulose yield (g) = 7.2-(4.41*A)+(89.4*B) +(0.503*A*A)–(60.7*B*B)–(2.91*A*B)	0.7538	3	0.66	25.31
Cellulose L*value = 35.4+(2.48*A)+(58.6*B) –(0.235*A*A)–(64.3*B*B)–(1.39*A*B)	0.8032	4.09	0.41	52.47
Cellulose a*value = -1.78+(3.48*A)–(19.4*B) –(0.350*A*A) +(14.0*B*B)+(1.11*A*B)	0.7382	6.07	0.70	4.42
Cellulose b*value = 28.40+(4.99*A)–(106.0*B) –(0.432*A*A) +(114.0*B*B)–(0.81*A*B)	0.9418	5.13	0.70	21.37
Reducing sugar (g/L) = 29.0–(1.86*A)–(14.8*B) +(0.056*A*A)–(4.5*B*B)+(4.82*A*B)	0.7133	7.0	0.70	29.77
TSS (ºBrix) = 8.10+(1.933*A)+(1.00*B) –(0.1579*A*A)–(3.29*B*B)+(0.625*A*B)	0.9836	7.0	0.70	16.04
Cellulose moisture content (%w/w) = 82.18+(0.53*A)+(27.6*B)–(0.175*A*A) –(24.4*B*B)–(0.57*A*B)	0.9279	3.0	0.53	89.06
Acetic acid (g/l) = 0.011+(0.252*A) +(0.397*B) –(0.0232*A*A)–(0.466*B*B)–(0.0150*A*B)	0.8384	5.38	0.34	0.77

The letters of A means mannitol and B means yeast extract

ดังนั้นจึงทำการผลิตเซลลูโลสจากอาหารเลี้ยงเชื้อกากส้มที่มีการเติมน้ำตาลแมนนิทอลและยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ 3 เปอร์เซ็นต์ และ 0.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เพื่อให้ *A. xylinum* สามารถสร้างเซลลูโลสได้สูงที่สุด อย่างไรก็ตาม *A. xylinum* เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต (Khemacheewakul, 2017) การเลี้ยงเชื้อแบบเขย่าจึงเป็นการเติมอากาศให้กับเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งในการทดลองนี้ศึกษาอัตราการเขย่าที่ 0, 50, 100 และ 150 รอบต่อนาที ผลจากการทดลองพบว่า การเลี้ยงเชื้อโดยใช้การเขย่าที่ความเร็วรอบแตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเซลลูโลส ค่าสีของเซลลูโลส รวมถึงค่าสี ค่าพีเอช ปริมาณกรดอะซิติก ค่าความชื้น และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมัก

เมื่อทำการวัดปริมาณเซลลูโลสจากตัวอย่างที่เขย่าด้วยความเร็วรอบที่ต่างกัน พบว่า การเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ทำให้ได้ปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดเท่ากับ 42.82 กรัมต่อกากส้ม 30 กรัม (Figure 10) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tantratian *et al.* (2005) ที่ศึกษาผลของออกซิเจนที่ละลายในอาหารน้ำมะพร้าวต่อการสร้างเซลลูโลสของ *A. xylinum* โดยได้ผลเช่นเดียวกันคือที่ระดับความเร็ว 100 รอบต่อนาที เชื้อผลิตเซลลูโลสสูงสุดเท่ากับ 2.67 กรัมต่อลิตรของน้ำมะพร้าว การเพิ่มอัตราเร็วในการเขย่าจะทำให้ปริมาณออกซิเจนสูงขึ้นแต่พบว่าทำให้ปริมาณกรดกลูโคนิกในแหล่งอาหารเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งในสภาวะดังกล่าวส่งผลให้มีการสร้างเซลลูโลสได้ลดลง ดังนั้นอัตราการเขย่าที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงเชื้อ *A. xylinum* บนอาหารกากส้มคือ 100 รอบต่อนาที

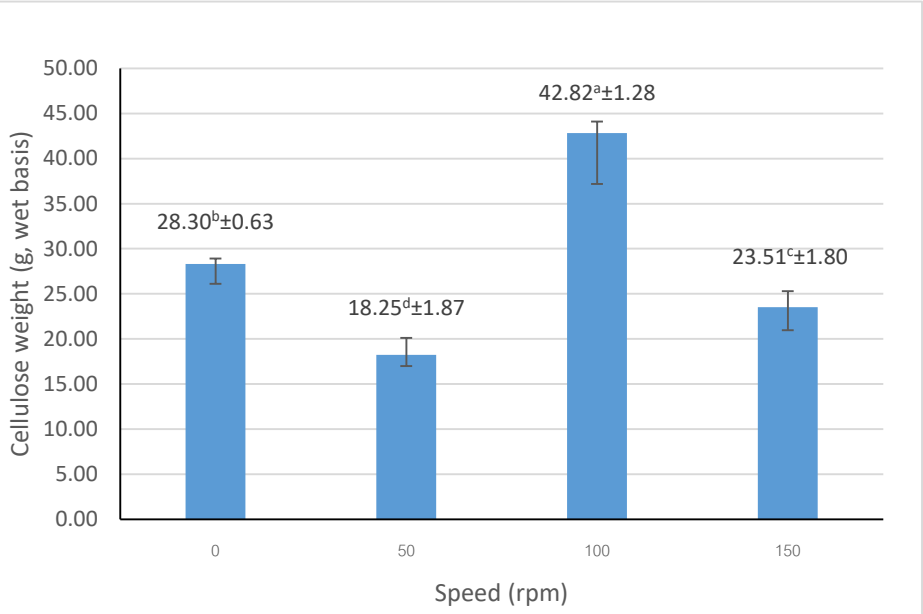


Figure 10. Effects of shaking speed (rpm) on cellulose weight (g)

Mean within the bar graph followed by different letters are significantly different at p≤0.05

ค่าสี L*, a* และ b* ของแผ่นเซลลูโลสและน้ำหมักมีการเปลี่ยนแปลงตามอัตราความเร็วรอบในการเขย่า (Figure 11 และ 12) โดยเมื่อทำการวัดสีในแผ่นเซลลูโลส พบว่า ค่าความสว่าง (L* value) สูงสุดเท่ากับ 53.53 ได้จากการเลี้ยงเชื้อแบบไม่เขย่า (0 รอบต่อนาที) ส่วนค่าสีแดง (a* value) สูงสุดของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นที่อัตราการเขย่า 50 และ 100 รอบต่อนาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.09 และ 6.33 ตามลำดับ สำหรับค่าสีเหลือง (b* value) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 26.91 ที่อัตราการเขย่า 50 รอบต่อนาที ในขณะที่การตรวจวัดค่าสีของน้ำหมัก พบว่า ค่าความสว่าง (L* value) สูงสุดเท่ากับ 72.20 และ 69.16 เมื่อเลี้ยงเชื้อที่แบบไม่เขย่า และแบบเขย่าที่อัตรา 50 รอบต่อนาที ตามลำดับ สำหรับค่าสีแดง (a* value) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 8.58 ที่อัตราการเขย่า 100 รอบต่อนาที และค่าสีเหลือง (b* value) สูงที่สุดเท่ากับ 49.84 ที่อัตราการเขย่าเท่ากับ 0 (ไม่เขย่า) และค่าสีเหลืองลดลงเรื่อย ๆ เมื่ออัตราการเขย่าเพิ่มมากขึ้น และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 20.67 เมื่ออัตราการเขย่าเท่ากับ 150 รอบต่อนาที

เมื่อทำการตรวจวัดปริมาณกรดอะซิติกทั้งหมดในน้ำหมัก พบว่า การเขย่าที่อัตรา 50 รอบต่อนาที ส่งผลให้น้ำหมักมีปริมาณกรดอะซิติกสูงสุดเท่ากับ 2.93 กรัมต่อลิตร การเพิ่มการเขย่าที่อัตรา 150 รอบต่อนาทีทำให้ได้กรดอะซิติกในปริมาณต่ำที่สุดเท่ากับ 0.05 กรัมต่อลิตร (Figure 13) ค่าความชื้นของเซลลูโลสอยู่ในช่วง 84.28-88.89% (Figure 14) ค่าพีเอชและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักที่เลี้ยงเชื้อแบบเขย่าด้วยอัตราเร็ว 0-150 รอบต่อนาที วัดได้อยู่ช่วง 4.34-4.67 และ 22.42-27.81 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Figure 15 และ 16)

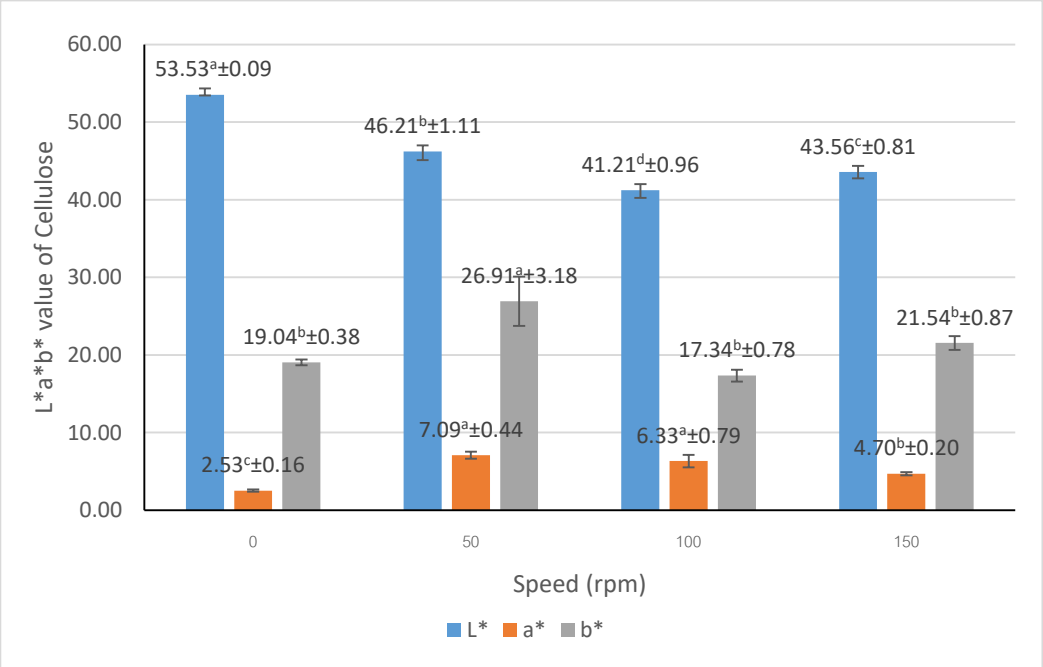


Figure 11. Effects of shaking speed (rpm) on L*, a* and b* value of cellulose

Mean within the bar graph followed by different letters are significantly different at p≤0.05

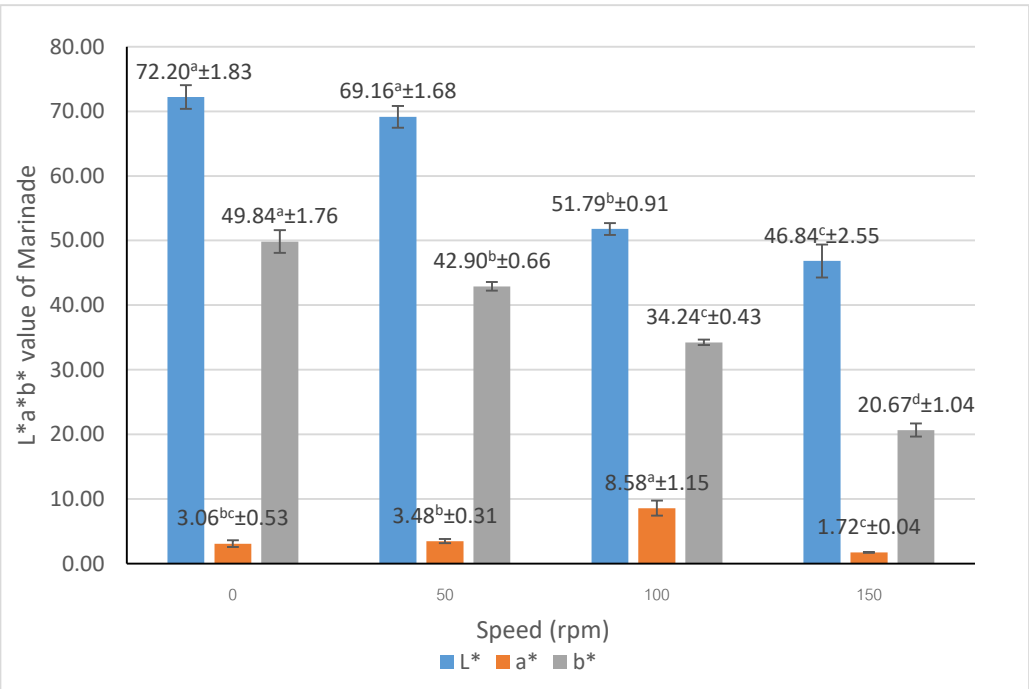


Figure 12. Effects of shaking speed (rpm) on L*, a* and b* value of marinade

Mean within the bar graph followed by different letters are significantly different at p≤0.05

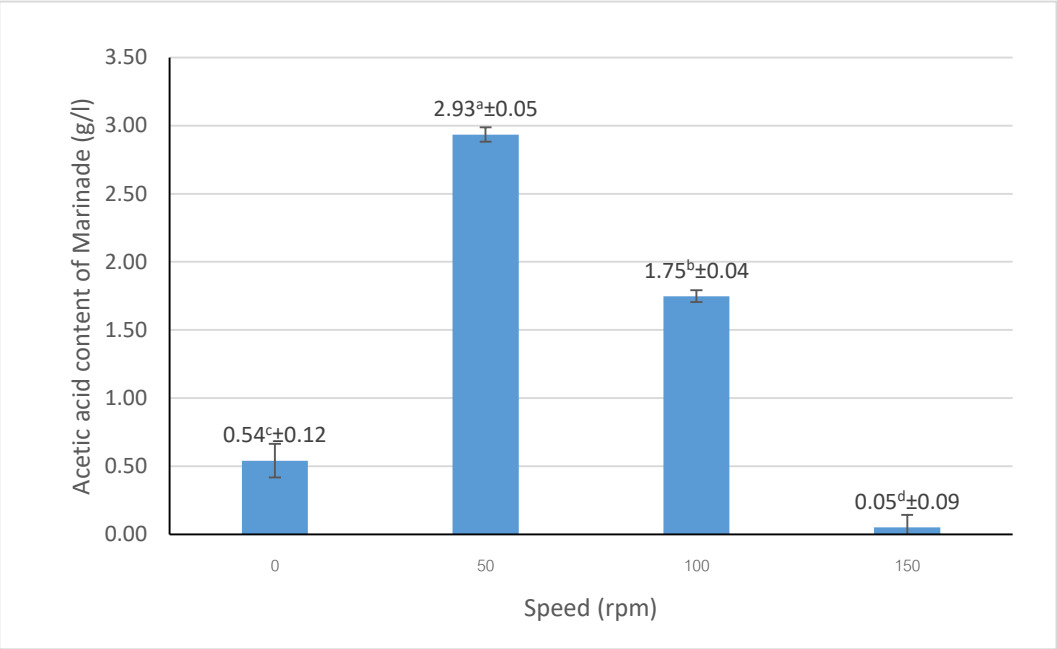


Figure 13. Effects of shaking speed (rpm) on acetic acid (g/l) of marinade

Mean within the bar graph followed by different letters are significantly different at p≤0.05

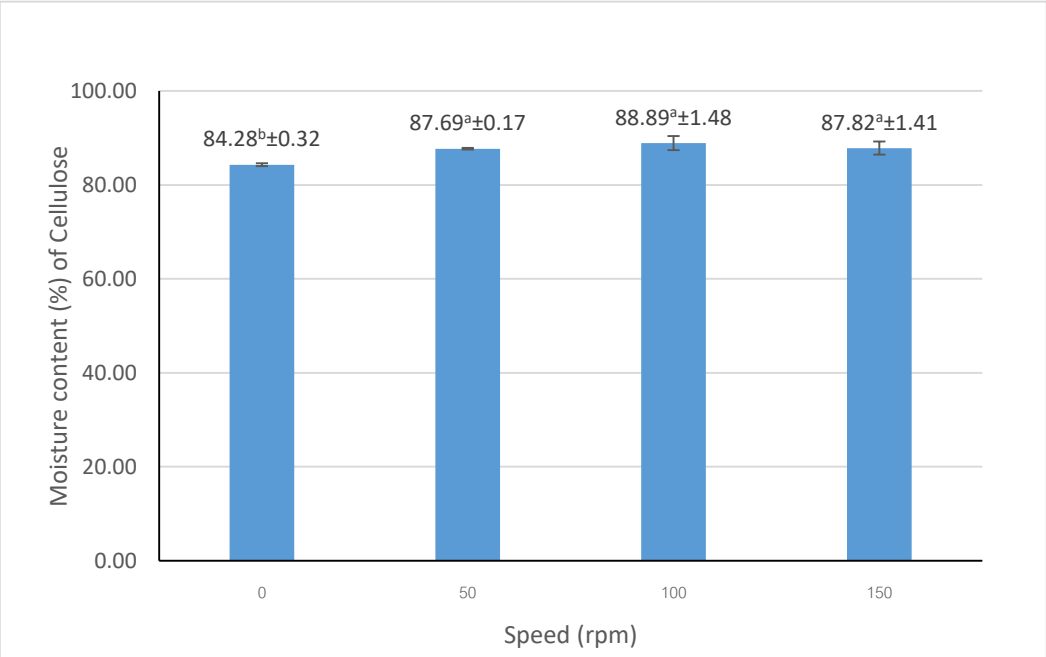


Figure 14. Effects of shaking speed (rpm) on moisture content (%) of cellulose

Mean within the bar graph followed by different letters are significantly different at p≤0.05

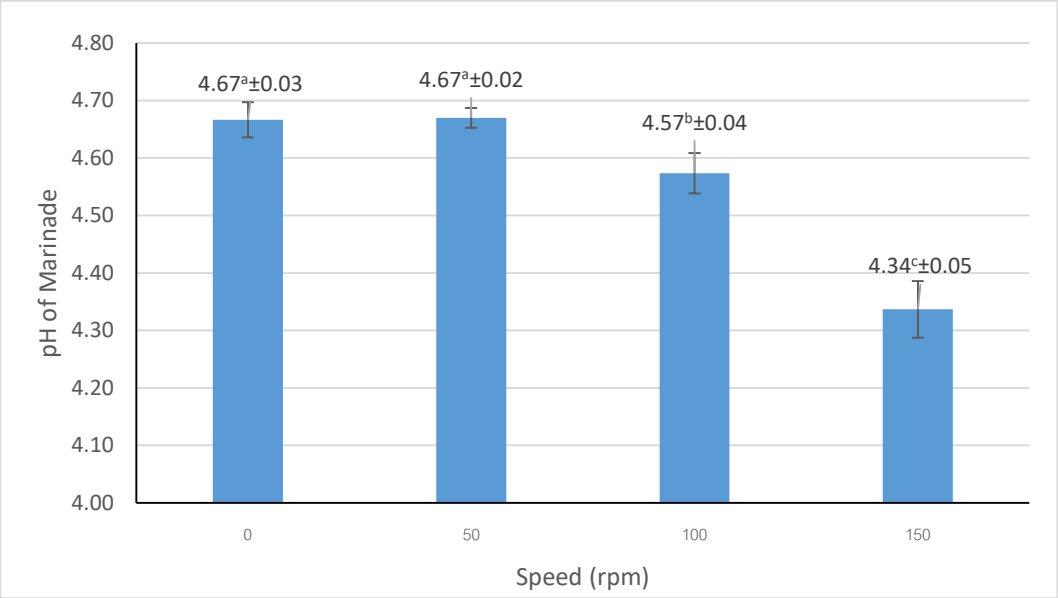


Figure 15. Effects of shaking speed (rpm) on pH of marinade

Mean within the bar graph followed by different letters are significantly different at p≤0.05

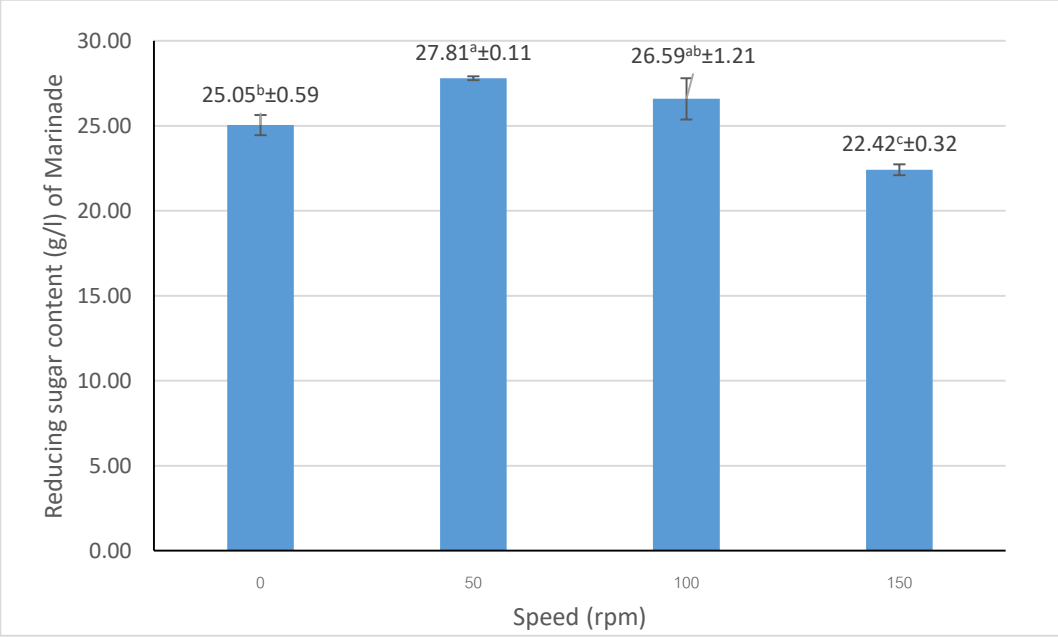


Figure 16. Effects of shaking speed (rpm) on reducing sugar (g/l) of marinade

Mean within the bar graph followed by different letters are significantly different at p≤0.05

สรุป

จากการศึกษาการเติมน้ำตาลแมนนิทอลและยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ลงในอาหารกากส้มในปริมาณ 3-7 เปอร์เซ็นต์ และ 0.3-0.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า *A. xylinum* สามารถสร้างเซลลูโลสได้ปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 25.31 กรัม เมื่อใช้อาหารกากส้ม 30 กรัม ที่เติมน้ำตาลแมนนิทอล 3 เปอร์เซ็นต์ และยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ 0.66 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ปริมาณน้ำตาลแมนนิทอลและยีสต์เอ็กซ์แทรกท์ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L*, a* และ b* ของแผ่นเซลลูโลส รวมถึงน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าความชื้น และปริมาณกรดอะซิติกของน้ำหมัก เมื่อทำการศึกษาอัตราการเขย่าที่ 0, 50, 100 และ 150 รอบต่อนาที พบว่า การเลี้ยงเชื้อแบบเขย่าที่อัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที ทำให้ได้ปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดเท่ากับ 42.82 กรัม ในขณะที่การเขย่าด้วยอัตราเร็ว 50 รอบต่อนาที ทำให้น้ำหมักมีปริมาณกรดอะซิติกสูงที่สุดเท่ากับ 2.93 กรัมต่อลิตร การเลี้ยงเชื้อแบบไม่เขย่าและแบบเขย่า ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L*, a*, b* ของทั้งแผ่นเซลลูโลสและน้ำหมัก รวมถึงปริมาณกรดอะซิติก ค่าพีเอช ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านวัตถุดิบจาก สวนส้มวังกานิล จังหวัดเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

Alsawehli, A.O., M.S. Kalil, S.M. Alburki, and J.K. Alfeluo. 2021. Production of bacterial cellulose from coconut water as a medium by using *Acetobacter xylinum* strain. Humanitarian and Natural Sciences Journal 2(11): 125-140.

Boonpan, A., S. Pongswat and C. Khampa. 2010. Study on the optimum condition for nata production from Molasses. pp. 547-554. *In*: Proceedings of 48th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Camilo, M.O., R.F. Carvalho, A.B.S. Costa, E.F.C. Junior, A.O.S. Costa and R.C. Sousa. 2025. Drying kinetic for moisture content prediction of peels Tahiti lemon (*Citrus latifolia*): Approach by machine learning and optimization – genetic algorithms and nonlinear programming. South African Journal of Chemical Engineering 51: 136-152.

Higuchi, M., S. Tanaka, K. Tamura and Y. Sakata. 2014. Hygroscopicity of a sugarless coating layer formed by the interaction between mannitol and poly(vinyl alcohol) (PVA). Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 123: 557-565.

Khemacheewakul, J. 2017. Factors affecting production of cellulose by *Acetobacter* sp. and fermentation technology. RMUTSB Academic Journal 5(1): 91-103. (in Thai)

Kurosumi, A., C. Sasaki, Y. Yamashita and Y. Nakamura. 2009. Utilization of various fruit juices as carbon source for production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* NBRC 13693. Carbohydrate Polymers 76(2): 333-335.

Lahiri, D., M. Nag, B. Dutta, A. Dey, T. Sarkar, S. Pati, H.A. Edinur, Z.A. Kari, N.H.M. Noor and R.R. Ray. 2012. Bacterial cellulose: Production, characterization, and application as antimicrobial agent. Molecular Sciences 22(23): 1-18.

Miller, G.L. 1959. Use of dinitrosalicilic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry 31(3): 426-428.

Mohammadkazemi, F., M. Azin and A. Ashori. 2015. Production of bacterial cellulose using different carbon sources and culture media. Carbohydrate polymers 117: 518-523.

Monmai. 2025. Coconut jelly production (heavenly jelly) adds value through fermentation. (Online). Available: https://www.monmai.com/heavenlyjelly. (June 9, 2025). (in Thai)

Moukamnerd, C., S. Saenchang, A. Krutjan and C. Techapun. 2018. Production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* using wastewater from pineapple processing as a carbon source. Khon Kaen Agriculture Journal 46(3): 581-590. (in Thai)

Promwongpo, C., W. Yokhanit and J. Khemacheewakul. 2017. A study of the optimal fermentation conditions for nata de coco production by *Acetobacter xylinum* TISTR975 from mango juice. KMUTT Research and Development Journal 40(2): 271-282. (in Thai)

Shrivastava, A., S. Sharma, M. Kaurav and A. Sharma. 2021. Characteristics and analytical methods of Mannitol: An update. International Journal of Applied Pharmaceutics 13(5): 20-32.

Tantratian, S., P. Tammarate, W. Krusong, P. Bhattarakosol and A. Phusri. 2005. Effect of dissolved oxygen on cellulose production by *Acetobacter* sp. Journal of Scientific Research 30(2): 179-186.

Thai Industrial Standard. 83-2527. National Food Institute Thailand.

Yodsuwan, N., A. Owatworakit, A. Ngaokla, N. Tawichai and N. Soykeabkaew. 2012. Effect of carbon and nitrogen sources on bacterial cellulose production for bionanocomposite materials. pp. 1 - 6. *In*: Proceedings of 1st Mae Fah Luang University International Conference: Mae Fah Luang University, Chiang Rai. (in Thai)

Zaky, A.S., N. Pensupa, A. Andrade-Eiroae, G.A. Tucker and C. Du. 2017. Anew HPLC method for simultaneously measuring chloride, sugar, organic acids and alcohols in food samples. Journal of Food Composition and Analysis 56: 25-33.

Zhang, H., C. Chen, C. Zhu and D. Sun. 2016. Production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum*: Effects of carbon/nitrogen-ratio on cell growth and metabolite production. Cellulose Chemical and Technology 50(9-10): 997-1003.

การตรวจวินิจฉัย *Candidatus* Liberibacter solanacearum ที่ติดมากับหัวพันธุ์มันฝรั่งนำเข้า

Diagnosis of *Candidatus* Liberibacter solanacearum Associated with Imported Seed Potatoes

สุรศักดิ์ แสนโคตร[1*] วันเพ็ญ ศรีชาติ[2] โสภา มีอำนาจ[1] จันทร์พิศ เดชหามาตย์[1] และ วาสนา รุ่งสว่าง[1]

Surasak Saenkhot[1*], Wanpen Srichart[2], Sopa Meeamnat[1], Chanpis Dathamart[1] and Wasana Rungsawang[1]

[1]สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

[1]Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

[2]สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 2 กรมวิชาการเกษตร อ.วังทอง จ.พิษณุโลก 65130

[2]Office of Agriculture Research and Development Region 2, Department of Agriculture, Wang Thong, Phitsanulok 65130, Thailand

** Corresponding author: Email: surasak028ss@gmail.com*

(Received: 26 March 2025; Revised: 27 September 2025 ; Accepted: 29 September 2025)

Abstract: Zebra chip disease in potatoes is caused by the bacterium *Candidatus* Liberibacter solanacearum, poses a serious threat to potato production in Thailand. Although the disease has not yet been reported in the country, outbreaks have occurred in seed potato-exporting countries. Therefore, interception and preventive measures are essential to prevent the introduction of this pathogen and its potential damage on the domestic potato industry. In this study, a total of 134 imported seed potato samples from six countries — Australia, Canada, the Netherlands, New Zealand, Scotland, and the United States — were examined during 2021–2023. Diagnosis was conducted using accurate and rapid molecular techniques (nested-PCR) in combined with visual inspection for zebra chip symptoms on seed tubers. In addition, field surveys were conducted in potato-growing areas of several provinces in Thailand, including Chiang Rai, Chiang Mai, Tak, Phayao, Sakon Nakhon, and Nakhon Phanom. The results revealed no detection of either *Ca.* L. solanacearum or zebra chip symptoms in imported seed potatoes samples or in field surveys. These findings provide an important reference for establishing import regulations for seed potatoes, and contribute to the prevention and control the potential introduction and spread of this destructive pathogen in Thailand.

Keywords: Potato, seed potatoes, zebra chip, nested-PCR

Copyright @ Journal of Agricultural Research and Communications. All rights reserved.

บทคัดย่อ: โรค zebra chip ในมันฝรั่งมีสาเหตุจากเชื้อแบคทีเรีย *Candidatus* Liberibacter solanacearum ซึ่งเป็นภัยคุกคามร้ายแรงต่อการผลิตมันฝรั่งในประเทศไทย แม้ว่าโรคนี้ยังไม่เคยพบในประเทศ แต่ได้มีรายงานการระบาดในประเทศที่ส่งออกหัวพันธุ์มายังประเทศไทย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินมาตรการตรวจสกัดกั้น และป้องกันเพื่อไม่ให้เชื้อสาเหตุเข้ามาสร้างความเสียหายต่ออุตสาหกรรมมันฝรั่งภายในประเทศ งานวิจัยนี้ได้ตรวจสอบหัวพันธุ์มันฝรั่งนำเข้าจำนวน 134 ตัวอย่างจาก 6 ประเทศ ได้แก่ ออสเตรเลีย แคนาดา เนเธอร์แลนด์ นิวซีแลนด์ สกอตแลนด์ และสหรัฐอเมริกา ในช่วงปี พ.ศ. 2564-2566 โดยใช้เทคนิค nested-PCR ซึ่งเป็นวิธีการที่แม่นยำและรวดเร็ว ร่วมกับการตรวจสอบอาการโรค zebra chip บนหัวพันธุ์ นอกจากนี้ยังได้ดำเนินการสำรวจแปลงปลูกมันฝรั่งภายหลังการนำเข้า ในพื้นที่หลายจังหวัดของประเทศไทย ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ ตาก พะเยา สกลนคร และนครพนม ผลการตรวจสอบพบว่า ไม่ปรากฏเชื้อแบคทีเรีย *Ca.* L. solanacearum และไม่พบอาการของโรค zebra chip ทั้งในตัวอย่างหัวพันธุ์นำเข้าและในการสำรวจแปลงปลูก ผลการวิจัยนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อกำหนดเงื่อนไขการนำเข้าหัวพันธุ์มันฝรั่งจากต่างประเทศ และใช้เป็นแนวทางป้องกันและควบคุมการระบาดของศัตรูพืชร้ายแรงนี้ในอนาคต

คำสำคัญ: มันฝรั่ง หัวพันธุ์มันฝรั่ง ซีบราชิบ nested-PCR

คำนำ

เชื้อแบคทีเรีย *Candidatus* Liberibacter solanacearum เป็นสาเหตุของโรค zebra chip ในมันฝรั่ง Liefting *et al.* (2009) และเป็นศัตรูพืชกักกันที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดในประกาศเงื่อนไขการนำเข้าผลพริกสดจากนิวซีแลนด์ พ.ศ. 2558 (Department of Agriculture, 2015) แม้ว่าเชื้อนี้จะยังไม่พบในประเทศไทย แต่ก็มีความเสี่ยงสูงที่จะเข้ามากับหัวพันธุ์มันฝรั่งนำเข้า เนื่องจากมีรายงานการระบาดในหลายประเทศที่เป็นแหล่งนำเข้า ซึ่งจะส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อพืชเศรษฐกิจในวงศ์มะเขือ (Solanaceae) และวงศ์ผักชี (Apiaceae) ที่เป็นพืชอาศัยของเชื้อ เช่น มะเขือเทศ พริก แครอท และขึ้นฉ่าย เชื้อนี้เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปร่างแท่ง ขนาดประมาณ 0.2 ไมโครเมตร x 4 ไมโครเมตร และเจริญเติบโตได้เฉพาะในท่ออาหารพืช (phloem-limited) รายงานการตรวจพบครั้งแรกเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2551 ในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา โดยมีเพลี้ยไก่แจ้ (psyllid) ชนิด *Bactericera cockerelli* เป็นแมลงพาหะสำคัญ นอกจากนี้ยังมีรายงานการพบเชื้อในพืชอาศัยอื่น เช่น แครอท ซึ่งมีเพลี้ยไก่แจ้แครอท *Trioza apicalis* เป็นพาหะ รวมถึงเพลี้ยไก่แจ้ *T. apicalis* และ *B. trigonica* ที่เป็นพาหะในพืชวงศ์ผักชี อาการของโรคในมันฝรั่งเริ่มต้นด้วยการที่ใบม้วนงอและบริเวณใบยอดเป็นสีม่วง ส่วนในหัวมันฝรั่งสดพบเนื้อแป้งมีสีเข้มและจางสลับกันคล้ายลายม้าลาย ซึ่งเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อนำไปทอด โรคนี้มีการแพร่ระบาดในหลายประเทศทั่วโลก เช่น โมร็อกโก สหรัฐอเมริกา นิวซีแลนด์ และประเทศในยุโรปหลายแห่ง โดยมีการแบ่งเชื้อออกเป็น 5 haplotypes (A, B, C, D, และ E) ตามชนิดของแมลงพาหะและพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ (European and Mediterranean Plant Protection Organization Global Database, 2024) เพื่อป้องกันการเข้ามาของเชื้อ *Ca.* L. solanacearum และการระบาดของโรค zebra chip ในประเทศไทย จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้วิธีการตรวจวินิจฉัยศัตรูพืชตามมาตรฐานสากล โดยเลือกใช้เทคนิคที่มีความรวดเร็ว แม่นยำสูง และคุ้มค่า เพื่อเป็นการสกัดกั้น (interception) เชื้อที่อาจปนเปื้อนมากับหัวพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงเงื่อนไขการนำเข้าให้ครอบคลุมพืชอาศัยทุกชนิดในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การสุ่มตัวอย่างหัวพันธุ์มันฝรั่งนำเข้าจากทุกประเทศตามมาตรฐาน ISPM No. 31 (International

Plant Protection Convention, 2008) โดยทำการสุ่มตัวอย่างจากด่านตรวจพืชลาดกระบัง และด่านตรวจพืชท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ที่มีการนำเข้าจำนวน 600 หัวต่อครั้ง ตามเงื่อนไขการนำเข้าและสุ่มแบบ random ของกระสอบบรรจุหัวพันธุ์ หัวพันธุ์มันฝรั่งนำเข้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2566 นำเข้าจาก 6 ประเทศ ได้แก่ 1) ออสเตรเลีย นำเข้า จำนวน 49 ครั้ง น้ำหนักรวม 4,316.32 ตัน 2) แคนาดา นำเข้า จำนวน 10 ครั้ง น้ำหนักรวม 2,349.00 ตัน 3) เนเธอร์แลนด์ นำเข้า จำนวน 7 ครั้ง น้ำหนักรวม 337.50 ตัน 4) นิวซีแลนด์ นำเข้า จำนวน 3 ครั้ง น้ำหนักรวม 175 ตัน 5) สกอตแลนด์ นำเข้าจำนวน 62 ครั้ง น้ำหนักรวม 12,344.59 ตัน และ 6) สหรัฐอเมริกา นำเข้า จำนวน 3 ครั้ง น้ำหนักรวม 0.39 ตัน ทั้งหมด จำนวน 134 ตัวอย่าง

2. การตรวจสอบอาการของโรคในเบื้องต้น โดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า โดยการผ่าหัวมันฝรั่ง เพื่อดูลักษณะอาการโรค zebra chip (Figure 1) ภายในหัวมันฝรั่ง ลักษณะเนื้อเยื่อภายในหัวพันธุ์ รูปร่าง ขนาด และบันทึกภาพ และตรวจยืนยันผลด้วยเทคนิค nested-PCR ทั้งที่พบอาการและไม่พบอาการ

3. การตรวจวินิจฉัยเชื้อ *Candidatus* Liberibacter solanacearum โดยใช้เทคนิค nested-PCR ตามวิธีการดังนี้

3.1 การสกัดดีเอ็นเอจากหัวพันธุ์มันฝรั่งนำเข้าที่แสดงอาการ zebra chip และสุ่มตรวจจากหัวพันธุ์ที่ไม่พบอาการ ด้วยวิธี cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) ตามกรรมวิธีของ Munyaneza *et al*. (2010) การสกัดดีเอ็นเอจาก หัวพันธุ์มันฝรั่งบริเวณเนื้อเยื่อ vascular ring (Figure 2) โดยนำเนื้อเยื่อส่วนท่อลำเลียง 0.5 กรัม บดในสารละลาย CTAB 1 มิลลิลิตร (100 mM Tris, pH 8.0, 1.4 M NaCl, 50 mM EDTA, pH 8.0, 2% (w/v) CTAB, 1% (w/v) polyvinylpyrrolidone (PVP)-40 and 0.2 % (v/v) 2-mercaptoethanol) และดูดสารละลายลงในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปปั่นเหวี่ยงตกตะตอนที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสใส่ในหลอดใหม่ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และเติมสาร chloroform: isoamyl (24:1) ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยการพลิกกลับหลอดไปมา และนำไปปั่นเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสด้านบนใส่ในหลอดใหม่ แล้วเติมสาร isopropanol ที่แช่เย็นปริมาตร 1 เท่าของสารละลายส่วนใสและกลับหลอดไปมา จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงตกตะกอนดีเอ็นเอที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เทส่วนสารละลายใส

Figure 1. Symptom of zebra chip diseases on A: Potato tuber, B: Potato plant and C: Fried potato chips. (European and Mediterranean Plant Protection Organization Global Database, 2024)

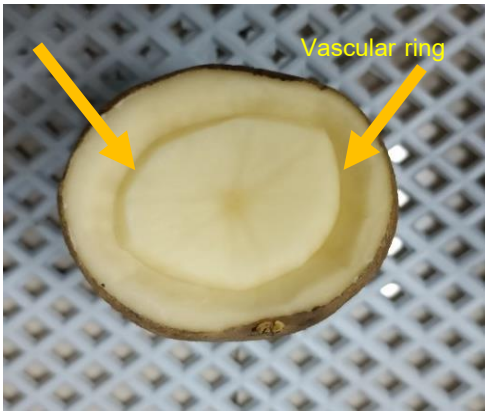


Figure 2. Cutting tissue from the vascular ring area of seed potatoes for pathogen detection using the nested PCR technique.

ทิ้งแล้วล้างตะกอนดีเอ็นเอด้วยเอทานอลที่เย็นจัดความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ จำนวนสองครั้ง และนำตะกอนดีเอ็นเอไปตากไว้ที่อุณหภูมิห้องจนแอลกอฮอล์ระเหยจนแห้งสนิท จึงนำตะกอนดีเอ็นเอมาละลายด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 20 - 50 ไมโครลิตร เมื่อตะกอนดีเอ็นเอละลายดีแล้วจึงนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

3.2 การตรวจสอบความไว (sensitivity) ของเทคนิค nested PCR

นำดีเอ็นเอของเชื้อสาเหตุ *Ca.* L. solanacearum ที่สั่งสังเคราะห์จากบริษัท ซึ่งมีความเข้มข้น 5 ng/µl มาใช้ตรวจสอบความไวของเทคนิค nested PCR โดยนำดีเอ็นเอมาเจือจางในระดับความเข้มข้น 10^{0} – 10^{-7} (Subcommittee on Plant Health Diagnostic Standards, 2017) ในการทำปฏิกิริยา nested-PCR ครั้งที่ 1 ด้วยคู่ไพรเมอร์ OA2 (GCGCTTATTTTAATAGGAGCGGCA) และ OI2c (GCCTCGCGACTTCGCAACCCAT) ให้ผลิตภัณฑ์ PCR (PCR-product) ขนาด 1,160 bp ปฏิกิริยาครั้งที่ 2 ด้วยคู่ไพรเมอร์ Lib16S01F (TTCTACGGGATAACGCACGG) และ Lib16S01R (CGTCAGTATCAGGCCAGTGAG) ให้ PCR-product ขนาด 580 bp ส่วนผสมสำหรับทำปฏิกิริยา PCR ประกอบด้วย PCR DreamTaq Green Master mix 2X (Thermo Scientific™) ปริมาตร 12.5 ไมโครลิตร สารละลายไพรเมอร์ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ใช้สารละลายดีเอ็นเอ 3 ไมโครลิตร และน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 7.5 ไมโครลิตร ปริมาตรรวมทั้งหมดเท่ากับ 25 ไมโครลิตร โปรแกรมการทำ PCR ครั้งที่ 1 ด้วยไพรเมอร์ OA2 และ OI2c เริ่มต้นที่ 94 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ตามด้วย Denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส นาน 45 วินาที Annealing ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 45 วินาที และ Extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที โดยทำปฏิกิริยาทั้งหมดจำนวน 40 รอบ และขั้นตอนสุดท้ายที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 7 นาที และการปฏิกิริยาครั้งที่ 2 ด้วยคู่ไพรเมอร์ Lib16S01F และ Lib16S01R ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 94 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที Denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที Annealing ที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที Extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 45 วินาที โดยทำปฏิกิริยาทั้งหมดจำนวน 40 รอบ และขั้นตอนสุดท้ายที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 7 นาที

3.3 การตรวจสอบ PCR-product ด้วยเทคนิคเจลอิเล็กโตโฟรีซีส (gel electrophoresis) ตามขั้นตอนดังนี้

3.3.1 เตรียมอะกาโรสเจล 2 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่งผงอะกาโรส 2 กรัม ละลายในบัฟเฟอร์ 0.5X TBE buffer ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปหลอมจนละลายด้วยเครื่องไมโครเวฟ จากนั้นเติมสีย้อม (RedSafe™

nucleic acid staining solution) โดยผสมลงในอะกาโรสที่หลอมละลายแล้ว ผสมให้เข้ากันจากนั้นเทเจลลงบนถาดสำหรับเตรียมแผ่นเจล

3.3.2 นำ PCR-product ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงในเจลที่เตรียมไว้และใช้ดีเอ็นเอมาตรฐานชนิด 100 bp DNA ladder เป็นตัวเปรียบเทียบขนาดของนำ PCR-product และให้กระแสไฟฟ้าที่ 100 โวลต์ เป็นเวลา 45 นาที

3.3.3 ตรวจสอบแถบดีเอ็นเอภายใต้แสง UV ด้วยเครื่อง gel documentation บันทึกภาพ แล้วนำไปวิเคราะห์ผล

3.4 การตรวจสอบเชื้อ *Ca.* L. solanacearum ในตัวอย่างที่สุ่มตรวจ นำตัวอย่างมาสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธีที่อธิบายในข้อ 3.1 และนำมาตรวจสอบด้วยเทคนิค nested-PCR ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ข้อ 3.2 และ 3.3

4. การติดตามและตรวจสอบโรคในแปลงปลูกมันฝรั่งของบริษัทผู้นำเข้า โดยสุ่มสำรวจแปลงในช่วงหลังการเพาะปลูกประมาณ 45 วัน จนถึงช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต ดำเนินการในหลายพื้นที่ ได้แก่ อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอเวียงป่าเป้าและอำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา อำเภอพังโคนและอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร และอำเภอวังยาง จังหวัดนครพนม โดยเดินสำรวจแปลงเป็นรูปตัวยู (U) สังเกตอาการของส่วนลำต้นและใบที่มีอาการคล้ายกับอาการของโรคและนำมาตรวจสอบยืนยันผลด้วยเทคนิค nested PCR ในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการตรวจหาเชื้อแบคทีเรีย *Ca.* L. solanacearum ที่อาจปนเปื้อนมากับหัวพันธุ์มันฝรั่งนำเข้า ดำเนินการด้วยเทคนิค nested-PCR ตามวิธีการที่จัดทำโดยหน่วยงาน Subcommittee on Plant Health Diagnostic Standards (2017) ประเทศออสเตรเลีย การตรวจวินิจฉัยด้วยเทคนิคนี้มีความไวสูง (sensitivity of detection) สามารถตรวจหาเชื้อสาเหตุได้ในระดับความเข้มข้นต่ำถึง 10^{-6} (Figure 3)

เนื่องจากเชื้อ *Ca.* L. solanacearum เป็นศัตรูพืชที่ยังไม่ปรากฏในประเทศไทย แต่มีความเสี่ยงสูงต่อการปนเปื้อนจากหัวพันธุ์มันฝรั่งนำเข้าจาก 7 ประเทศที่ได้รับการอนุญาต จึงได้ใช้ดีเอ็นเอสังเคราะห์ของเชื้อที่เลียนแบบลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อสาเหตุโรค เป็น positive control แทนเชื้อสาเหตุจากธรรมชาติ โดยอ้างอิงลำดับนิวคลีโอไทด์จากฐานข้อมูล NCBI (EU935004.1) ของ *Ca.* L. solanacearum ซึ่งครอบคลุมยีน 16S ribosomal RNA และ 16S-23S ribosomal RNA intergenic spacer (บางส่วน) รวมถึงยีน tRNA-Ile และ tRNA-Ala รวมความยาวทั้งสิ้น 2,049 bp

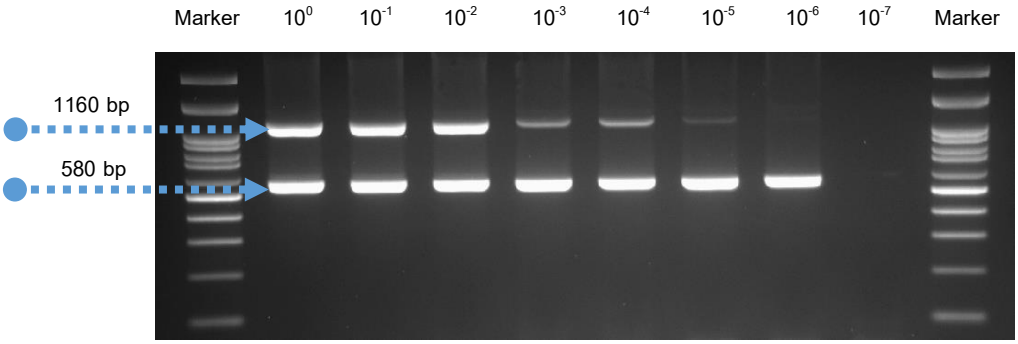


Figure 3. The sensitivity of the nested-PCR assay for detecting *Candidatus* Liberibacter solanacearum was determined using a serial dilution of a synthesized positive control DNA

จากการสุ่มตัวอย่างและตรวจสอบลักษณะอาการของโรคด้วยการผ่าดูเนื้อเยื่อภายในหัวมันฝรั่ง ไม่พบอาการของโรค zebra chip และได้ตัดเนื้อเยื่อภายในหัวมันฝรั่งที่ไม่แสดงอาการอย่างน้อย 25 หัว จากหัวพันธุ์ 600 หัวต่อครั้ง ภายใต้เงื่อนไขการนำเข้าหัวพันธุ์รวมทั้งหมด 134 ตัวอย่าง เพื่อตรวจยืนยันเชื้อสาเหตุด้วยเทคนิค nested PCR ผลการตรวจไม่พบเชื้อสาเหตุ *Ca.* L. solanacearum (Table 1)

การติดตามตรวจสอบภายหลังการนำเข้า โดยทำการติดตามตรวจสอบในแปลงของบริษัทที่นำเข้าจำนวน 23 แปลง ได้แก่ อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอเวียงป่าเป้า อำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา อำเภอพังโคน อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร และอำเภอวังยาว จังหวัดนครพนม ผลการติดตามในแปลงปลูกไม่พบลักษณะของอาการโรค zebra chip ในพื้นที่ปลูก จึงไม่มีตัวอย่างสำหรับนำมาตรวจสอบยืนยันด้วยเทคนิค nested PCR (Table 2)

ผลการตรวจสอบเชื้อ *Ca.* L. solanacearum ในหัวพันธุ์มันฝรั่งนำเข้าและตัวอย่างจากแปลงปลูกด้วยเทคนิค nested PCR ไม่พบเชื้อสาเหตุ ซึ่งสะท้อนถึงความไวสูงของเทคนิค nested PCR แม้ว่าการสกัดดีเอ็นเอจะใช้วิธี CTAB ที่ให้ปริมาณดีเอ็นเอสูง แต่คุณภาพอาจต่ำกว่า Magnetic particle processor ตามรายงานของ Donna *et al.* (2005) ชี้ว่า Magnetic particle processor ให้คุณภาพดีเอ็นเอสูงสุดและเหมาะสมสำหรับ PCR หรือ qPCR มากกว่า CTAB และวิธีคอลัมน์ แม้ว่าวิธี CTAB จะให้ปริมาณดีเอ็นเอสูงกว่า อย่างไรก็ตามการเลือกใช้วิธีการสกัดด้วยวิธี Magnetic particle processor ต้องใช้เครื่องสกัดอัตโนมัติมูลค่าสูง และสารเคมีราคาต่อหน่วยสูงต่อการสกัดในแต่ละตัวอย่าง ทั้งนี้ การตรวจสอบลักษณะอาการของโรคยังคงจำเป็นเป็นขั้นตอนคัดกรองเบื้องต้น หากพบอาการสงสัย ควรยืนยันด้วย nested PCR เสมอ เพื่อให้ผลการตรวจสอบมีความน่าเชื่อถือสูงสุด นอกจากนี้ เพื่อเพิ่มความสะดวกและลดเวลาในการตรวจสอบตัวอย่างจำนวนมาก ควรพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อหัวมันฝรั่งที่รวดเร็วและสะดวกกว่าใบมีดผ่าตัด พร้อมทั้งพัฒนาวิธีสกัดดีเอ็นเอที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้เวลาน้อยลง

Table 1. Result for first examination for inspection the zebra chip disease in imported seed potatoes samples from various country from 2021-2023 years.

Importing country	Sample number (tuber)				Quantity (Ton)	Evidence of zebra chip disease by nested PCR
	2021	2022	2023	Total		
Australia	16	22	11	49	4,316.32	not detected
Canada	2	3	5	10	2,349.00	not detected
Netherlands	3	2	2	7	3,37.50	not detected
Scotland	22	24	16	62	12,344.59	not detected
New Zealand	0	1	2	3	175.00	not detected
United States of America	0	2	1	3	0.39	not detected
Total	43	54	37	134	19,522.80	

Table2. Field inspection for zebra chip disease following the planting of imported seed potatoes in farmer fields.

No.	ID samples	Year of monitoring	Location		Location (X,Y: GPS)	Area (rai)	Symptom of zebra chip
			District	Province			
1	PVP1	2022	Wiang Pa Pao	Chiang Rai	19.209906,99.524330	15	no symptom
2	PVP2	2022	Wiang Pa Pao	Chiang Rai	19.212894,99.533905	11	no symptom
3	PMC1	2022	Mae Chaem	Chiang Mai	18.505785,98.348495	1.6	no symptom
4	PMC2	2022	Mae Chaem	Chiang Mai	18.516085,98.356354	2	no symptom
5	PMC3	2022	Mae Chaem	Chiang Mai	18.516088,98.356400	3	no symptom
6	PMC4	2022	Mae Chaem	Chiang Mai	18.503693,98.355118	4	no symptom
7	PCH1	2022	Chiang Kham	Phayao	19.460657,100.336754	7.5	no symptom
8	PCH2	2022	Chiang Kham	Phayao	19.458719,100.336143	17.5	no symptom
9	PCH3	2022	Chiang Kham	Phayao	19.463728,100.340408	6	no symptom
10	PCH4	2022	Chiang Kham	Phayao	19.470993,100.337334	20	no symptom
11	PTT1	2022	Thoeng	Chiang Rai	19.680710,100.264610	8.3	no symptom
12	PTT2	2022	Thoeng	Chiang Rai	19.707636,100.286598	2.8	no symptom
13	PPT1	2022	Phop Phra	Tak	16.593417,98.776481	9.5	no symptom
14	PPT2	2022	Phop Phra	Tak	16.593586,98.775317	2.3	no symptom
15	PPT3	2022	Phop Phra	Tak	16.529611,98.746911	10	no symptom
16	PPT4	2022	Phop Phra	Tak	16.554108,98.823697	18	no symptom
17	SKH1	2023	Mueang	Sakon-Nakhon	17.125953,104.290058	1	no symptom
18	SKH2	2023	Mueang	Sakon-Nakhon	17.131453,104.287633	3	no symptom
19	SKH3	2023	Mueang	Sakon-Nakhon	17.131328,104.302286	9	no symptom
20	SKH4	2023	Mueang	Sakon-Nakhon	17.131447,104.287642	1	no symptom
21	SKH5	2023	Phang Khon	Sakon-Nakhon	17.354119,103.760042	7	no symptom
22	NKH1	2023	Wang Yang	Nakhon Phanom	17.063889,104.368097	1.2	no symptom
23	NKH2	2023	Wang Yang	Nakhon Phanom	17.062417,104.373553	5	no symptom

สรุป

การตรวจวินิจฉัยเชื้อ *Ca.* L. solanacearum สาเหตุโรค zebra chip ด้วยเทคนิค nested PCR มีความรวดเร็ว แม่นยำ และมีความไวสูง ผลการตรวจหัวพันธุ์มันฝรั่งนำเข้าในช่วงปี พ.ศ. 2564-2566 ไม่พบการติดเชื้อและไม่พบอาการของโรค ข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นหลักฐานเชิงวิชาการในการพิจารณาปรับปรุงเงื่อนไขการอนุญาตนำเข้าหัวพันธุ์มันฝรั่งจากแหล่งเดิมหรือแหล่งใหม่ และการตรวจสอบเช่นนี้ช่วยสกัดกั้นศัตรูพืชกักกันไม่ให้เข้ามาระบาดในประเทศ และทำให้เกษตรกรที่ใช้หัวพันธุ์จากบริษัทผู้นำเข้าได้รับหัวพันธุ์ที่สะอาด ปลอดศัตรูพืช ลดความเสี่ยงต่อการสูญเสียผลผลิต และช่วยลดต้นทุนการจัดการศัตรูพืชในระยะต้นกล้า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ด่านตรวจพืชลาดกระบัง และด่านตรวจพืชท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ที่อำนวยความสะดวกในการสุ่มตรวจตัวอย่างในเบื้องต้นและนำส่งตัวอย่างมายังห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยการกักกันพืชและอนุเคราะห์ให้ข้อมูลการนำเข้าหัวพันธุ์มันฝรั่งเสมอมา และขอขอบคุณผู้ร่วมงานวิจัยทุกท่านที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ สถานที่และให้คำปรึกษาข้อมูลด้านศัตรูพืชและวิธีการตรวจสอบได้จนสำเร็จครบตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

เอกสารอ้างอิง

Department of Agriculture. 2015. Notification of the Department of Agriculture: Conditions for the importation of fresh chili from New Zealand B.E. 2558. Royal Thai Government Gazette 132 (267 Ng), 132 52-58 p. (in Thai)

Donna, S.S., P.W. Maxwell and S.H. De Boer. 2005. Comparison of several methods for the extraction of DNA from potatoes and potato-derived products. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53(26): 9848-9859.

European and Mediterranean Plant Protection Organization Global Database. 2024. *Candidatus* Liberibacter solanacearum. (Online). Available: https://gd.eppo.int/taxon/LIBEPS (March 31, 2024).

International Plant Protection Convention. 2008. Methodologies for sampling of consignments. 2008. ISPM No. 31, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 24 p.

Liefting, L.W., B.S. Weir, S.R. Pennycook and G.R.G. Clover. 2009. '*Candidatus* Liberibacter solanacearum', associated with plants in the family Solanaceae. International Journal of Systematics and Evolutionary Microbiology 59(9): 2274-2276.

Munyaneza, J.E., T.W. Fisher, V.G. Sengoda, S.F. Garczynski, A. Nissinen and A. Lemmetty. 2010. First report of '*Candidatus* Liberibacter solanacearum' associated with psyllid-affected in carrots in Europe. Plant Disease Journal 94(5): 639. doi:10.1094/PDIS-94-5-0639A.

Subcommittee on Plant Health Diagnostic Standards. 2017. Diagnostic protocol for the identification and detection of *Candidatus* Liberibacter solanacearum, the causal agent of zebra chip of potatoes. The Australian Government Department of Agriculture. 38 p.

Evaluation of Quick Assessment Method for Mechanical Damage in Soybean Seed

การประเมินวิธีการตรวจสอบความเสียหายทางกลแบบรวดเร็วในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

Papassorn Wattanakulpakin[1*], Kantima Thongsri[2], and Paveena Ruk-Ak[1]

ภภัสสร วัฒนกุลภาคิน[1*] กัณฑิมา ทองศรี[2] และ ปวีณา รักอก[1]

[1]Phitsanulok Seed Research and Development Center, Wang Thong, Phitsanulok 65130, Thailand

[1]ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก อ.วังทอง จ.พิษณุโลก 65130

[2]Chiangmai Seed Research and Development Center, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand

[2]ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชเชียงใหม่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

** Corresponding author: Email: kwanpapas@gmail.com*

(Received: 8 February 2025; Revised: 23 September 2025 ; Accepted: 26 September 2025)

บทคัดย่อ: ความเสียหายทางกลของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บเกี่ยวและปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากมีองค์ประกอบเป็นโปรตีนและน้ำมันสูง เมล็ดจึงเสียหายง่าย ส่งผลให้ผลผลิตและคุณภาพลดลง วิธีการตรวจสอบความเสียหายทางกลด้วยอินด็อกซิลอะซิเตท (IDA) เป็นวิธีแนะนำในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง แต่ค่อนข้างยุ่งยาก ต้นทุนสูง และไม่เหมาะสมต่อการใช้ในสภาพแปลงปลูก งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาวิธีตรวจสอบความเสียหายทางกลที่รวดเร็วในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์ กวก. เชียงใหม่ 60 จำนวน 15 ล็อต ได้แก่ ฟาสก์กรีน (FG) เฟอร์ริค คลอไรด์ (FC) และ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (SDH) เปรียบเทียบกับวิธี IDA ผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยความงอกและความแข็งแรงที่ตรวจสอบด้วยวิธีการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองอยู่ในช่วง 71-90 เปอร์เซ็นต์ และ 46-86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ความเสียหายทางกลที่ตรวจสอบด้วยวิธี IDA มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.9 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับวิธี FG (11.3 เปอร์เซ็นต์), FC (11.2 เปอร์เซ็นต์) และ SDH (11.6 เปอร์เซ็นต์) เมื่อวิเคราะห์ด้วย paired t-test สำหรับค่าความสัมพันธ์ระหว่างวิธีตรวจสอบความเสียหายทางกลพบว่า IDA และ SDH ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และสมการถดถอยเชิงเส้น (R^2) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าการแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ตรวจสอบด้วยวิธี SDH จะสูงกว่า IDA แต่วิธีการนี้ให้ค่าความสัมพันธ์กับวิธี IDA มากที่สุด และพบความสัมพันธ์แบบผกผันในระดับกลางกับความงอก เป็นวิธีที่ง่าย ต้นทุนต่ำ จึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ กวก. เชียงใหม่ 60 ในสภาพแปลงปลูกมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น

คำสำคัญ: เมล็ดเสียหายทางกล, วิธีทดสอบความเสียหายทางกล, คุณภาพเมล็ดพันธุ์

Copyright @ Journal of Agricultural Research and Communications. All rights reserved.

Abstract: Mechanical damage plays an important role in seed quality. According to high protein and oil components, soybean seed becomes fragile during harvesting and processing, resulting in reduced seed yield and quality. Mechanical damage to the seed is monitored after threshing and processing to reduce loss of quantity and quality. Although the Indoxyl acetate (IDA) test is recommended for mechanical soybean seed damage detection, it is complicated, expensive, and difficult to apply in the field. Therefore, quick assays were conducted on 15 soybean (cv. DOA Chiangmai 60) seed lots to detect mechanical damage to soybean seed, namely fast green (FG), ferric chloride (FC), and sodium hypochlorite (SDH), and the results were then compared with the IDA method. The germination and vigor—as measured by accelerated aging tests—ranged from 71% to 90% and 46% to 86%, respectively. The average mechanical damage to 15 seed lots tested by IDA equated to 7.9%, significantly different from FG (11.3%), FC (11.2%), and SDH (11.6%) methods determined by the paired t-test. The correlation coefficient (*r*) and linear regression (R^2) among mechanical damage methods were analyzed, with the greatest significance found between IDA and SDH. Although the mechanical damage determined by SDH was significantly higher than IDA, this method revealed the closest relationship with IDA and exhibited the moderate negative correlation with germination, as well as being the easiest, cheapest, and most feasible for soybean seed cv. DOA Chiangmai 60 application in the field compared to other methods.

Keywords: Mechanical damaged seeds, mechanical damage detection methods, seed quality

Introduction

Soybean, a leguminous crop, is widely used in food and feed industries. In 2023, Thailand imported about 3.28 million tons of soybeans, accounting for 99.5% of its domestic consumption, from Brazil, the USA, and Canada (Ministry of Commerce, 2024). Seeds are essential for food production, yet the availability of soybean seeds in Thailand is constrained by limited suitable planting areas. Moreover, the scarcity of soybean seeds may be affected by intrinsic factors, such as genetics, and extrinsic factors, such as environmental conditions, harvesting practices, and processing procedures (Carbonell and Krzyzanowski 1995; El-Abady *et al*. 2012; Gagre *et al*. 2014). Together, these factors lead to a decrease in soybean seed yield and quality. Mechanical damage to soybean seeds can be caused by several factors, including a thin seed coat, high oil and protein content, unfavorable environmental conditions, threshing processes, and seed processing or upgrading (Carvalho and Novembre, 2013; VanUtrecht, 2000). These factors are linked to a decline in germination, vigor, and storability of soybean seeds (El-Abady *et al*., 2012; Parde *et al*., 2002; VanUtrecht, 2000). In some cases, the damage may be visibly noticeable, primarily affecting the seed coat or internal structures, such as the cotyledon and embryo, requiring specific diagnostic or quantification techniques (Zonta *et al*., 2011). The indoxyl acetate method is commonly used to assess mechanical damage in soybean seeds (Paulsen and Nave, 1979) as it effectively indicates the extent of seed damage (VanUtrecht, 2000). However, this method is complex and mainly suited to laboratory settings. Alternative methods for examining mechanical damage include the use

of a fast green dye for corn (Marcos Filho *et al.*, 1987), ferric chloride for soybean (Gagare *et al.*, 2014; VanUtrecht, 2000), lucerne (De Barro, 2008), sodium hypochlorite soaking in soybean (Gagre *et al.*, 2014; VanUtrecht, 2000), and coffee (Zonta *et al.*, 2011).

This study aimed to compare other methods with IDA and identify the fastest and easiest method for detecting mechanical damage to soybean seeds. This would enable producers and farmers to quantify seed damage during threshing or processing, allowing them to adapt their machinery to minimize the loss of seed yield and quality.

Materials and Methods

Sample preparation

Soybean seeds cv. DOA Chiangmai 60 were planted during the dry season of 2022 in Nan Province, Thailand, and harvested from March to April. Following mechanical seed threshing, all seed lots were sampled for quality testing of germination, vigor by accelerated aging (AA) tests (International Seed Testing Association, 2022) and mechanical damage by indoxyl acetate (IDA) test; the recommended method for soybean (Paulsen and Nave, 1979). This step was carried out to select seed lots with 0-20% damage, a range commonly encountered in the seed production process. A total of fifteen seed lots meeting this criterion were identified and subsequently used in the experiment. The percentage of mechanical in the fifteen seed lots were then determined by the IDA test, and other methods, including fast green (FG) (Chowdhury and Buchele, 1976), ferric chloride (FC) (Agrawal, 1995), and sodium hypochlorite (SDH) (VanUtrecht, 2000) were tested and compared with the IDA procedure.

Germination test

Four replications of 100 seeds were performed in a laboratory setting. Seed samples were planted by the between paper method and placed in the germination room at alternating temperatures of 20<=>30 ºC ± 2 ºC. Seedlings were evaluated after eight days, and the number of normal and abnormal seedlings, fresh seeds, or dead seeds was counted and reported in percentage terms (International Seed Testing Association, 2022).

Accelerated aging test (AA test)

Soybean seeds were prepared using four replications of 100 seeds. The seeds were then placed on the wire tray of an AA box containing 40 ± 1.0 ml of distilled water and the lid tightly closed. The AA boxes were incubated at 41 ± 0.3 ºC for 72 hours; the standard germination test was then performed, and the number of normal seedlings was counted (International Seed Testing Association, 2022).

Mechanical damage tests

1) Indoxyl acetate (IDA)

Indoxyl acetate ($C_{10}H_9NO_2$) is a biological dye used to stain cells for analysis. It has been used with whole soybean seeds for detecting seed coat cracks. In this study, four replicates of 50 soybean seeds were soaked in a 0.1% indoxyl acetate solution dissolved with 10% ethyl alcohol for 10 seconds, removed, and spread out on a paper towel before being sprayed with a 20% ammonia solution for 10 seconds. Thereafter, the soybean seeds were allowed to air dry for about 4-5 minutes (Paulsen and Nave, 1979) due to the strong odor of ammonia coming from the fume hood. The seeds were then visually inspected for the blue-green

stain and counted. The level of damage was based on the percentage of stained soybeans or color intensity on the soybeans (Figure 1). The percentage of stained seeds were calculated according to the formular;

$$\%\text{Mechanical damage of seeds} = \left(\frac{\text{Number of detected seeds}}{\text{Total number of tested seeds}} \times 100\right)$$

2) Fast green (FG)

Four replicates of soybean seeds were prepared, each with 50 seeds. Then, 50 soybean seeds were placed in a beaker and soaked with 0.1% fast green for 30 seconds. Fast green would penetrate any fractured area, turning the seed coat green. The seeds were rinsed with distilled water and spread out on a paper towel to dry at room temperature (Chowdhury and Buchele, 1976). Damaged seeds were visually identified by their green seed coats and then counted and calculated in percentage terms.

$$\%\text{Mechanical damage of seeds} = \left(\frac{\text{Number of detected seeds}}{\text{Total number of tested seeds}} \times 100\right)$$

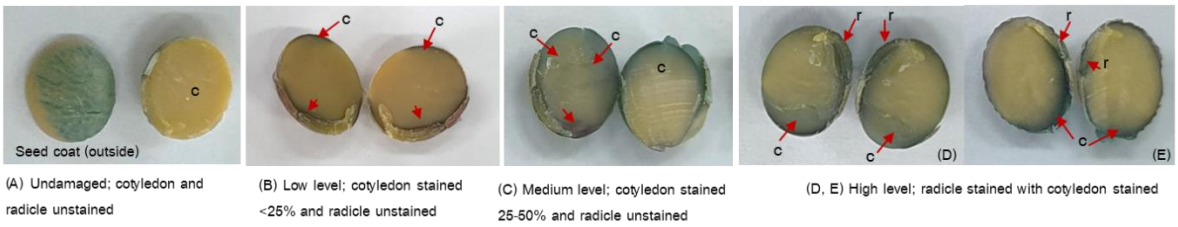
3) Ferric chloride (FC)

A ferric chloride ($FeCl_3$) solution at 20% was prepared by dissolving with distilled water. Four replicates of 50 soybean seeds were placed in a petri dish, soaked with 20% ferric chloride solution for 15 minutes, and then removed from the solution (Agrawal, 1995). The mechanical damage of seed coats were stained black, with all stained black seeds being counted and expressed as a percentage. The solution could be strained and reused

$$\%\text{Mechanical damage of seeds} = \left(\frac{\text{Number of detected seeds}}{\text{Total number of tested seeds}} \times 100\right)$$

4) Sodium hypochlorite (SDH)

The laboratory sodium hypochlorite (NaOCl) was used to prepare a 3-5% solution using distilled water for dilution. Four replicates of 50 soybean seeds were submerged in this solution for about 10 minutes. The mechanically damaged soybean seeds, which had swelled to twice or three times their original size, were then removed from the solution and counted (VanUtrecht, 2000). Swollen seeds could be visually differentiated from normal soybeans. However, this method did not indicate



(A) Undamaged; cotyledon and radicle unstained

(B) Low level; cotyledon stained <25% and radicle unstained

(C) Medium level; cotyledon stained 25-50% and radicle unstained

(D, E) High level; radicle stained with cotyledon stained

Figure 1. Mechanical damage levels of soybean seed cv. DOA Chiangmai 60 dyed with 0.1% IDA, (A) undamaged; cotyledon (c) and radicle (r) unstained, (B) low damage level; cotyledon stained <25% and radicle unstained, (C) medium damage level; cotyledon stained 25-50% and radicle unstained, and (D, E) high damage level; radicle stained with cotyledon stained, or only radicle stained or cotyledon stained >50% (no picture).

the level of damage to an individual soybean. A soybean with a small crack would swell just as much as one with a large crack. The swollen seeds were calculated as percentage of damaged seeds by the following formular;

$$\%\text{Mechanical damage of seeds} = \left(\frac{\text{Number of detected seeds}}{\text{Total number of tested seeds}} \times 100 \right)$$

Data analyses

The correlation coefficient (*r*) and regression (R^2) of seed germination, vigor, and mechanical damage methods were analyzed. The paired *t*-test was applied for mean comparison between IDA and other methods causing mechanical damage using IBM SPSS Statistics version 20.

Results

The germination and vigor determined by the AA test were investigated in soybean seed cv. Chiangmai 60 using 15 seed lots. The average germination and vigor were found to be 82% and 66%, respectively (Table 1), while the seed moisture content ranged from 9-11%. The mechanical damage caused to 15 soybean seed lots was analyzed using the IDA method and reported as the mechanical damage percentage. Three other I methods, FG, FC, and SDH, were applied to all seed lots to check the percentage of mechanical damage for comparison with the recommended IDA method (Figure. 2). The means of the mechanical damage were 7.9, 11.3, 11.2, and 11.6% for IDA, FG, FC, and SDH, respectively (Table 1). The IDA method produced the lowest percentage of average mechanical damage, demonstrating a significant difference compared to other methods determined by the paired *t*-test (Table 2). Meanwhile, there was no significant difference in the average number of mechanical damages among FG, FC, and SDH methods (Table 2). The highest correlation coefficients (*r*), with more than 0.800, among mechanical damage detection methods were found between IDA&FC ($r = 0.8543^{**}$), IDA&SDH ($r = 0.9515^{**}$) and FC&SDH ($r = 0.8689^{**}$), respectively (Table 3). Moreover, the relationship between IDA and SDH showed the highest linear regression (R^2) at 0.9054** (Figure. 3C). A moderate relationship was found between IDA&FC ($R^2 = 0.7299^{**}$) and FC&SDH ($R^2 = 0.7550^{**}$) (Figure. 3B, 3F). The negative relationships between mechanical damage determined by the four methods and seed quality evaluated by germination and the AA test were revealed in this experiment (Table 3). The highest negative correlation between germination and damaged seeds was observed in G&FG ($r = -0.7454^{**}$, $R^2 = 0.5746^{**}$), followed by G&SDH ($r = -0.6943^{**}$, $R^2 = 0.4809^{**}$) (Table 3, Figure. 4B, 4D). Moderate correlations were found for AA&FG ($r = -0.5747^{*}$) and AA&FC ($r = -0.5709^{*}$); however, their corresponding R^2 values were comparatively low (Table 3, Figure. 4E, 4F).

Table 1. Mean of germination percentages, accelerated aging (AA) test results, and mechanical damage in soybean seeds as determined by indoxyl acetate (IDA), fast green (FG), ferric chloride (FC), and sodium hypochlorite (SDH) for 15 seed lots of soybean seeds cv. DOA Chiangmai 60

Seed lots	Germination[1/] (%)	AA[1/] (%)	Mechanical damage of soybean seeds (%)[1/] Mechanical damage detection methods IDA	FG	FC	SDH
1	90 ± 2.00	86 ± 2.05	9.5 ± 2.33	5.5 ± 0.93	9.0 ± 4.90	10.5 ± 4.63
2	90 ± 1.20	80 ± 0.46	1.5 ± 1.77	7.0 ± 4.41	6.5 ± 2.78	4.5 ± 1.77
3	87 ± 2.05	57 ± 0.76	7.0 ± 2.39	7.5 ± 0.93	13.3 ± 1.39	9.0 ± 2.39
4	86 ± 2.14	80 ± 1.58	8.0 ± 2.14	10.5 ± 4.38	10.0 ± 2.62	11.5 ± 4.11
5	84 ± 2.31	76 ± 1.69	3.0 ± 0.76	3.5 ± 0.93	5.5 ± 2.33	4.0 ± 2.62
6	83 ± 3.58	50 ± 2.27	6.5 ± 2.33	7.5 ± 3.16	7.5 ± 4.11	6.5 ± 3.16
7	82 ± 1.58	75 ± 5.37	11.0 ± 3.21	11.0 ± 4.90	10.0 ± 0.00	16.5 ± 1.77
8	81 ± 2.31	70 ± 1.39	7.5 ± 2.33	11.5 ± 5.32	10.0 ± 2.62	11.5 ± 0.93
9	81 ± 4.74	62 ± 5.04	6.0 ± 2.62	20.0 ± 5.24	8.5 ± 0.93	10.0 ± 2.62
10	80 ± 2.00	61 ± 2.27	4.0 ± 1.31	10.5 ± 4.11	4.5 ± 1.77	8.5 ± 1.77
11	80 ± 3.58	55 ± 2.05	11.5 ± 2.33	10.0 ± 1.51	15.5 ± 5.53	16.5 ± 4.63
12	80 ± 1.16	75 ± 2.55	7.0 ± 1.07	6.0 ± 2.62	6.5 ± 1.77	10.0 ± 2.62
13	80 ± 3.73	59 ± 2.05	12.0 ± 4.00	17.0 ± 6.14	21.0 ± 8.35	18.0 ± 9.20
14	78 ± 5.48	63 ± 6.14	8.5 ± 3.16	14.5 ± 3.51	14.5 ± 0.93	14.0 ± 2.62
15	71 ± 2.88	46 ± 2.43	16.0 ± 4.54	27.0 ± 8.88	25.0 ± 3.85	23.0 ± 4.90
Mean	**82 ± 4.87**	**66 ± 11.79**	**7.9 ± 3.67**	**11.3 ± 6.09**	**11.2 ± 5.70**	**11.6 ± 5.13**

[1/]Mean ± Standard deviation

Table 2. The mean comparison among mechanical damage detection methods indoxyl acetate (IDA), fast green (FG), ferric chloride (FC), and sodium hypochlorite (SDH) by the paired *t*-test for 15 seed lots of soybean seeds cv. DOA Chiangmai 60

Comparisons	Mechanical damage (%)	Stdv.	*t* value	df	Sig.[1/]
IDA & FG	7.9 & 11.3	4.83	2.67	14	*
IDA & FC	7.9 & 11.2	3.26	3.83	14	**
IDA & SDH	7.9 & 11.6	2.02	7.02	14	**
FG & FC	11.3 & 11.2	4.40	0.1026	14	ns
FG & SDH	11.3 & 11.6	4.17	0.3093	14	ns
FC & SDH	11.2 & 11.6	2.88	0.6054	14	ns

[1/]Confidential levels at $*P < 0.05$; $**P < 0.01$; ns; non-significant.

Table 3. Correlation coefficient (*r*) analysis among germination (%) and vigor (%) (as measured via the AA test) and mechanical damage detection methods (%) determined by indoxyl acetate (IDA), fast green (FG), ferric chloride (FC), and sodium hypochlorite (SDH) for 15 seed lots of soybean seeds

Parameters	Correlation coefficient (*r*)[1/]					
	Germination	AA (%)	IDA (%)	FG (%)	FC (%)	SDH (%)
G (%)	1.0000	0.6695**	-0.5874*	-0.7454*	-0.5874*	-0.6943**
AA (%)	.	1.0000	-0.4159	-0.5747*	-0.5709*	-0.4283
IDA (%)	.	.	1.0000	0.6269*	0.8543**	0.9515**
FG (%)	.	.	.	1.0000	0.7326**	0.7457**
FC (%)	.	.	.	.	1.0000	0.8689**
SDH (%)	.	.	.	.	.	1.0000

[1/]Pearson's rank correlation, *$P < 0.05$; **$P < 0.01$.

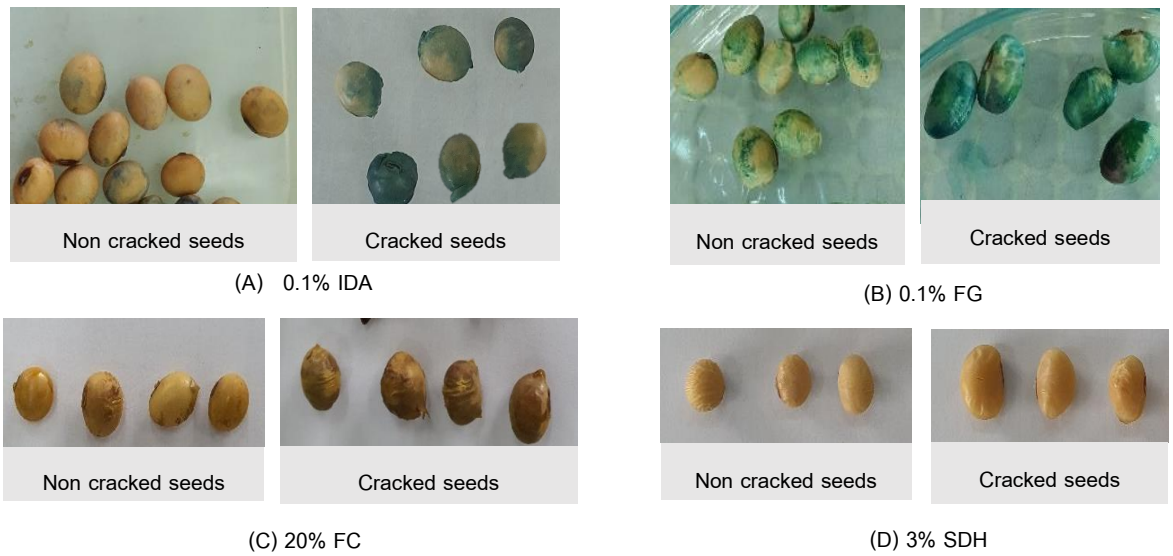


Figure 2. Soybean seed cv. DOA Chiangmai 60 dyed with (A) 0.1% indoxyl acetate (IDA), (B) 0.1% fast green (FG), (C) 20% ferric chloride (FC), and (D) soaking with 3% sodium hypochlorite (SDH)

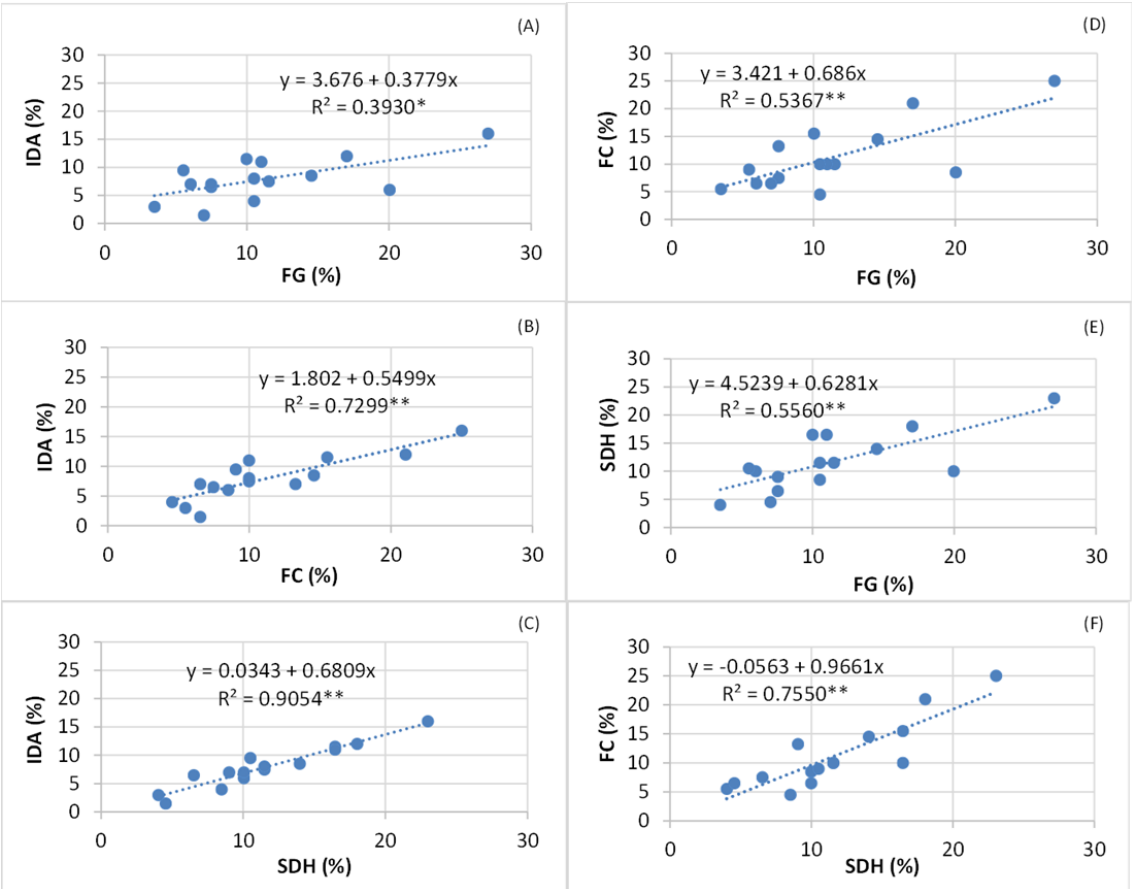


Figure 3. Linear regression (R^2) among the mechanical damage detection methods: (A) indoxyl acetate (IDA) and fast green (FG), (B) IDA and ferric chloride (FC), (C) IDA and sodium hypochlorite (SDH), (D) FC and FG, (E) SDH and FG, and (F) FC and SDH for 15 seed lots of soybean seeds cv. DOA Chiangmai 60

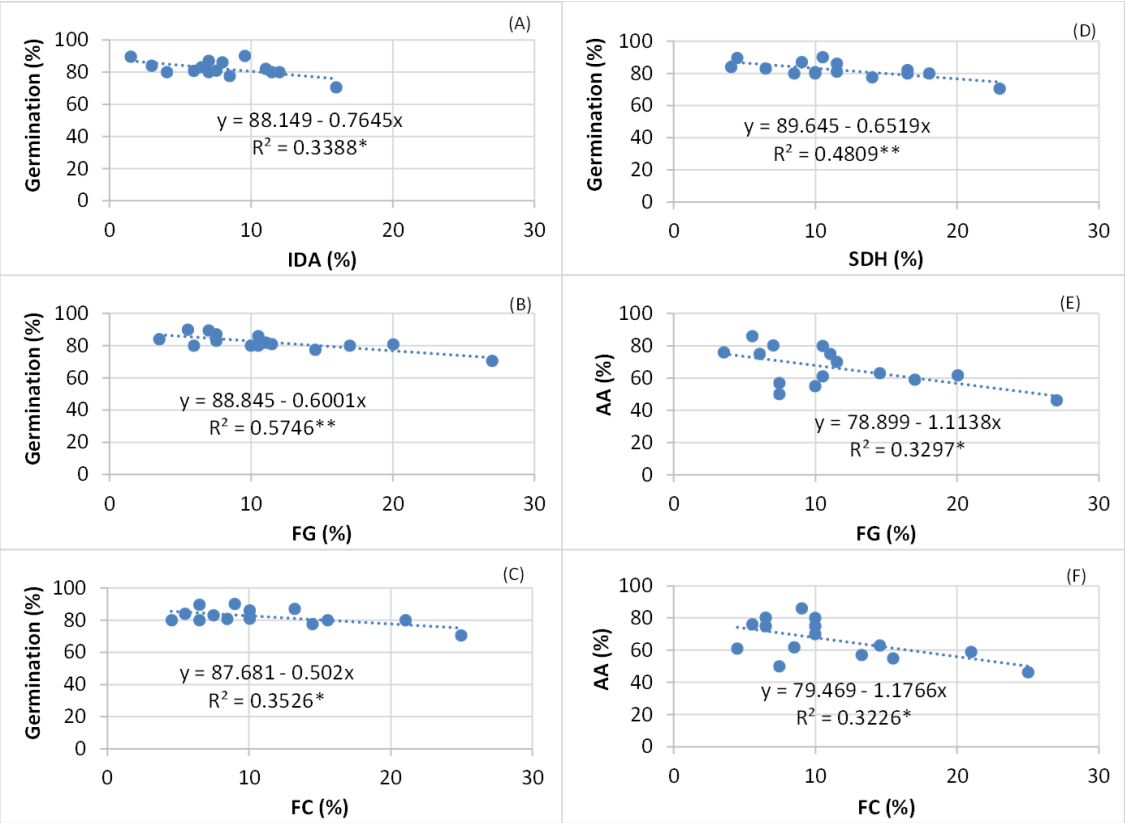


Figure 4. Linear regression (R^2) between seed quality and the mechanical damage detection methods: (A) germination and indoxyl acetate (IDA), (B) germination and fast green (FG), (C) germination and ferric chloride (FC), (D) germination and sodium hypochlorite (SDH), (E) accelerated aging (AA) and FG, and (F) AA and FC for 15 seed lots of soybean seeds cv. DOA Chiangmai 60

Discussion

In this research, the highest correlation was observed between IDA and SDH, indicating that SDH was more suitable for quick test application than other methods (Table 3 and Figure. 3C). The same trend was identified by VanUtrecht (2000), who reported that the SDH method was more effective in identifying mechanical damage to soybean seeds compared to the IDA test. Although a strong relationship was found between IDA and SDH in this research, the mean of the mechanical damage in SDH was revealed to be highly significant compared to IDA (Table 2). Moreover, there were no significant differences in mechanical damage percentages among the three methods: FG, FC, and SDH (Table 2). This may be due to the solution of SDH, FG, or FC directly penetrating through the damaged seed coat, resulting in the soybean seed being twice or three times bigger than the initial size for SDH soaking (Figure. 2D). The staining of FG and FC can be visually observed by the entire seed coat turning green and black, respectively (Figure. 2B - C). At the same time, IDA will penetrate through a scratch or a rupture in the seed coat to the inner layer. Enzyme activity in these cells then hydrolyzes the indoxyl acetate, creating a blue-green color, indicating the area of the seed coat damage (Paulsen and Nave, 1979) (Figure. 2A). This may be due to a smaller number of mechanical damages being detected by IDA than SDH, FG, or FC in this research (Table 1).

The mechanical damage detection method in field testing is applied to evaluate the trend of seed quality after harvesting, threshing, or processing by focusing on its ease of use, speed, and cost-effectiveness. According to the results of this study, SDH was found to have the closest relationship with IDA, both in terms of correlation coefficient (*r*) and linear regression (R^2). Consequently, it would be more advantageous to develop the SDH method for field assessment in comparison to IDA. Moreover, SDH is a simple technique for analysis since the seeds twice or three times their original size just need to be counted, with the whole process taking about 15 minutes and costing 10 THB/sample. In contrast, the IDA method requires more chemicals, apparatus, and human skill, as well as being more time-consuming (around 30 minutes for all steps) and more expensive at about 450 THB/sample. The other two methods are neither too difficult nor expensive; the FG method takes around five minutes and FC about 20 minutes, while the cost of each method is approximately 20 THB/sample. However, their relationships with IDA were not as satisfactory as SDH. The methods suitable for detecting damage seeds could be crop species dependent. In lucerne seeds, the FC method was introduced to detect mechanical damage in field testing, demonstrating a relationship between abnormal seedling and seed damage during harvest (De Barro, 2008), while FG has been suggested for corn (Marcos Filho *et al*., 1987).

Previous research has found that mechanical damage decreases soybean seed vigor and reduces germination and shelf life (Maryam and Oskouie, 2011; Vearasilpa *et al*., 2001). This may result in the embryo being damaged since it is close to the seed coat and very susceptible (Maryam and Oskouie, 2011). Nevertheless, this present research has revealed a moderate negative correlation between seed germination and mechanical damage detected by FG (r = - 0.7454*, R^2 =0.5746**) and SDH (r = -0.6943**, R^2 = 0.4809**) (Table 3, Figure. 4B, 4D). Meanwhile,

soybean seed vigor determined by the AA test exhibited a low correlation with mechanical damage percentage in all examined methods (Table 3, Figure. 4E - F). In 2011, Maryam and Oskouie reported that the mechanical damage percentage correlated with the electrical conductivity in soybean seeds. Further study could be conducted to investigate the correlation between mechanical damage using other seed vigor tests, such as electrical conductivity or mean germination time, to clarify the relationship between mechanical damage and the vigor in soybean seeds.

Conclusion

This research revealed that mechanical damage detected by SDH exhibited the greatest relationship with IDA and was simplest, cheapest, and most suitable for field test in soybean seed cv. DOA Chiangmai 60 application compared to other methods. Additionally, mechanical damage percentages determined by all four methods exhibited moderate negative correlations with germination. Future studies could involve the development of the SDH method to make it more precise and practical for mechanical damage detection in soybean seeds, either in a laboratory setting or field application.

Acknowledgment

This research was funded by Thailand Science Research and Innovation (TSRI), and appreciation is expressed to the Phitsanulok Seed Research and Development Center, Department of Agriculture, for their support.

References

Agrawal, R.L. 1995. Seed Technology. 2nd ed. Oxford and IBH Publishing Company, New Delhi. 842 p.

Carbonell S.A.M. and F.C. Krzyzanowsk. 1995. The pendulum test for screening soybean genotypes for seed resistant to mechanical damage. Seed Science Technology 23(2): 331-339.

Carvalho, T.C. and A.D.L.C. Novembre. 2013. Identification of soybean seed coat damage. Applied Research and Agrotechnology 6(1): 85-90.

Chowdhury, M.H. and W.F. Buchele. 1976. Colorimetric determination of grain damage. Transactions of the ASAE 19(5): 807-808.

De Barro, J. 2008. Understanding and managing the causes of abnormal seedlings in lucerne. RIRDC publication no. 08/023. Rural Industries Research and Development Corporation, Barton. 4 p.

El-Abady, M.I., A.A.M. Ek-Emam, S.E. Seadh and F.I. Yousof. 2012. Soybean seed quality as affected by cultivars, threshing methods and storage periods. Research Journal of Seed Science 5(4): 115-125.

Gagare, K.C., R.W. Bharud, V.R. Shelar, and A.P. Karjule. 2014. Detection of mechanical damage to soybean seed surface using ferric chloride test. Agricultural Science Digest 34(4): 289-292.

Gagre, K.C., R.W. Bharud and A.P. Karjule. 2014. Study of mechanical damage of soybean due to different threshing and processing methods by using sodium

hypochlorite test. American-Eurasian Journal Agricultural & Environmental Sciences 14(6): 570-574.

International Seed Testing Association. 2022. International rules for seed testing, Bassersdorf. 314 p.

Marcos Filho, J., S.M. Cícero and W.R. Silva. 1987. Seeds Quality Evaluation. FEALQ, Piracicaba. 230 p.

Maryam, D. and B. Oskouie. 2011. Study the effect of mechanical damage at processing on soybean seed germination and vigor. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science 6(7): 60-64.

Ministry of Commerce. 2024. Soybean. (Online). Available: https://regional.moc.go.th/th/file/get/ file/202404175fbc35f6fc4ca837e3291fd3560e9a7b085305.pdf. (November 20, 2024). (in Thai)

Parde, S.R., R.T. Kausal, D.S. Jayas and N.D.G. White. 2002. Mechanical damage to soybean seed during processing. Journal of Stored Products Research 38(4): 385-394.

Paulsen, M.R. and W.R. Nave. 1979. Improved indoxyl acetate test for detecting soybean seed coat damage. Transactions of the ASAE 22(6): 1475-1479.

VanUtrecht, D., C.J. Bern and I.H. Rukunudin, 2000. Soybean mechanical damage detection. Applied Engineering in Agriculture 16(2): 137-141.

Vearasilpa, S., P. Somchai, K. Nattasak, Th. Sanguansak, S. Sangitwa and P. Elke. 2001. Assessment of post harvest soybean seed quality loss. *In*: Conference on International Agricultural Research for Development, Institute for Agricultural Chemistry, Georg - August University, Göttingen.

Zonta, J.B., E.F. Araújo, R.F. Araújo, F.M.G. Zonta and M.S. Reis. 2011. Characterization of mechanical damage in coffee seeds by the LERCAFÉ test. IDESIA (Chile) 29(3): 33-38.

การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวด้วยเทคโนโลยีพร้อมใช้บนพื้นที่สูง ในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน

Development and Increasing Efficiency of Highland Rice Production by Ready-to-use Technology in Pang Mapha District, Mae Hong Son Province

ฐปรัฏฐ์ สีลอยอุ่นแก้ว[1*] ศรายุทธ วงค์คำ[1] แสงทิวา สุริยงค์[2] และสุทธกานต์ ใจกาวิล[3]

Taparat Seeloy-ounkaew[1*], Sarayoot Wongkum[1], Sangtiwa Suriyong[2] and Suttakarn Jaikawin[3]

[1]ศูนย์วิจัยข้าวแม่ฮ่องสอน อ.ปางมะผ้า จ.แม่ฮ่องสอน 58150

[1]Mae Hong Son Rice Research Center, Pang Mapha, Mae Hong Son 58150, Thailand

[2]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

[2] Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

[3]ศูนย์วิจัยข้าวแพร่ อ.เมือง จ.แพร่ 54000

[3]Phrae Rice Research Center, Muang, Phrae 54000, Thailand

** Corresponding author: Email: taparat.s@rice.mail.go.th*

(Received: 10 February 2025; Revised: 23 September 2025 ; Accepted: 26 September 2025)

Abstract: The objective of this research was to develop and improve the efficiency of highland rice production using ready-to-use technology in Pang Mapha District, Mae Hong Son Province. The experiment compared the Rice Department's technology package, managed by researchers, with farmer's practices. Treatments were conducted in both lowland and upland rice ecosystems across six plots with two replications. The soils were classified as clay and sandy clay loam, with pH ranging from slightly acidic to very strongly acidic, and organic matter levels from medium to high. Comparison of fertilizer management methods showed that plots managed by researchers produced higher rice yields than those managed. Differences in tiller number and plant height were observed between upland and lowland ecosystems. Rice yields in the technology verification plots ranged from 372.2 to 492.5 kg/rai, with yield components including 1,000-grain weight of 31.5-38.8 g and panicle length of 25.7-30.8 cm. In contrast, yields from farmer-managed plots ranged from 276.0 to 460.8 kg/rai, with 1,000-grain weight of 29.8-37.0 g and panicle length of 25.3-29.6 cm. Notably, the rice variety Bua Mae Cha Tha, transplanted in all demonstration plots, produced higher yields than farmer fields. In Ban Mueang Pham (T1), panicle number was 220 panicles/m^2, lowland than in T2 (259 panicles/m^2), but T2 still produced the highest yield (674 kg/rai) due to its longer panicles (about 3 cm longer). Therefore, increasing the efficiency of rice production in this area requires site-specific technological approaches tailored to each ecosystem to achieve maximum rice yield

Keywords: Ready-to-use technology, highland rice, transplanting rice, yield, Mae Hong Son province

Copyright @ Journal of Agricultural Research and Communications. All rights reserved.

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวบนพื้นที่สูงโดยใช้เทคโนโลยีพร้อมใช้ในพื้นที่อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยเปรียบเทียบการจัดการแปลงข้าวระหว่างชุดเทคโนโลยีของกรมการข้าวที่ดำเนินการโดยนักวิจัยกับวิธีปฏิบัติของเกษตรกร การทดลองดำเนินการทั้งในสภาพข้าวไร่และข้าวนาสวน จำนวน 6 แปลง แปลงละ 2 ซ้ำ ผลการวิเคราะห์ดินพบว่าเป็นดินเหนียวและดินร่วนเหนียวปนทราย มีค่าความเป็นกรด-ด่างตั้งแต่กรดอ่อนจนถึงกรดจัดมาก และมีอินทรียวัตถุระดับปานกลางถึงสูง การเปรียบเทียบการจัดการปุ๋ย พบว่าแปลงที่นักวิจัยจัดการให้ผลผลิตสูงกว่าแปลงเกษตรกร โดยมีความแตกต่างด้านการแตกกอ และความสูงระหว่างระบบนิเวศข้าวไร่ และข้าวนาสวน ผลผลิตข้าวในแปลงสาธิตมีค่าเฉลี่ย 372.2-492.5 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด 31.5-38.8 กรัม และความยาวรวง 25.7-30.8 เซนติเมตร ขณะที่แปลงเกษตรกรให้ผลผลิต 276.0-460.8 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด 29.8-37.0 กรัม และความยาวรวง 25.3-29.6 เซนติเมตร สำหรับพันธุ์บือแหม่ชาถ่าในสภาพนาสวน พบว่าให้ผลผลิตสูงกว่าแปลงเกษตรกรทุกพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ T2 ที่ให้ผลผลิตสูงสุด 674 กิโลกรัมต่อไร่ เนื่องจากมีความยาวรวงมากกว่า T1 ประมาณ 3 เซนติเมตร แม้ว่าจำนวนรวงต่อตารางเมตรจะน้อยกว่า ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวในพื้นที่สูงจำเป็นต้องอาศัยวิธีการและเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่และระบบนิเวศของข้าว เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด

คำสำคัญ: เทคโนโลยีพร้อมใช้ ข้าวที่สูง ข้าวนาดำ ผลผลิต จังหวัดแม่ฮ่องสอน

คำนำ

ข้าวไร่เป็นข้าวที่ปลูกในสภาพไม่มีน้ำขัง หรือสภาพไร่ และปลูกผสมกับพืชอื่น ส่วนใหญ่ไม่มีระบบชลประทาน และไม่มีการพรวนดิน (International Rice Research Institute, 1990) ดังนั้นจึงเหมาะกับสภาพพื้นที่ในจังหวัดแม่ฮ่องสอน พันธุ์ข้าวไร่ในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นข้าวไวต่อช่วงแสง คือ สามารถปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี และพันธุ์ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมือง ซึ่งถูกแบ่งพันธุ์ตามความนิยมในการเลือกปลูกของแต่ละกลุ่มชาติพันธุ์ โดยปลูกกระจายไปตามพื้นที่สูงครอบคลุมทุกอำเภอของจังหวัดแม่ฮ่องสอน (Punyatuy *et al*., 2018) ข้าวในภาษาปกาเกอะญอใช้คำว่า “บือ” ดังนั้นคำเรียกชื่อพันธุ์จึงปรากฏคำดังกล่าว พันธุ์ที่ปลูกดั้งเดิมและผ่านการคัดเลือกโดยภูมิปัญญาของบรรพบุรุษจนเป็นมรดกสืบทอดต่อเนื่องกันมาค่อนข้างมีความหลากหลายทางชีวภาพ เนื่องจากการตัดสินใจในการเลือกใช้พันธุ์แตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล ชุมชนและท้องถิ่น ขึ้นอยู่กับปัจจัยบางอย่าง เช่น คุณภาพการหุงต้ม ผลผลิต ลักษณะ และรูปร่างเมล็ด ทรงต้นข้าว สภาพนิเวศของพื้นที่นา และสภาพแวดล้อม รวมทั้งความเชื่อต่าง ๆ ส่วนใหญ่บริโภคข้าวเจ้าเป็นอาหารหลัก เช่น พันธุ์เฟืองคำเป็นข้าวเจ้าพื้นเมืองของกลุ่มชาติพันธุ์ไทใหญ่ และกะเหรี่ยงที่ไม่มีพื้นที่นาสวนจึงปลูกในสภาพข้าวไร่ พบว่าให้ผลผลิตสูงจึงเป็นที่นิยมของกลุ่มชาติพันธุ์ในปัจจุบัน ส่วนพันธุ์บือแหม่ชาถ่า แปลว่า ข้าวจากบ้านแม่ชา เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรจากหมู่บ้านเมืองแพมได้เดินทางไปรับลูกเขยที่บ้านแม่ชา ตำบลแม่นาจร อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ และนำมาปลูกที่บ้านเมืองแพม ปรากฏว่าได้ผลผลิตดี เกษตรกรติดใจในรสชาติ มีลักษณะเป็นข้าวเจ้า ไวต่อช่วงแสง พื้นนุ่ม นอกจากนี้ยังมีพันธุ์ กข21 เป็นข้าวเจ้า ต้นข้าวสูงประมาณ 100-125 เซนติเมตร ไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 120-130 วัน ลำต้นใหญ่ แต่ค่อนข้างอ่อน รวงแน่นอยู่ใต้ใบธง ปริมาณอมิโลส 17-20 % คุณภาพข้าวสุก นุ่ม ผลผลิตประมาณ 700 กิโลกรัมต่อไร่ (Rice Department, 2022) ได้นำมาปลูกทดสอบในพื้นที่แม่ฮ่องสอน ผลปรากฏจากการปลูกในพื้นที่ลุ่มนาชลประทานให้ผลผลิตสูงถึง 731 กิโลกรัมต่อไร่ (Department of Agricultural Extension, 2022) และผู้บริโภคในพื้นที่ถูกใจในรสชาติ โดยเฉพาะในกลุ่มชาติพันธุ์ไทใหญ่ ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการปลูกกระจายทุกอำเภอในพื้นที่แม่ฮ่องสอน นอกจากนี้ยังมีข้าวพันธุ์ชานซีซึ่งพบว่ามีการปลูกที่บ้านแม่ละนา ตำบลปาง

มะผ้า อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ในกลุ่มครอบครัว ประมาณ 2-3 ราย จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกทราบว่าได้พันธุ์ข้าวมาจาก รัฐฉาน ประเทศพม่า นำมาโดยเครือญาติ ตัวหนังสือติดกระสอบเมล็ดพันธุ์เป็นภาษาจีนเกษตรกรอ่านว่า “ซานซี” จึงใช้ชื่อนี้เรียก และเมื่อนำมาปลูกที่บ้านแม่ละนาพบว่าให้ผลผลิตข้าวสูงมาก เป็นข้าวเจ้า สีข้าวสารขุ่นเหมือนข้าวเหนียว

อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอนถือเป็นอำเภอหนึ่งที่มีพื้นที่ปลูกข้าวไร่ และข้าวนาสวนจำนวน 14,801 และ 6,391 ไร่ ตามลำดับ (Pang Mapha District Agriculture Office, 2021) จากรายงานของ Seeloy-ounkaew *et al*. (2019) พบว่า พันธุ์ข้าวนาที่ปลูกในพื้นที่อำเภอปางมะผ้ามีมากกว่า 5 พันธุ์ โดยส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ข้าวเหมาะสำหรับปลูกบนพื้นที่สูง ส่วนพันธุ์ข้าวที่ดอนที่นิยมปลูกมากที่สุด คือ กข21 มีพื้นที่ปลูก 1,715 ไร่ กระจายพื้นที่ปลูกครอบคลุมทุกตำบล โดยปลูกมากในพื้นที่ตำบลนาปู่ป้อม (855 ไร่) รองลงมา คือ ปางมะผ้า (529 ไร่) สบป่อง (323 ไร่) และถ้ำลอด (8 ไร่) นอกนั้นเป็นพื้นที่ปลูกข้าวพันธุ์พื้นเมือง เช่น บือแหม่ชาถ่า มีพื้นที่ปลูกรวม 551 ไร่ ที่ตำบลถ้ำลอด ส่วนพันธุ์อื่น ๆ พบปลูกน้อย เช่น กข21 และ กข23 สภาพการเกษตรโดยทั่วไปในอำเภอปางมะผ้า คือ เกษตรกรมีการถือครองที่ดินขนาดย่อมที่ไม่มีเอกสารสิทธิ์ตามกฎหมายที่ดินของทางราชการ และทำการเกษตรเพื่อบริโภคในครัวเรือนเป็นหลัก หลายครอบครัวมีฐานะยากจน ประสบปัญหาภาวะหนี้สินและด้อยโอกาสในการพัฒนาตนเอง ซึ่งส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการพัฒนาชุมชนให้มีความเข้มแข็ง และสามารถพึ่งตนเองได้ ตลอดถึงส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางด้านอาหารในพื้นที่ จากการสำรวจเบื้องต้นพบสาเหตุของปัญหาผลผลิตข้าวต่ำที่สำคัญ คือ (1) ขาดแคลนเมล็ดพันธุ์ดี เกษตรกรในพื้นที่ส่วนใหญ่ใช้พันธุ์ข้าวที่เก็บเองเป็นเมล็ดพันธุ์ในฤดูปลูกถัดไป ซึ่งยังขาดทักษะความรู้ในการปลูก การคัดเลือกเพื่อใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ดีไว้ใช้ปลูกฤดูต่อไป (2) ไม่มีระบบควบคุมคุณภาพเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์ที่เกษตรกรผลิตได้ไม่มีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์ตามมาตรฐาน (3) ขาดประสิทธิภาพในการผลิตข้าว เกษตรกรยังขาดความรู้หลายด้านทั้งด้านการปรับปรุงบำรุงดิน การดูแลรักษา การใช้ปุ๋ย วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ขาดความรู้ในการจัดการผลผลิตให้ได้คุณภาพ เป็นต้น และ (4) ทรัพยากรเกษตรมีความเสื่อมโทรม เนื่องจากการปรับเปลี่ยนพื้นที่ป่ามาเป็นพื้นที่ปลูกข้าว พื้นที่มีความลาดชัน ขาดการปรับปรุงบำรุงดิน มีปัญหาภัยแล้ง และฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานาน และที่สำคัญเกษตรกรใช้พื้นที่เพาะปลูกพืชเกษตรโดยไม่เข้าใจสภาพพื้นที่ของตนเอง จัดการพื้นที่โดยขาดองค์ความรู้ในการรักษาสมดุลธาตุอาหารในดิน และใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในพื้นที่แบบไม่ฟื้นฟูสภาพพื้นที่ตลอดถึงทำการเกษตรแบบห่วงใยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (Praisittirit, 2021) จากการวิจัยของ Punyatuy *et al*. (2018) พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ (90.6%) ในภาคเหนือตอนบนใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว ซึ่งการจัดการธาตุไนโตรเจนโดยการใส่ปุ๋ยอย่างเพียงพอและเหมาะสมตั้งแต่ช่วงข้าวเริ่มแตกกอสามารถช่วยส่งเสริมในด้านผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว (Osotsapa *et al*., 2011) โดยที่ผ่านมาศูนย์วิจัยข้าวแม่ฮ่องสอน กรมการข้าวเป็นหน่วยงานส่วนกลางที่ตั้งอยู่ในภูมิภาค ซึ่งมีภารกิจหลักในการวิจัยด้านงานปรับปรุงพันธุ์ข้าว ดำเนินงานผลิตเมล็ดพันธุ์ชั้นพันธุ์คัด และพันธุ์หลัก ที่ผ่านมางานด้านเทคโนโลยีการผลิตข้าวเป็นการนำเทคโนโลยีการผลิตข้าวที่ถูกต้องและเหมาะสมไปทดลองใช้ในภาพรวมครอบคลุมทั้งจังหวัด และไม่ได้เจาะจงเฉพาะพื้นที่ ทำให้ไม่สามารถนำความรู้ดังกล่าวไปใช้ประโยชน์เฉพาะพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งได้

ดังนั้น เพื่อเป็นการแก้ปัญหาด้านการผลิตข้าวให้เพียงพอต่อการบริโภคในครัวเรือน ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับความมั่นคงทางอาหารของเกษตรกรในพื้นที่ จึงต้องเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวบนพื้นที่สูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการผลิตข้าวระหว่างชุดเทคโนโลยีพร้อมใช้ของกรมการข้าว กับการปฏิบัติตามวิธีการของเกษตรกรในสภาพข้าวไร่และข้าวนาสวน ในพื้นที่อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน เพื่อให้ได้แนวทางที่เป็นประโยชน์กับเกษตรกรในพื้นที่นำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการทดลองในฤดูนาปี พ.ศ.2564 (ระหว่างเดือนพฤษภาคม - พฤศจิกายน พ.ศ.2564) ในแปลงเกษตรกรในพื้นที่อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ด้วยการทดสอบเทคโนโลยี (technology-verification experiment) จำนวน 2 ซ้ำ ขนาดแปลงย่อย 400 ตารางเมตร และ เปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตข้าวแบบจับคู่ (paired t-test) 2 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 การผลิตข้าวด้วยชุดเทคโนโลยีพร้อมใช้ของกรมการข้าว (Demo) ได้แก่ การใช้ข้าวพันธุ์รับรองของกรมการข้าว หรือพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่เกษตรกรนิยมปลูกและเหมาะสมกับพื้นที่ การใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ตามคำแนะนำของกรมการข้าว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (Department of Agriculture, 2005) จำนวน 2 ครั้ง การใช้สารกำจัดวัชพืชตามคำแนะของนำกรมการข้าว การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูข้าวอย่างเหมาะสม และการเก็บเกี่ยวข้าวในระยะพลับพลึง (Rice Department, 2007)

กรรมวิธีที่ 2 การปฏิบัติตามวิธีการของเกษตรกร (Farm) ได้แก่ การใช้พันธุ์ข้าวพันธุ์รับรองของกรมการข้าว หรือพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่เกษตรกรนิยมปลูกและเหมาะสมกับพื้นที่ โดยมีการใส่ปุ๋ย และกำจัดศัตรูพืชตามวิธีการของเกษตรกร

1) การแบ่งพื้นที่การทำแปลงสาธิตและพันธุ์ข้าว

คัดเลือกเกษตรกรที่มีความสนใจ และมีความพร้อมสามารถให้ความร่วมมือในการปลูกเพื่อเป็นแปลงเรียนรู้และสาธิตการจัดการแปลงในพื้นที่ชุมชน พื้นที่ละ 6 แปลง รวมจำนวน 12 แปลง ในแต่ละแปลงประกอบด้วย 2 กรรมวิธี ได้แก่การผลิตข้าวด้วยเทคโนโลยีพร้อมใช้ (แปลงสาธิต) และการปฏิบัติตามวิธีการของเกษตรกร (แปลงเกษตรกร) โดยแต่ละแปลงเป็นตัวแทนในพื้นที่ปลูกสภาพข้าวไร่ หรือปลูกเมล็ดโดยตรง (direct seeding; DS) และข้าวนาสวนโดยการปลูกนาดำอาศัยน้ำฝน (transplanting rice; TR) ดังนี้

สภาพข้าวไร่ ประกอบด้วย แปลงสาธิต 1-3 (U1-U3) ดำเนินการที่บ้านเมืองแพม ตำบลถ้ำลอด (ความสูงประมาณ 700 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง) และปลูกข้าวพันธุ์เฟืองคำ (V1) และแปลงสาธิตที่ 4-6 (U4–U6) ดำเนินการที่บ้านลุกข้าวหลาม ตำบลปางมะผ้า (ความสูงประมาณ 600 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง) โดยปลูกข้าวพันธุ์จะซีกุย (V2) และข้าวนาสวน ประกอบด้วย แปลงสาธิตที่ 7-9 (T1-T3) ดำเนินการที่บ้านเมืองแพม และปลูกข้าวพันธุ์บือแหม่ชาถ่า (V3) แปลงสาธิตที่ 10 (T4) ดำเนินการที่บ้านแม่ละนา ตำบลปางมะผ้า (ความสูงประมาณ 600 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง) และปลูกข้าวพันธุ์ชานซี (V4) และแปลงสาธิต 11-12 (T5-T6) ดำเนินการที่บ้านแม่ละนา และปลูกข้าวพันธุ์ กข21 (V5) โดยมีรายละเอียดประจำพันธุ์ดังนี้

1) พันธุ์เฟืองคำ (V1) เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 120-130 วัน ผลผลิต 400 กิโลกรัมต่อไร่

2) พันธุ์จะซีกุย (V2) เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 120-130 วัน ผลผลิต 350 กิโลกรัมต่อไร่

3) พันธุ์บือแหม่ชาถ่า (V3) เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 120-130 วัน ผลผลิต 650 กิโลกรัมต่อไร่

4) พันธุ์ชานซี (V4) เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 120-130 วัน ผลผลิต 850 กิโลกรัมต่อไร่

5) พันธุ์ กข21(V5) เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 120-130 วัน ผลผลิต 700 กิโลกรัมต่อไร่

2) วิธีปฏิบัติในแปลงนาสาธิต

เก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลองในแปลงทดลองทุกพื้นที่เพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ หลังจากนั้นปฏิบัติ ดังนี้

2.1) ข้าวนาสวน ดำเนินการปลูกข้าวนาดำตามคำแนะนำของกรมการข้าวมีรายละเอียดดังนี้คือ เตรียมแปลงทดลองขนาด 400 ตารางเมตร จำนวน 2 ซ้ำ หลังจากนั้นเตรียมดินและตกกล้าข้าวในพื้นที่แปลงนาเทือกใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 8-10 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อกล้ามีอายุ 25 วัน จึงย้ายต้นกล้าเพื่อปักดำด้วยแรงงานคน อัตรา 3-4 ต้นต่อจับ ระยะปักดำ 25 x 25 เซนติเมตร ที่ความลึก 3-5 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยการนำแม่ปุ๋ย (ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารในสูตรเข้มข้นมาก)

เช่น ปุ๋ยเกรด 46-0-0, 18-46-0 และ 0-0-60 มาผสมให้ได้สัดส่วนที่ดินในพื้นที่ขาดไป จากการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ (Hasthanon and Khanarik,1998)

2.2) **สภาพข้าวไร่** โดยการปลูกเมล็ดโดยตรง โดยการเตรียมแปลงทดลองขนาดแปลงย่อย 400 ตารางเมตร จำนวน 2 ซ้ำ ปลูกข้าวไร่ด้วยการหยอดเมล็ดอัตราเมล็ดพันธุ์ตามคำแนะนำกรมการข้าว คือ 8-10 กิโลกรัมต่อไร่ ด้วยวิธีการปลูกที่เหมาะสมกับพื้นที่คือการหยอดเมล็ดแห้งลงหลุม ๆ ละ 5-8 เมล็ด ระยะห่างระหว่างหลุม 25 x 30 เซนติเมตร แล้วใช้ดินหรือขี้เถ้าแกลบกลบเมล็ดเพื่อป้องกันสัตว์เลี้ยงหรือแมลงเข้าทำลาย ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ในระยะแตกกอ ใส่ปุ๋ยผสมสูตร 16-20-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ 2 ระยะตั้งท้องใส่ปุ๋ยผสมสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่

3) การปฏิบัติตามวิธีการของเกษตรกร

3.1) **ข้าวนาสวน** เตรียมแปลงทดลองขนาดทดลองขนาดแปลง 400 ตารางเมตร จำนวน 2 ซ้ำ หลังจากนั้นเตรียมดินและตกกล้าข้าวในพื้นที่แปลงนาเทือกใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อกล้ามีอายุ 45 วัน จึงย้ายต้นกล้าเพื่อปักดำด้วยแรงงานคน อัตรา 3-4 ต้นต่อจับ ระยะปักดำ 25 x 25 เซนติเมตรที่ความลึก 3-5 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 (ระยะแตกกอ เกรด 16-20-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากปักดำ 40 วัน และ ครั้งที่ 2 หลังปักดำ 90 วัน ใส่ปุ๋ยเกรด 18-8-8 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่

3.2) **สภาพข้าวไร่** เตรียมแปลงทดลองขนาดแปลงย่อย 400 ตารางเมตร จำนวน 2 ซ้ำ ปลูกข้าวไร่ด้วยการหยอดเมล็ดอัตราเมล็ดพันธุ์ตามคำแนะนำกรมการข้าว คือ 8-10 กิโลกรัมต่อไร่ ด้วยวิธีการปลูกที่เหมาะสมกับพื้นที่คือการหยอดเมล็ดแห้งลงหลุม ๆ ละ 5-8 เมล็ด ระยะห่างระหว่างหลุม 25 x 30 เซนติเมตร แล้วใช้ดินหรือขี้เถ้าแกลบกลบเมล็ดเพื่อป้องกันสัตว์เลี้ยงหรือแมลงเข้าทำลาย แบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 (ระยะแตกกอ) ใส่ปุ๋ยเกรด 15-15-15 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 (ระยะตั้งท้อง) เกรด 21-0-0 หรือ 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่

4) การเก็บข้อมูลและการบันทึกผลข้อมูล

4.1) เก็บตัวอย่างดินก่อนทำการทดลอง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงข้าวนาสวนและข้าวไร่ของเกษตรกรตามวิธีการเก็บตัวอย่างดินของ Aquaculture Department (1986) ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน คือ สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เนื้อดิน (Klodpeng, 1985) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าปฏิกิริยาดิน (pH อัตรา 1:1) ปริมาณอินทรียวัตถุ (Walkley and Black, 1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray and Kurtz, 1945) และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Pratt, 1965) ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (Bashour and Sayegh, 2007). ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Chapman, 1965) เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

4.2) เก็บข้อมูลระยะปลูกและจำนวนกอต่อหน่วยพื้นที่หลังหยอดหรือปักดำ 30 วัน แล้วคำนวณเป็นต้นต่อตารางเมตร

4.3) เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตเมื่อต้นข้าวอายุได้ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังปลูก มีรายละเอียดดังนี้

การแตกกอ บันทึกการแตกกอจากการนับจำนวนหน่อต่อกอ จำนวน 10 กอต่อซ้ำ รวม 3 ซ้ำต่อแปลง แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย สุ่มวัดความสูงของต้นข้าวแปลงละ 10 ต้น โดยวัดความสูงจากระดับผิวดินถึงปลายใบหรือปลายรวงที่สูงที่สุด บันทึกผลและนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

4.4) ผลผลิต โดยสุ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวในพื้นที่ขนาด 2 x 5 ตารางเมตร จำนวน 1 ตัวอย่าง บรรจุในถุงผ้า แล้วตากแดดเพื่อลดความชื้นเป็นเวลา 3 วัน แล้วจึงนวด ทำความสะอาดเมล็ด และชั่งน้ำหนักผลผลิตเมล็ด

4.5) องค์ประกอบผลผลิต เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวหลังจากข้าวออกรวงแล้วประมาณ 30 วัน (ระยะพลับพลึง) โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างผลผลิต และบันทึกข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต ประกอบด้วย จำนวนรวงต่อกอ

สุ่มต้นข้าวในพื้นที่ ขนาด 50 x 50 ตารางเซนติเมตร แปลงย่อยละ 2 จุด และนับจำนวนรวงต่อตารางเมตร จำนวนเมล็ดดีต่อรวง สุ่มจากต้นที่จะเก็บตัวอย่าง จำนวน 10 รวง โดยเก็บรวงที่อยู่กลางรวงที่สูงกว่ารวงอื่น ๆ แยกใส่ถุงไว้ ส่วนรวงที่เหลือ เก็บเกี่ยวรวมกันไว้อีกถุง รวงยอดนำไปนับจำนวนเมล็ดดี และจำนวนเมล็ดลีบ และชั่งน้ำหนักแยกกัน ส่วนเมล็ดจากรวงที่เหลือแยกเมล็ดดีและเมล็ดลีบออกจากกันแล้วชั่งน้ำหนักและบันทึกผล สุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าว 1,000 เมล็ดเพื่อชั่งหาน้ำหนักเมล็ดมีหน่วยเป็นกรัม

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติดิน:

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่ทดลองจากการสุ่มตัวอย่างดินในแปลงของเกษตรกรในพื้นที่ชุมชนบ้านเมืองแพม ตำบลถ้ำลอด จำนวน 6 แปลง แบ่งออกเป็นพื้นที่ข้าวไร่ 3 แปลง และข้าวนาสวน 3 แปลง พื้นที่ชุมชนบ้านแม่ละนา เป็นข้าวนาสวน 3 แปลง และชุมชนบ้านลุกข้าวหลามเป็นสภาพข้าวไร่ 3 แปลง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ถึงดินร่วนเหนียว ยกเว้นแปลงที่ 3 เป็นดินร่วน และมีค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด (pH 5.1-5.5) ถึงกรดเล็กน้อย (pH 6.1-6.5) นอกจากนี้ยังมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าผันแปรตั้งแต่ปานกลางถึงสูงมาก ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงมาก ยกเว้นบ้านเมืองแพมในข้าวนาสวน (T1-T3) มีค่าต่ำสุดถึงระดับปานกลาง (Table 1)

ผลการวิเคราะห์ดินทำให้ประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์เบื้องต้นของพื้นที่ทดลอง และวางแผนการจัดการธาตุอาหารในแปลง ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิต โดยพื้นที่ที่มีธาตุอาหารในดินน้อยจำเป็นต้องเสริมด้วยปุ๋ยเคมีในสัดส่วนที่มากกว่าพื้นที่มีธาตุอาหารสูง อย่างไรก็ตามพื้นที่ใดมีธาตุอาหารเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวมากอยู่แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องเสริมธาตุอาหารด้วยปุ๋ยเคมีอื่นๆ อีก อย่างไรก็ตามจากการสำรวจการใช้ปุ๋ยในนาข้าวของเกษตรกร 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ของสิปปวิชญ์ (2562) พบว่า ในพื้นที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวสูง ปานกลาง น้อย เกษตรกรมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนน้อยกว่าหรือมากกว่าคำแนะนำร้อยละ 82 89.4 และ 78.6 ตามลำดับ และยังพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ยังใช้ปุ๋ย ในปริมาณที่ไม่เหมาะสม

Table 1. Soil properties of the experimental fields

Site	Ban Muangphaem		Ban Lukkhaolam	Ban Maelana
Cultivation	Direct seeding	Transplanting	Direct seeding	Transplanting
Soil texture	Clay (U1, U2) Silt (U3)	Clay, Silt Clay (U4-U6)	Clay (T1-T3)	Silt Clay/Sandy clay loam (T4-T6)
Soil pH	4.96-6.12	5.25-6.00	6.06-6.40	5.17-5.70
Organic matter (%)	2.27-3.07	2.16-3.29	3.68-7.29	1.44-1.81
Total nitrogen (%)	1.53-1.98	1.58-1.68	1.83-2.03	1.48-1.93
Available phosphorus (mg/kg)	0.99-38.55	7.89-19.92	3.24-94.42	4.86-39.58
Available potassium (mg/kg)	164.00-348.85	55.28-196.56	181.59-369.22	81.67-145.35
Available calcium (mg/kg)	114.17-1,158.84	125.45-314.53	188.18-1,160.65	63.63-529.33
Available magnesium (mg/kg)	83.27-313.36	35.19-122.22	94.38-122.09	7.40-46.32
Cation exchange capacity (cmol/kg)	9.24-33.92	8.52-13.85	14.56-31.44	4.17-7.46

การเจริญเติบโต

ความสูงต้นข้าว: จากผลการทดลองพบว่า ความสูงของข้าวทุกพันธุ์ในพื้นที่ต่าง ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาการเจริญเติบโตตั้งแต่ 15-90 วัน ความสูงของข้าวพันธุ์เฟืองคำในแปลงนาสาธิต และแปลงเกษตรกรพื้นที่ U1 มีค่าสูงสุดไม่แตกต่างกัน (169.4-171.8) รองลงมาคือในพื้นที่ U2 และ U3 ในขณะที่ข้าวพันธุ์จะซีกุยในทุกสภาพนาของพื้นที่ U5-U6 ไม่แตกต่างกันอยู่ระหว่าง 127.5-130 เซนติเมตร แต่ในพื้นที่ U4 พบว่ามีความสูงต่ำสุดคือ 107 เซนติเมตร ในขณะที่พันธุ์บือแหม่ชาถ่าที่ปลูกในสภาพข้าวนาสวนมีความสูงเพิ่มขึ้นจาก 15-30 วัน หลังจากนั้นความสูงไม่เปลี่ยนแปลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่อายุ 60-90 วัน ความสูงในพื้นที่ T1 และ T2 ในแปลงนาสาธิต และแปลงเกษตรกรไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับข้าวพันธุ์ชานซีมีความสูง 122 เซนติเมตร สูงกว่าข้าวพันธุ์ กข21 ที่ปลูกในพื้นที่ T5 ไม่แตกต่างกัน มีความสูง 95.7-98.0 เซนติเมตร ส่วนในแปลง T6 พบว่าข้าวในแปลงนามีค่าสูงกว่าแปลงเกษตรกร (Figure 1) ความสูงที่แตกต่างกันของข้าวแต่ละพันธุ์สาเหตุหนึ่งเกิดจากพันธุกรรมของแต่ละพันธุ์ข้าวที่มีความสูงที่แตกต่างกัน และจากการจัดการแปลงโดยการใช้อัตราปุ๋ยเคมีที่มากน้อยต่างกัน หากจัดการโดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมาก ส่งผลต่อการยืดปล้องให้ต้นข้าวแต่ละสายพันธุ์มีความสูงลำต้นเร็วกว่าปกติ

การแตกกอ: จากผลการทดลองพบว่า จำนวนหน่อตอกอของข้าวทุกพันธุ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาการเจริญเติบโต 15-45 วัน หลังจากนั้นมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง การแตกกอของข้าวพันธุ์เฟืองคำที่ปลูกใน U1-U3 ทั้งสองสภาพไม่แตกต่างกัน แต่ U1 มีค่าสูงสุด (17 หน่อต่อกอ) รองลงมาคือ U3 และ U2 (11.4 หน่อต่อกอ) ส่วนข้าวพันธุ์จะซีกุยในแปลงนาสาธิตพื้นที่ U5 มีค่า 14.4 หน่อต่อกอ ซึ่งสูงกว่าแปลงเกษตรกร และสูงกว่า U6 และ U4 ตามลำดับ ส่วนพันธุ์บือแหม่ชาถ่าที่ปลูกในแปลงเกษตรแตกหน่อช่วงแรก (15-60 วัน) ในพื้นที่ T3 มีค่า 8.6 หน่อต่อกอ หลังจากนั้นกลับไม่เปลี่ยนแปลงจนกระทั่ง 90 วัน การแตกกอของแปลงนาสาธิตมีค่าสูงสุดเท่ากับ 23.8 หน่อต่อกอ ในขณะที่ T1 และ T2 ไม่แตกต่างกันทั้ง 2 สภาพ เช่นเดียวกับพันธุ์ชานซีที่แปลงเกษตรกรมีค่าสูงในช่วงแรกจนกระทั่ง 90 วันพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน (13-13.6 หน่อต่อกอ) การปลูกพันธุ์ กข21 ในทั้ง 2 สภาพไม่ต่างกันโดยพื้นที่ T5 มีค่าสูงกว่า T6 ประมาณ 6 หน่อต่อกอ (Figure 2)

การจัดการธาตุอาหารในแปลงในช่วง 30 วันแรกหลังหยอดหรือปักดำ มีผลอย่างสูงต่อการแตกกอของต้นข้าว ซึ่งระยะนี้อยู่ในช่วงต้นข้าวเจริญเติบโตทางลำต้น และมีความสามารถในการแตกกอได้สูงในช่วง 20-25 วันหลังหยอด หรือปักดำ หากต้นข้าวได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอจะมีการแตกกอมาก ส่งผลต่อจำนวนรวงข้าวที่มากส่งผลให้มีผลิตผลที่เป็นเมล็ดพันธุ์ในอัตราที่มากตามมาด้วย จากการทดลองนี้พบว่า การแตกกอของแต่ละพันธุ์ข้าวมีความแตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโต และแต่ละพื้นที่ อย่างไรก็ตามแปลงสาธิตพบว่ามีแนวโน้มส่งผลให้ต้นข้าวมีการแตกกอสูงกว่าแปลงของเกษตรกรในทุกพันธุ์ข้าวในแต่ละพื้นที่

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต: ผลการทดลองพบว่า จำนวนรวงของข้าวพันธุ์เฟืองคำในแปลงนาสาธิตมีค่าสูงกว่าแปลงเกษตรทุกพื้นที่ยกเว้น พื้นที่ U2 มีค่าไม่แตกต่างกัน คือ 125 รวงต่อตารางเมตร และยังมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบในแปลงมากกว่าจึงส่งผลทำให้ผลผลิตในแปลงเกษตรของ U2 และ U3 ให้ผลผลิต 403 และ 396 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (Table 2) มีค่าต่ำกว่าแปลงสาธิตซึ่งแปลงสาธิต U1 มีจำนวน 202 รวงต่อตารางเมตร จึงทำให้ได้ผลผลิตสูงสุด 492 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนพันธุ์จะซีกุยที่ปลูกในพื้นที่ U4-U6 มีความผันแปรของจำนวนรวงต่อพื้นที่ โดย U5 พบว่ามีระยะปลูก 17.6 เซนติเมตร จึงทำให้จำนวนรวงในแปลงสาธิตและแปลงเกษตรกรมีค่า 360 และ 262 รวงต่อตารางเมตร และพบว่า ความยาวรวงสั้นกว่า U4 จึงทำให้ผลิตต่ำกว่าแปลงอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามการปฏิบัติตามวิธีการแปลงสาธิตมีค่าสูงกว่าคือ 372 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนพันธุ์บือแหม่ชาถ่าพบว่า การปลูกในแปลงสาธิตทำให้ได้ผลผลิตมากกว่าแปลงเกษตรกรในทุกพื้นที่ โดยในพื้นที่ T1 ข้าวมีจำนวนรวงต่อพื้นที่ 220 รวงต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าพื้นที่ T2 (259 รวงต่อตารางเมตร) แต่พบว่าให้ผลผลิตเมล็ดสูงสุดคือ 674 กิโลกรัมต่อไร่ เนื่องจากมีความยาวรวงมากกว่าถึง 3 เซนติเมตร

อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตข้าว มีผลสืบเนื่องจากการจัดการแปลงที่แตกต่างกัน เกษตรกรและนักวิจัยที่ติดตามดูแลต้นข้าวอย่างละเอียดถี่ถ้วนในทุกระยะการเจริญเติบโต ย่อมส่งผลให้ผลผลิตข้าวมีโอกาสได้ผลผลิตและผลตอบแทนที่สูงกว่า นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นที่มีความเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของผลผลิต และผลผลิตเมล็ดของข้าว ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมาของ Sreethong *et al.* (2017)ได้ศึกษาผลการให้น้ำต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และคุณภาพเมล็ดข้าว พบว่า การลดเวลาขังน้ำทำให้ปริมาณผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 ลดลง การขังน้ำจนถึง 30 วันหลังดอกบาน ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด ในขณะที่การลดเวลาการขังน้ำลงทำให้ผลผลิตข้าวลดลง 11-20 เปอร์เซ็นต์ และการปลูกข้าวแบบไม่ขังน้ำเลยทำให้ผลผลิตข้าวลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อจำนวนเมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด สำหรับสภาพข้าวไร่ การให้น้ำด้วยวิธีการอาศัยน้ำฝนอย่างเดียว ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ย่อมส่งผลโดยตรงต่อองค์ประกอบผลผลิต และผลิตข้าว

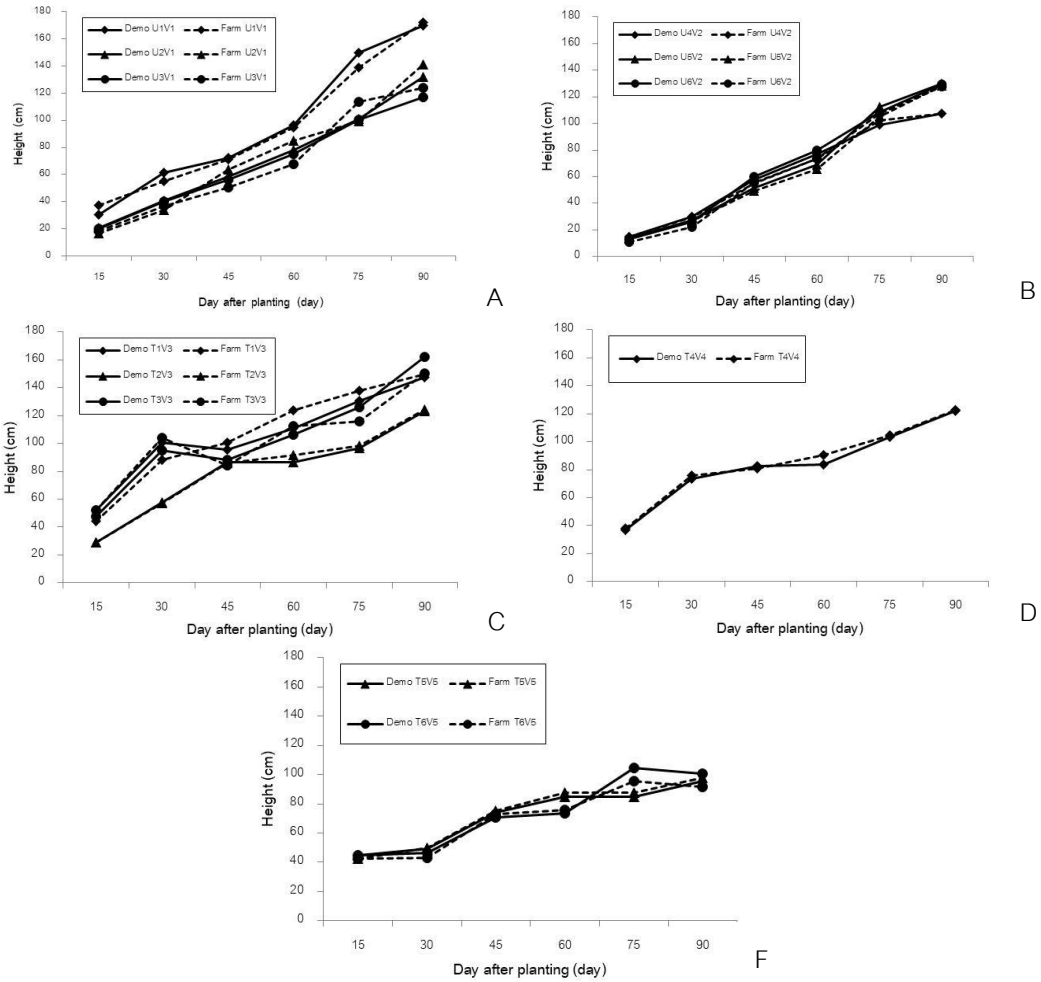


Figure 1. Stem height of rice 5 varieties between demonstrated and on-farm plot at various locations; (A) Rice var. Fueang Kham planted in Ban Mueang Pham (B) Rice var. Ja Xi Kui planted in Ban Luk Khao Lam (C) Rice var. Bua Mae Cha Tha planted in Ban Mueang Phaem (D) Ricevar. Shanxi planted in Ban Mae La Na (F) Rice var. RD21 planted in Ban Mae La Na

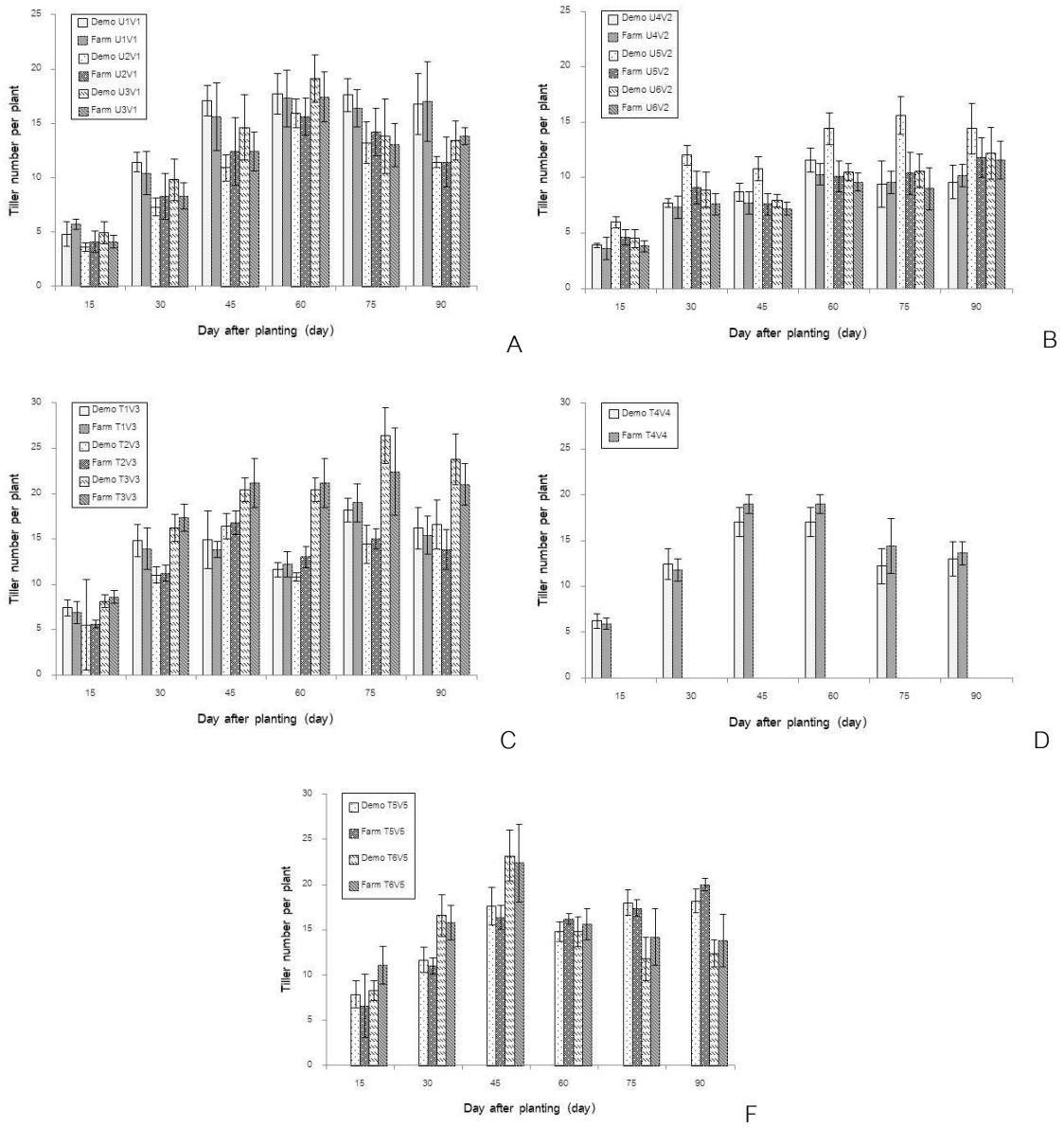


Figure 2. Tiller number per plant of rice 5 varieties between demonstrated and on-farm plot at various locations; (A) Rice var. Fueang Kham planted in Ban Mueang Pham (B) Rice var. Ja Xi Kui planted in Ban Luk Khao Lam (C) Rice var. Bua Mae Cha Tha planted in Ban Mueang Phaem (D) Rice var. Shanxi planted in Ban Mae La Na (F) Rice var. RD21 planted in Ban Mae La Na. Error bar represent standard deviation.

Table 2. Plant number and yield components of rice 5 varieties between demonstrated and on-farm field at various locations

Site	Field	Spacing (cm)	Plant No. (m^{-2})	Panicle No. (m^{-2})	Panicle Len. (cm)	Filled grain (%)	1000-Grain wt. (g)	Grain yield (kg/rai)
U1	Demo	25.0±0.0	12.0±1.9	201.6±2.5	30.8±3.3	70.9±4.8	31.5±2.8	492.5±2.9
	Farm	25.0±0.0	12.0±1.9	187.0±3.2	27.8±4.5	64.4±3.3	29.8±2.0	460.8±3.6
U2	Demo	24.6±2.7	11.0±1.2	125.4±1.1	28.0±2.4	57.2±3.4	29.8±2.8	412.4±5.7
	Farm	24.6±2.7	11.0±1.2	125.4±0.8	25.3±2.5	51.6±2.6	30.0±2.2	403.0±4.6
U3	Demo	28.0±2.7	11.6±1.8	155.4±0.9	27.1±2.5	61.1±2.0	32.2±1.5	446.1±3.2
	Farm	28.0±2.7	11.6±1.8	151.8±1.6	26.5±3.2	52.9±2.5	32.0±2.0	396.6±2.6
U4	Demo	25.4±0.9	14.6±0.6	140.2±1.9	29.0±1.9	55.6±3.2	37.0±1.6	409.0±3.5
	Farm	25.4±0.9	14.6±0.6	142.8±3.5	28.2±2.6	54.3±2.6	36.2±1.5	376.0±2.3
U5	Demo	17.6±4.3	22.2±1.5	319.7±2.6	26.0±2.1	68.4±3.3	38.8±1.1	372.2±1.0
	Farm	17.6±4.3	22.2±1.5	262.0±3.3	26.7±1.9	72.0±2.8	37.0±1.1	276.0±1.2
U6	Demo	20.0±0.0	19.2±2.2	234.2±2.5	25.7±2.4	62.3±2.2	36.1±2.3	415.4±1.6
	Farm	20.0±0.0	19.2±2.2	229.7±2.3	29.6±2.6	58.1±4.1	36.1±2.6	398.6±1.5
T1	Demo	27.0±2.7	13.6±0.9	220.3±1.3	25.5±2.5	59.2±2.2	37.9±1.1	674.2±2.4
	Farm	27.0±2.7	13.6±0.9	209.4±1.5	26.5±2.4	60.6±2.2	37.0±1.3	620.9±3.9
T2	Demo	25.0±0.0	13.6±1.5	259.0±0.4	21.5±2.5	59.6±3.2	35.3±1.3	419.6±3.3
	Farm	25.0±0.0	13.6±1.5	196.0±1.9	22.2±2.1	62.9±1.3	36.2±1.3	402.5±1.5
T3	Demo	25.0±0.0	14.2±1.3	352.2±2.9	24.0±2.9	57.0±2.0	38.0±1.5	623.1±4.6
	Farm	25.0±0.0	14.2±1.3	298.2±1.5	25.0±1.9	56.2±3.9	37.9±1.3	576.1±2.5
T4	Demo	24.4±0.9	14.2±0.8	179.4±0.4	22.7±1.2	61.3±2.1	33.7±1.5	1,002.9±2.1
	Farm	24.4±0.9	14.2±0.8	182.2±2.1	24.3±0.8	53.1±1.0	32.7±1.2	922.5±1.6
T5	Demo	22.0±2.7	16.0±0.7	236.6±0.6	27.1±1.7	57.7±2.2	31.9±1.8	391.8±3.8
	Farm	23.0±2.7	16.0±0.7	230.0±1.2	27.1±1.3	56.8±2.3	32.3±2.6	194.3±2.3
T6	Demo	24.4±0.9	16.0±1.9	195.9±0.6	21.1±1.9	14.6±2.0	31.1±2.9	464.4±2.9
	Farm	24.4±0.9	16.0±1.9	212.5±0.6	22.2±1.6	27.7±1.4	32.2±2.5	449.2±+1.4

สรุป

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวบนพื้นที่สูงด้วยเทคโนโลยีพร้อมใช้ในพื้นที่ เพื่อให้ได้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์กับเกษตรกรในพื้นที่ในการผลิตข้าวต่อไป ผลการทดลองพบว่า ผลผลิต ข้าวในแปลงสาธิตให้ผลผลิตสูงกว่าแปลงที่จัดการแบบเกษตรกรในทุกพื้นที่ โดยผลผลิตข้าวไร่ในแปลงสาธิตให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยผันแปรระหว่าง 372.2-492.5 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีองค์ประกอบผลผลิตแปลงสาธิตดังนี้ คือ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เฉลี่ย 31.5-38.8 กรัม มีความยาวรวงเฉลี่ย 25.7-30.8 เซนติเมตร ส่วนแปลงเกษตรกรให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยผันแปรระหว่าง 276.0-460.8 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีองค์ประกอบผลผลิตคือ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เฉลี่ย 29.8-37.0 กรัม มีความยาวรวงเฉลี่ย 25.3-29.6 เซนติเมตร แม้ว่าการเจริญเติบโตของต้นข้าวในที่ปลูกในสภาพข้าวไร่ และข้าวนาสวน แต่ละระยะเวลาการเจริญเติบโต ได้แก่ การแตกหน่อ ความสูง มีความแตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นที่ ดังนั้นเทคโนโลยีพร้อมใช้จึงเป็นวิธีการที่สามารถยกระดับการผลิตข้าวให้มีประสิทธิภาพ ลดต้นทุนเพิ่มผลผลิตและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการส่งเสริมให้เกษตรกรนำเทคโนโลยีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ช่วยสร้างเสริมความมั่นคงทางอาหาร (Food security) และความยั่งยืนทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิจัยข้าวแม่ฮ่องสอน เจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยข้าวฯ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม ตลอดถึงผู้นำชุมชนบ้านเมืองแพม บ้านลุกข้าวหลาม และบ้านแม่ละนา ที่ให้ความร่วมมือ ทำให้งานทดลองนี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Aquaculture Department. 1986. Soil sampling and preparation for laboratory analysis. Southeast Asian Fisheries Development Center, Iloilo. 18 p.

Bashour, I.I. and A.H. Sayegh. 2007. Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-arid Region. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 128 p.

Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. Soil Science. 59: 39-45.

Chapman, H.D. 1965. Cation. Exchange Capacity. pp 891-913. *In*: C.A. Black, (ed.). Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy Inc. and Soil Science Society of American Inc., Madison, Wisconsin.

Department of Agricultural Extension. 2022. Learning center for increasing agricultural product production efficiency in Mae Hong Son province. Department of Agricultural Extension, Bangkok. 9 p. (in Thai)

Department of Agriculture. 2005. Recommendations for using fertilizers for economic crops. Academic document number 8/2005, Department of Agriculture, Bangkok. 121 p. (in Thai)

Hasthanon, Y. and C. Khanarik. 1998. Manual for Mixing Chemical Fertilizers for Personal Use. Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)

International Rice Research Institute. 1990. World Rice Statistics 1990. International Rice Research Institute, Los Baños. 320 p.

Klodpeng, T. 1985. Methods of analytical soil physics. Department of Soil Science and Conservation. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 205 p. (in Thai)

Osotsapa Y, A. Wongmanirote and C. Hongprayoon. 2011. Fertilizers for Sustainable Agriculture. 2nd ed. Kasetsart University Press, Bangkok. (in Thai)

Pang Mapha District Agriculture Office. 2021. Rice farmer registration operations for the year 2021. Annual Report. Department of Agricultural Extension, Mae Hong Son. 25 p. (in Thai)

Praisittirit, E. 2021. Personal Communication, January 5, 2021

Pratt, P.E. 1965. Potassium. pp. 1022-1030. *In*: C.A. Black, (ed.). Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy Inc. and Soil Science Society of American Inc., Madison, Wisconsin.

Punyatuy, S., S. Meepunya, S. Chanbut, J. Ancheta, V. Kibthong, A. Yojai, S. Chaiboontha, N. Pradit, P. Tongsomboon, S. Jaikawin. and P. Kanghae. 2018. Food security survey of ethnic groups in Chiang Mai, Chiang Rai, Mae Hong Son and Nan pp. 241-254. *In:* The Proceedings of The Upper Northern Rice Research Center and the Lower North Conference. The Imperial Phukaew Hill Resort Hotel, Phetchabun. (in Thai)

Rice Department. 2007. Rice diseases and their prevention and control. Rice Department, Bangkok. 68 p. (in Thai)

Rice Department. 2022. Knowledge about rice RD 21 (RD21). Rice Department, Bangkok. 2 p. (in Thai)

Seeloy-ounkaew, T., S. Panyatui and S. Jaikawin. 2019. Land use, variety of rice varieties and their suitability for rice production in Mae Hong Son province. Journal of Agricultural Research and Promotion 36 (3): 23-33. (in Thai)

Sreethong, T., C.T. Prom-u-thai, B. Rerkasem, B. Dell and S. Jamjod. 2017. Effect of water saving on yield, yield components and rice grain quality. Khon Kaen Agriculture Journal 49(3): 451-460. (in Thai)

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-35.

การปนเปื้อนเมล็ดวัชพืชในเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายนำเข้าจากต่างประเทศ

Weed Seed Contamination in Imported Celery Seeds

จันทร์พิศ เดชหามาตย์ โสภา มีอำนาจ สุรศักดิ์ แสนโคตร วาสนา รุ่งสว่าง
อังคณา ทุนสันเทียะ และ ณกานดา ขวัญทองยิ้ม

Chanpis Dathamart*, Sopa Meeamnat, Surasak Saenkote, Wassana Rungsawang
Aungkana Thoonsanthia and Nakanda Kwanthongyim

กลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900
Plant Quarantine Research Group, Plant Protection Research and Development Office,
Department of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand

** Corresponding author: Email: pooklook_d@yahoo.com*

(Received: 23 April 2025; Revised: 19 September 2025 ; Accepted: 26 September 2025)

Abstract: In 2022-2023, a total of 83,532.4 kilograms of celery (*Apium graveolens*) seeds were imported into Thailand from the United States (29,647.2 kg), Mexico (28,897.5 kg), Italy (24,986 kg), France (1.2 kg) and China (0.5 kg). Twenty-seven consignments of celery seeds were randomly sampled according to the International Seed Testing Association (ISTA) standards and examined in the laboratory for weed seed contamination, followed by germination testing. Weed seeds of *Polygonum bellardii* were detected in four samples from the United States. Five weed species were detected in six samples from Mexico: *Amaranthus viridis, Chenopodium murale, Echinochloa colona, Melilotus indicus* and *P. bellardii*. Three weed species were found in fifteen samples from Italy: *Helminthotheca echioides, C. album and Solanum ptychanthum*. One sample from France contained *P. bellardii*, while no weed seeds was detected in sample from China. Among these, *C. album* is listed as a quarantine pest of Thailand, while *C. murale*, *S. ptychanthum* and *H. echioides* have not been previously reported in the country. Pest risk analyses may therefore be required to determine appropriate handling measures. All detected weed seeds were able to germinate under testing conditions. Field inspection in Tak and Chiang Mai provinces did not detect any quarantine pests.

Keywords: Celery, weed seed, quarantine pest, import

Copyright @ Journal of Agricultural Research and Communications. All rights reserved.

บทคัดย่อ: ในปี 2565-2566 มีการนำเข้าเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่าย (*Apium graveolens*) รวมทั้งสิ้น 83,532.4 กิโลกรัม จากประเทศสหรัฐอเมริกา (29,647.2 กก.) เม็กซิโก (28,897.5 กก.) อิตาลี (24,986 กก.) ฝรั่งเศส (1.2 กก.) และจีน (0.5 กก.) โดยสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายนำเข้าตามมาตรฐาน ISTA จำนวน 27 ตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของเมล็ดวัชพืชในห้องปฏิบัติการและทดสอบความงอก ผลการตรวจสอบพบว่า ตัวอย่างจากสหรัฐอเมริกา 4 ตัวอย่าง มีเมล็ดวัชพืช *Polygonum bellardii* ปนเปื้อน ตัวอย่างจากเม็กซิโก 6 ตัวอย่าง พบเมล็ดวัชพืช 5 ชนิด ได้แก่ *Amaranthus viridis, Chenopodium murale, Echinochloa colona, Melilotus indicus* และ *P. bellardii* ส่วนตัวอย่างจากอิตาลี 15 ตัวอย่าง พบเมล็ดวัชพืช 3 ชนิด ได้แก่ *Helminthotheca echioides, C. album* และ *Solanum ptychanthum* ตัวอย่างจากฝรั่งเศส 1 ตัวอย่าง พบ *P. bellardii* และตัวอย่างจากจีน 1 ตัวอย่าง ไม่พบการปนเปื้อน จากการศึกษาพบว่า *C. album* เป็นศัตรูพืชกักกันของประเทศไทย และ *C. murale, S. ptychanthum* และ *H. echioides* เป็นวัชพืชที่ยังไม่มีรายงานการพบในประเทศไทย เมล็ดวัชพืชที่ตรวจพบสามารถงอกได้ในการทดสอบความงอก อย่างไรก็ตาม ผลการติดตามตรวจสอบแปลงปลูกขึ้นฉ่ายในจังหวัดตากและเชียงใหม่ ไม่พบศัตรูพืชที่มีความสำคัญด้านกักกันพืช

คำสำคัญ: ขึ้นฉ่าย เมล็ดวัชพืช ศัตรูพืชกักกัน นำเข้า

คำนำ

ขึ้นฉ่ายจัดเป็นสิ่งกำกัดตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดพืชจากแหล่งที่กำหนดเป็นสิ่งกำกัด ข้อยกเว้นและเงื่อนไขตามพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 (ฉบับที่ 5) พ.ศ. 2550 (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2007a) ซึ่งกำหนดให้ส่วนหนึ่งส่วนใดของพืชในวงศ์ Apiaceae เป็นสิ่งกำกัด เมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายเป็นพาหะของวัชพืชที่เป็นศัตรูพืชร้ายแรงหลายชนิดที่ยังไม่มีรายงานพบในประเทศไทย เช่น *Chenopodiastrum murale, Polygonum avic*ulare, *Senecio vulgaris, Amaranthus blitum, Cirsium arvense, Emex australis, Orobanche aegyptiaca, O. crenata, O. minor, Or. ramosa,* และ *Poa annua* (CABI Digital Library, 2024a) ซึ่งประเทศไทยมีการนำเข้าเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายปริมาณมากจากหลายประเทศ เรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ ประเทศสหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส อิตาลี และสาธารณรัฐประชาชนจีน จากการสุ่มตัวอย่างและตรวจสอบศัตรูพืชที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายนำเข้าพบการปนเปื้อนของเมล็ดวัชพืช *Chenopodium album*, *C. arvense*, *Phalaris minor*, *P. aviculare*, *C. murale, Medicago sativa, Melilotus indicus, Physalis pubescens, Echinochloa crus-galli* (หญ้าข้าวนก), *Euphorbia falcate, Phalaris* sp., *Picris echioides* และ *Polygonum lapathifolium* (ผักไผ่น้ำ) (Quarantine Pest Diagnostic Section, 2019) ซึ่งเมล็ดวัชพืช *C. album*, *C. arvense*, *Phalaris minor* และ *P. aviculare* จัดเป็นสิ่งต้องห้ามของประเทศไทยตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดศัตรูพืชเป็นสิ่งต้องห้ามตามพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 (ฉบับที่ 6) พ.ศ. 2550 (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2007b) นอกจากนี้ยังมีรายงานเกี่ยวกับการปนเปื้อนของเมล็ดวัชพืชที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์นำเข้า โดยที่ Rowarth *et al.*(1990) พบการปนเปื้อนของเมล็ดวัชพืช *Sheradia arvensis, Stellaria media, C. album, Rumex acetosella, Anagallis arvensis* และ *C. arvense* ติดมากับเมล็ดพันธุ์โคลเวอร์ (*Trifolium repens*) ที่นำเข้าจากต่างประเทศ ส่วน Huelma *et al.* (1996) พบการปนเปื้อนของเมล็ดวัชพืช 20 ชนิดปนมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวนำเข้ามาในประเทศฟิลิปปินส์ โดยเมล็ดวัชพืชที่ตรวจพบปนเปื้อนมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวและมีความถี่สูง คือ *E. crus-galli* นอกจากนี้ Mikhailova *et al.*(2015) ยังตรวจพบเมล็ดและส่วนผลของวัชพืชที่ปนเปื้อนกับเมล็ดพันธุ์ผักกาด *Brassica napus* มากกว่า 40 ชนิด ดังนั้น การนำเข้าเมล็ดพันธุ์จากต่างประเทศจึงมีความเสี่ยงที่จะพบ

ศัตรูพืชติดเข้ามาแพร่ระบาดในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย ซึ่งมีผลกระทบต่อภาคการเกษตรในประเทศไทยและการส่งออกเมล็ดพันธุ์ไปจำหน่ายยังต่างประเทศ การศึกษาชนิดวัชพืชที่ติดมากับขึ้นฉ่ายนำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อให้ทราบชนิดของเมล็ดพืช แหล่งที่มา การปรากฏของวัชพืชในประเทศคู่ค้า และเส้นทางการเข้ามาของเมล็ดวัชพืช สามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับอ้างอิงทางวิชาการ เพื่อกำหนดมาตรการสุขอนามัยพืชให้เหมาะสมรัดกุม และป้องกันไม่ให้เมล็ดวัชพืชกักกันหรือวัชพืชที่มีศักยภาพเป็นศัตรูพืชร้ายแรงเข้ามาแพร่ระบาดในประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาชนิดเมล็ดวัชพืชที่ปนเปื้อนมากับเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายนำเข้าจากต่างประเทศได้ดำเนินการระหว่างปี 2566-2567 โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

การสืบค้นข้อมูลวัชพืชเป้าหมาย: โดยทำการสืบค้นข้อมูล ได้แก่ ชนิด ชีววิทยา วิธีการตรวจสอบวัชพืชในเมล็ดพันธุ์ และวิธีการกำจัดวัชพืชที่มีโอกาสติดมากับเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายนำเข้าจากฐานข้อมูล CABI

การสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์: สุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายจากด่านตรวจพืชที่มีการนำเข้าเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ด่านตรวจพืชท่าเรือกรุงเทพ ด่านตรวจพืชลาดกระบัง และด่านตรวจพืชท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยสุ่มตัวอย่างตามมาตรฐานสมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์นานาชาติ (International Seed Testing Association; ISTA) ซึ่งสุ่มเก็บตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายที่นำเข้าจากต่างประเทศตามวิธีการสุ่มตัวอย่างที่บรรจุอยู่ภาชนะบรรจุที่มีขนาดบรรจุเท่าๆ กัน โดยมีน้ำหนักภาชนะบรรจุเมล็ดพันธุ์ระหว่าง 15 กิโลกรัม ถึง 100 กิโลกรัม 1) เมล็ดพันธุ์ 1 - 4 ภาชนะบรรจุ สุ่ม 3 ตัวอย่างขั้นต้น จากแต่ละภาชนะบรรจุ 2) เมล็ดพันธุ์ 5 - 8 ภาชนะบรรจุ สุ่ม 2 ตัวอย่างขั้นต้น จากแต่ละภาชนะบรรจุ 3) เมล็ดพันธุ์ 9- 15 ภาชนะบรรจุ สุ่ม 1 ตัวอย่างขั้นต้น จากแต่ละภาชนะบรรจุ 4) เมล็ดพันธุ์ 16 - 30 ภาชนะบรรจุ สุ่มอย่างน้อย 15 ตัวอย่างขั้นต้น จากภาชนะบรรจุทั้งหมด 5) เมล็ดพันธุ์ 31 - 59 ภาชนะบรรจุ สุ่มอย่างน้อย 20 ตัวอย่าง ขั้นต้น จากภาชนะบรรจุทั้งหมด 6) เมล็ดพันธุ์ตั้งแต่ 60 ภาชนะบรรจุ สุ่มอย่างน้อย 30 ตัวอย่าง จากภาชนะบรรจุทั้งหมด (ISTA, 2024)

การตรวจสอบเมล็ดวัชพืชที่ปนเปื้อนกับเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายนำเข้า: ทำการตรวจสอบเมล็ดวัชพืชเบื้องต้นจากการสุ่มตัวอย่างจากด่านตรวจพืช โดยการตรวจสอบการปนเปื้อนของเมล็ดวัชพืชด้วยตาเปล่าหรือภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ (stereo microscope) สังเกตสี ลักษณะผิว และรูปร่างของเมล็ดที่แตกต่างจากเมล็ดขึ้นฉ่าย คัดออกแล้วนำเมล็ดไปตรวจสอบขั้นละเอียดในห้องปฏิบัติการภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ (stereo microscope) เพื่อตรวจจำแนกชนิดของเมล็ดวัชพืชในห้องปฏิบัติการ บันทึกลักษณะภายนอกของเมล็ด เช่น สี (colour) ผิว (texture) รูปร่าง (shape) และลายบนผิวของเมล็ด วัดขนาดความกว้าง ความยาวของเมล็ดวัชพืช และเปรียบเทียบกับตัวอย่างเมล็ดวัชพืชในพิพิธภัณฑ์และเอกสารคู่มือจำแนกชนิดวัชพืช (Martin and Barkley,1961)

การทดสอบความงอกของเมล็ดวัชพืชที่ตรวจพบ: ทดสอบความงอกด้วยวิธีการเพาะในทราย (ทรายละเอียด สม่ำเสมอ และสะอาด) ในกล่องพลาสติกขนาด 11x11x6.5 เซนติเมตร ใส่ทรายหนาประมาณ 4-5 เซนติเมตรในกล่องพลาสติกที่เตรียมไว้ แล้วใช้แผ่นไม้ปาดผิวทรายให้ได้ระดับสม่ำเสมอ ค่อยๆ รดน้ำในกล่องทรายให้ทั่วถึง เอียงกล่องและสังเกตที่มุมกล่อง หากมีน้ำเริ่มขังที่มุมล่าง แสดงว่ามีความชื้นพอ วางเมล็ดลงบนทรายแล้ววางกล่องไว้ที่อุณหภูมิห้อง (Pornpinichsuwan, 2009) และทำการบันทึกข้อมูลการงอกของเมล็ดวัชพืช

การติดตามวัชพืชภายหลังการนำเข้า: ติดตามวัชพืชในแปลงผลิตขึ้นฉ่ายหรือในโรงเรือนเพาะเมล็ดของเกษตรกรและบริษัทที่นำเข้า ปลูกขึ้นฉ่ายที่ใช้เมล็ดพันธุ์นำเข้าในแปลงทดสอบจังหวัดตากจำนวน 3 แปลง และจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 3 แปลง บันทึกภาพเมล็ดวัชพืช บันทึกข้อมูลชนิดและลักษณะของเมล็ดวัชพืช

ที่ตรวจพบ และเก็บตัวอย่างเมล็ดเพื่อใช้เป็นหลักฐานทางวิชาการ ณ ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยการกักกันพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การสืบค้นข้อมูลวัชพืชเป้าหมาย จากการสืบค้นข้อมูลวัชพืชที่สามารถติดมากับเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายได้ ได้แก่ *A. blitum, P. aviculare, Cirsium arvense, O. aegyptiaca, O. minor, O. crenata, O. ramosa, Poa annua, Senecio vulgaris, C. murale, P. lapathifolium, E. australis* (CABI, 2024) โดยรายชื่อวัชพืชดังกล่าวมีวัชพืชจำนวน 8 ชนิด ได้แก่ *P. aviculare, C. arvense, O. aegyptiaca, O. minor, O. crenata, O. crenata, O. ramose,* และ *S. vulgaris* จัดอยู่ในรายชื่อสิ่งต้องห้ามตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดศัตรูพืชเป็นสิ่งต้องห้ามตามพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 (ฉบับที่ 6) พ.ศ. 2550 นอกจากนี้ยังมีวัชพืชที่ไม่มีรายงานพบในประเทศไทย ได้แก่ *C. murale* และ *E. australis* (Table 1)

ความถี่ในการสุ่มพบเมล็ดวัชพืชปนเปื้อนในการนำเข้าเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่าย

จากการสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายที่มีการเข้าทั้งหมด 27 ตัวอย่าง ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา 4 ครั้ง (จากด่านตรวจพืชท่าเรือกรุงเทพและด่านตรวจพืชลาดกระบัง) ปริมาณ 29,647.20 กิโลกรัม เม็กซิโก 6 ครั้ง (ด่านตรวจพืชท่าเรือกรุงเทพและด่านตรวจพืชลาดกระบัง) ปริมาณ 28,897.50 กิโลกรัม อิตาลี 15 ครั้ง (ด่านตรวจพืชด่านตรวจพืชท่าเรือกรุงเทพ ด่านตรวจพืชไปรษณีย์ และด่านตรวจพืชท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ) ปริมาณ 24,986.00 กิโลกรัม ฝรั่งเศส 1 ครั้ง (ด่านตรวจพืชท่าเรือกรุงเทพ) ปริมาณ 1.20 กิโลกรัม และสาธารณรัฐประชาชนจีน 1 ครั้ง (ด่านตรวจพืชท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ) ปริมาณ 0.50 กิโลกรัม โดยนำเข้าเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายทางด่านตรวจพืชท่าเรือกรุงเทพ 18 ครั้ง ด่านตรวจพืชท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ 5 ครั้ง ด่านตรวจพืชลาดกระบัง 3 ครั้ง และด่านตรวจพืชไปรษณีย์ 1 ครั้ง และพบเมล็ดวัชพืชปนมากับตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายจากประเทศเม็กซิโก อิตาลี และสหรัฐอเมริกา (Table 2, Figure 1)

Table 1. List of quarantine weeds in Thailand reported as present from the country of origin

Quarantine pest	Country of origin				
	Mexico	USA	Italy	France	China
Chenopodium album	+	+	+	-	+
Cirsium arvense	-	+	+	+	+
Orobanche aegyptiaca	-	+	+	-	+
Orobanche ramosa	+	+	+	+	+
Polygonum aviculare	+	+	+	+	+
Senecio vulgaris	+	+	+	+	+

+ = present in country

- = not present in country

Table 2. The import volume of celery seed in 2022-2023

Country	Consignments	Quantity (kg)	Plant quarantine station	Time of import	Frequency of detection (time)
The United State	4	29,647.20	Port of Bangkok	3	1
			Lat krabang	1	-
Mexico	6	28,897.50	Lat krabang	2	2
			Port of Bangkok	4	-
Italy	15	24,986.00	Port of Bangkok	10	5
			Postal	1	-
			Suvannabhum airport	4	-
France	1	1.20	Port of Bangkok	1	-
China	1	0.50	Suvarnabhumi airport	1	-
Total	27	83,532.40	-	-	8

Figure 1. Contamination of weed seeds in imported celery seeds

(a) The samples of imported celery seed

(b) Seed of *Echinochloa colona* from Mexico

(c) Seed of *Solanum ptychanthum* from Italy

(d) Seed of *Helminthotheca echioides* from Italy

(e) Seed of *Chenopodium murale* from Mexico

(f) Seed of *Polygonum bellardii* from the USA

การตรวจสอบชนิดวัชพืชขั้นละเอียดในห้องปฏิบัติการ

การตรวจสอบชนิดวัชพืชขั้นละเอียดในห้องปฏิบัติการ สามารถจัดจำแนกชนิดของเมล็ดวัชพืชที่พบปนมากับเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายนำเข้าได้ 8 ชนิด (Table 3, Figure 2) ได้แก่

เมล็ดวัชพืชปนเปื้อนมากับตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายจากสหรัฐอเมริกาจำนวน 1 ชนิด คือ *P. bellardii* ซึ่งเมล็ดวัชพืชชนิดนี้ไม่ใช่ศัตรูพืชกักกันของประเทศไทย โดยเมล็ดวัชพืชมีลักษณะมันวาว รูปร่างเป็นสามเหลี่ยม สีเหลือง หรือสีน้ำตาล มีเปลือกหุ้มเมล็ดแข็งสีน้ำตาล เมล็ดมีขนาดกว้าง เท่ากับ 1.7 มิลลิเมตร และเมล็ดมีความยาว เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร

เมล็ดวัชพืชปนเปื้อนมากับตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายจากประเทศเม็กซิโกจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ *A. viridis*, *C. murale*, *E. colona*, *M. indicus* และ *P. bellardii*

เมล็ดวัชพืช *A. viridis* เมล็ดมีลักษณะกลมมันวาว สีน้ำตาลเข้ม หรือสีดำเข้ม เมล็ดมีขนาดความ-กว้าง เท่ากับ 1 มิลลิเมตร มีความยาว เท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร

เมล็ดวัชพืช *C. murale* เมล็ดมีลักษณะกลมมันวาว สีน้ำตาลดำหรือดำเข้ม มีขนาดความกว้าง เท่ากับ 1.1 มิลลิเมตร มีความยาว เท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร เมล็ดมีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร ขอบเมล็ดแบนคม และเมล็ดมีเปลือกหุ้มด้วยผิวขรุขระแข็งเป็นหลุมเล็กๆ

เมล็ดวัชพืช *E. colona* เมล็ดมีลักษณะเป็นรูปไข่ ด้านบนมีลักษณะโค้งนูน ด้านล่างแบน เมล็ดมีสีน้ำตาลหรือเหลืองอ่อน ผิวเมล็ดเรียบ มัน เมล็ดมีขนาดความกว้าง เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร และมีความยาว เท่ากับ 3.0 มิลลิเมตร

เมล็ดวัชพืช *M. indicus* เมล็ดมีสีเหลืองน้ำตาล หรือน้ำตาลแดง ผิวเมล็ดขรุขระ มีรอยหยักด้านหนึ่ง เมล็ดมีขนาดความกว้าง เท่ากับ 1.4 มิลลิเมตร และมีความยาว เท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร

เมล็ดวัชพืช *P. bellardii* เมล็ดมีลักษณะมันวาว รูปร่างเมล็ดเป็นสามเหลี่ยม สีเหลือง หรือสีน้ำตาล มีเปลือกหุ้มเมล็ดแข็งสีน้ำตาล เมล็ดมีขนาดความ-กว้าง เท่ากับ 1.7 มิลลิเมตร และมีความยาว เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร

Table 3. The contamination of weed seeds in imported celery seeds (2022-2023)

Country	Number of importations	Quantity (kg.)	Weed species	Status of weed in Thailand	Frequency of detection (Time)
Mexico	6	28,897.5	*Amaranthus viridis*	+	1
			Chenopodium murale	-	2
			Echinochloa colona	+	2
			Melilotus indicus	+	1
			Polygonum bellardii	+	2
Italy	15	24,986	*Chenopodium album*	-	2
			Helminthotheca echioides	-	5
			Solanum ptychanthum	-	2
USA	4	29,647.2	*Polygonum bellardii*	+	1
Total	25	83,530.7	-	-	-

+ = present in country

- = not present in country

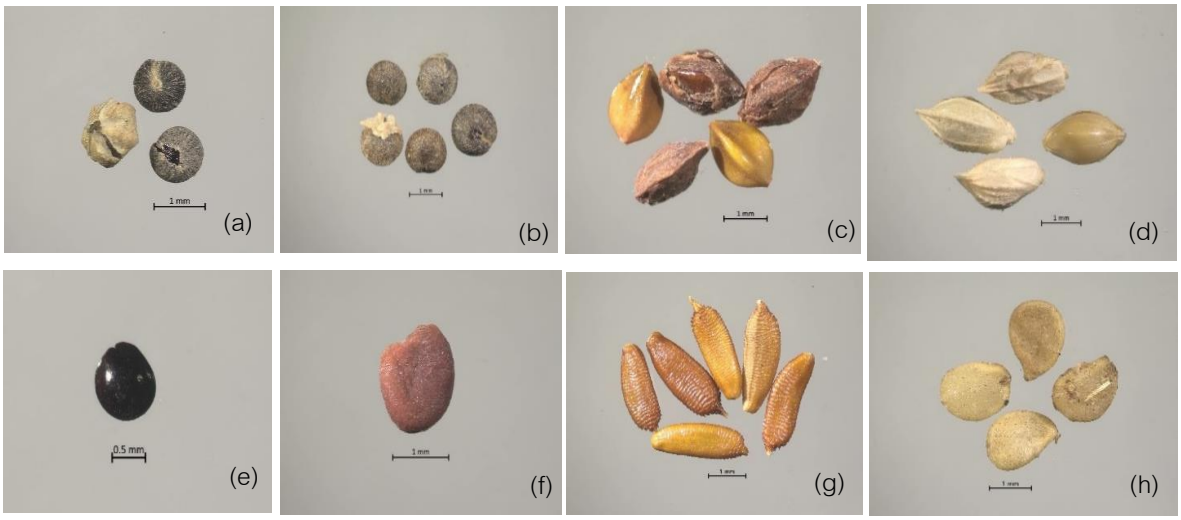


Figure 2. Species of weed seeds contaminated in imported celery seeds

(a) *Chenopodium album* (b) *Chenopodium murale* (c) *Polygonum bellardii* (d) *Echinochloa colona* (e) *Amaranthus viridis* (f) *Melilotus indicus* (g) *Helminthotheca echioides* (h) *Solanum ptychanthum*

เมล็ดวัชพืชปนเปื้อนมากับตัวอย่างจากประเทศอิตาลีจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ *H. echioides C. album* และ *S. ptychanthum*

เมล็ดวัชพืช *H. echioides* เมล็ดมีลักษณะเป็นเมล็ดยาวรี สีน้ำตาลเหลือง หรือน้ำตาลเข้ม มันวาว ผิวเป็นคลื่นแนวขวาง โดยเมล็ดมีขนาดกว้าง เท่ากับ 0.4 มิลลิเมตร มีความยาว เท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร และมีความหนา เท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร

เมล็ดวัชพืช *C. album* เมล็ดมีลักษณะกลม มันวาว มีขนาดเมล็ด เท่ากับ 0.5-1.0 มิลลิเมตร ภายนอกเมล็ดมีแว็กแข็งปกคลุมเมล็ด

ทดสอบความงอกของเมล็ดวัชพืช

จากการทดสอบความงอกของเมล็ดวัชพืชที่ตรวจพบด้วยวิธีการเพาะในทรายละเอียด ให้ความชื้นสม่ำเสมอ และวางไว้ในสภาพห้อง พบว่าเมล็ดวัชพืช *C. album C. murale S. ptychanthum E. colona* และ *H. echioides* สามารถงอกและเจริญเติบโตได้ ซึ่งแสดงว่าเมล็ดวัชพืชที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายนำเข้ายังมีชีวิต (Figure 3)

การติดตามภายหลังการนำเข้า

การติดตามและตรวจสอบศัตรูพืชภายหลังการนำเข้าในแปลงปลูกเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายนำเข้าในพื้นที่จังหวัดตาก และเชียงใหม่ ไม่พบวัชพืชที่มีความสำคัญด้านกักกันพืช (Figure 4) แต่อย่างไรก็ตามยังมีความจำเป็นต้องติดตามและตรวจสอบศัตรูพืชภายหลังการนำเข้าในแปลงปลูกต่อไป เพื่อป้องกันศัตรูพืชร้ายแรงซึ่งมีความสำคัญทางกักกันพืช เช่น *C. album* ซึ่งจัดเป็นศัตรูพืชกักกันมิให้เข้ามาตั้งรกราก แพร่ระบาด และสร้างความเสียหายให้กับการผลิตพืชในประเทศต่อไป

จากข้อมูลรายชื่อเมล็ดวัชพืชที่ตรวจพบ วัชพืชที่มีความสำคัญด้านกักกันพืช ได้แก่ วัชพืช *C. album* ตรวจพบปนมากับเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายจากประเทศอิตาลี ซึ่งวัชพืชชนิดนี้มีศักยภาพเป็นศัตรูพืชร้ายแรงและเป็นศัตรูพืชกักกันตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดศัตรูพืชเป็นสิ่งต้องห้ามตามพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 (ฉบับที่ 6) พ.ศ. 2550 (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2007)

Figure 3. The germination test detected weed seeds.

(a) *Chenopodium murale*

(b) *Chenopodium album*

(c) *Solanum ptychanthum*

(d) *Helminthotheca echioides*

Figure 4. Field inspection and pests in the celery crop at Tak and Chiang Mai provinces

นอกจากนี้ยังพบเมล็ดวัชพืช *C. murale, H. echioides* และ *S. ptychanthum* ซึ่งจากการสืบค้นข้อมูลวัชพืชทั้งสามชนิดเป็นวัชพืชที่ไม่มีรายงานพบในประเทศไทย (CABI Plantwise Plus 2024; CABI Digital Library 2024b; EPPO Global Database, 2024) ทั้งยังเป็นวัชพืชร้ายแรง (Noxious weed) และวัชพืชรุกรานต่างถิ่นของต่างประเทศ (Invasive species) วัชพืช *H. echioides* เป็นพืชฤดูร้อนและฤดูหนาวมีถิ่นกำเนิดจากยุโรปและแพร่กระจายไปหลายประเทศ เช่น ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ และสหรัฐอเมริกา สามารถทนแล้งและอากาศหนาวได้ดี แพร่กระจายโดยลมติดไปกับเสื้อผ้าหรือขนสัตว์ (California Invasive Plant Council, 2024) ซึ่งมาตรการควบคุม กำกับ ดูแล โดยอาศัยอำนาจตามพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ในการป้องกันมิให้ศัตรูพืชกักกันติดเข้ามากับเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายให้ทำลายโดยการเผาทำลายหรือส่งกลับประเทศต้นทาง แต่อย่างไรก็ตามสำหรับเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายที่ตรวจพบเมล็ดวัชพืชที่เป็นศัตรูพืชกักกันจึงต้องมีการติดตาม ตรวจสอบภายหลังการนำเข้า รวมทั้งมีการเฝ้าระวังเพื่อจำกัดขอบเขตหากตรวจพบในพื้นที่ ผลิตพืช เช่น พืชผัก ของประเทศไทย

สำหรับการนำเข้าเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายเพื่อเป็นการป้องกันวัชพืชร้ายแรงซึ่งมีความสำคัญทางกักกันพืช จึงควรกำหนดมาตรการและเงื่อนไขในการนำเข้า ดังต่อไปนี้ (1) ต้องขอใบอนุญาตนำเข้า (import permit) และต้องแจ้งการนำเข้าเมล็ดพันธุ์ผัก (ขึ้นฉ่าย) (2) มีใบรับรองสุขอนามัยพืชจากประเทศต้นทาง (phytosanitary certificate; PC) และหนังสือรับรองว่าไม่เป็นพืชดัดแปลงพันธุกรรม (Non-GMOs certificate) กำกับมาด้วย (3) เมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายที่นำเข้าจะต้องมาจากพื้นที่ที่ปลอดจากวัชพืช *Chenopodium album* หรือผ่านการตรวจสอบรับรองในห้องปฏิบัติการว่าเมล็ดพันธุ์ดังกล่าวปลอดจากวัชพืชตามที่กำหนด และ (4) เมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายที่นำเข้าจะต้องสะอาด บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุสะอาดที่ปิดมิดชิด ไม่พบการปนเปื้อนของเมล็ดวัชพืช ไม่มีดินและเศษซากพืชปะปนมาเพื่อป้องกันเมล็ดวัชพืชร้ายแรง

นอกจากนี้ประเทศไทยและองค์การอารักขาพืชแห่งชาติ เช่น กรมวิชาการเกษตรควรวางแผนการสำรวจและติดตามตรวจสอบวัชพืชที่ปรากฏพบตามแผนปฏิบัติการที่เหมาะสม

สรุป

วัชพืชที่พบติดปนเปื้อนมากับเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายนำเข้าจากต่างประเทศมีจำนวน 8 ชนิด ได้แก่ *Amaranthus viridis, Chenopodium murale, Echinochloa colona, Melilotus indicus, Polygonum bellardii, Helminthotheca echioides, Chenopodium album* และ *Solanum ptychanthum* ซึ่งพบปนเปื้อนมากับเมล็ดพันธุ์ขึ้นฉ่ายจากประเทศเม็กซิโก อิตาลี และสหรัฐอเมริกา โดยเมล็ดวัชพืชจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ *C. album*, *C. (Chenopodiastrum) murale*, *S . ptychanthum*, และ *H. echioides* เป็นวัชพืชที่สำคัญและจัดเป็นศัตรูพืชร้ายแรง ทั้งนี้รายชื่อวัชพืชดังกล่าวจะใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ความเสี่ยงศัตรูพืชเพื่อกำหนดเงื่อนไขการนำเข้าเมล็ดพันธุ์จากประเทศต้นทาง และกำหนดมาตรการสุขอนามัยพืชในการนำเข้าเมล็ดพันธุ์ได้อย่างรัดกุมและมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันศัตรูพืชที่เป็นวัชพืชร้ายแรงหรือวัชพืชชนิดใหม่ที่มีศักยภาพเป็นศัตรูพืชกักกันเข้ามาแพร่ระบาด ตั้งรกรากสร้างความเสียหายให้กับภาคการเกษตรของประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

Acharee Pornpinichsuwan. 2009. Seed Quality Testing Handbook. The Agricultural Co-operative Federation of Thailand Press. Bangkok. 117 p.

CABI Digital Library. 2024a. *Apium graveolens* (celery). (Online). Available: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.1079/cabicompendium.6599 (March 8, 2024).

CABI Digital Library. 2024b. *Helminthothica echioides* (bristly oxtongue). (Online). Available: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.1079/cabicompendium.116335 (March 8, 2024).

CABI Plantwise Plus. 2024. *Chenopodiaster murale (*nettle-leaf goosefoot*)*. (Online). Available: https://plantwiseplusknowledgebank.org/doi/10.1079/PWKB.Species.12652. *Chenopodiastrum murale*. (March 8, 2024).

California Invasive Plant Council. 2024. *Helminthotheca echioides*. (Online) Available: https://www.cal-ipc.org/plants/profile/picris-echioides-profile/. (April 4, 2024).

Center for Invasive Species and Ecosystem Health. 2024. Bristly oxtongue (*Helminthothecа echioides* (L.) Holub). (Online). Available: https://www.invasive.org/browse/subinfo.cfm?sub=18761 (March 8, 2024).

EPPO Global Database. 2024. *Solanum americanum* (SOLAM). (Online). Available: https://gd.eppo.int/taxon/SOLAM. (March 8, 2024).

Huelma,C.C., K. Moody and T.W. Mew. 1996. Weed seeds in rice shipments: a case study. International Journal of Pest Management. 42(3): 147-150.

International Seed Testing Association. 2024a. International Rules for Seed Testing 2024, Chapter 2: Sampling. (Online). Available: https://www.seedtest.org/api/rm/9356SQF24TUK454/ista-rules-2024-02-sampling-final.pdf) (March 8, 2024).

Martin, A.C. and W.D. Barkley. 1961 . Seed Identification Manual. University of California Press, Berkeley. 221 p.

Mikhailova,S.I., A.S. Babenko, S.A. Nuzhnyh, S.A. Suckkova and T.P. Astafurova. 2015. Weed plants of oilseed rape agrocoenoses in Tomsk Oblast. Biosciences Biotechnology Research Asia 12(3): 2273-2278.

Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2007a. Notification of Ministry of Agriculture and Cooperatives Re: Specification of plants from certain sources as restricted articles, of exceptions and conditions under the Plant Quarantine Act B.E. 2507 (No. 5) B.E. 2550. Thai government gazette. 124 (66 ng): 5. (in Thai)

Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2007b. Notification of Ministry of Agriculture and Cooperatives Re: Specification of plant pests as prohibited articles under the Plant Quarantine Act B.E. 2507 (No. 6) B.E. 2550. Thai government gazette. 124 (66 ng): 4. (in Thai)

Quarantine Pest Diagnostic Section. 2019. Pest inspection. Annual report. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture. Bangkok. 925 p. (in Thai)

Rowarth, J.S., A.A. Johnson, P.T.P., Clifford and M.P. Rolston. 1990. Weed seed contamination in white clover seedlots. Proceedings of the New Zealand Glassland Association 52: 99-102.

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ (ต่อ)

1.6 กรณีผู้แต่งเดียวกัน แต่ปีพิมพ์ต่างกัน ให้เรียงลำดับตามปีพิมพ์

ตัวอย่าง (Tangtaweewipat et al. 2009; Tangtaweewipat et al. 2018)

1.7 กรณีอ้างอิงเป็นภาษาอื่น เช่นภาษาไทยต้องแปลงเป็นภาษาอังกฤษและเปลี่ยนปี พศ. เป็นปี คศ.

1.8 กรณีเป็นหน่วยงาน ได้แก่ หน่วยงานราชการ สมาคม สถาบัน สำนักงาน ฯลฯ ให้ใช้ชื่อหน่วยงานเต็มในการอ้างอิงทั้งบทความ ตัวอย่าง (Department of Agricultural Extension, 1995).....

1.9 กรณีมีผู้แต่งที่มีทั้งบุคคลและเป็นหน่วยงาน ให้ใส่ชื่อผู้แต่งตามด้วยหน่วยงาน และใช้ (;) คั่นระหว่างชื่อผู้แต่งและหน่วยงาน

2. **การเขียนเอกสารอ้างอิง** มีรูปแบบการเขียนมีดังนี้

วารสาร (Journals) อ้างอิงวารสารที่มีความทันสมัยและเป็นปัจจุบันมากที่สุด

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร (เขียนเต็ม) ปีที่(ฉบับที่): เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด.

TH: Muthita, W. and N. Kuanprasert. 2004. Cytogenetics and flower color inheritance of fuchsias. Journal of Agriculture 20(1): 10-18. (in Thai)

EN: Barcenas, N.M., T.R. Unruh and L.G. Neven. 2005. DNA diagnostics to identify internal feeders (Lepidoptera: Tortricidae) of pome fruits of quarantine importance. Journal of Economic Entomology 98(2): 299-306.

ในกรณีที่เป็นวารสารออนไลน์ ไม่สามารถระบุเลขหน้าเริ่มต้นและเลขหน้าสิ้นสุดได้ ให้ระบุ doi แทน

EN: Bukhari, T., W. Takken and C.J.M. Koenraadt. 2011. Development of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* formulations for control of malaria mosquito larvae. Parasites & Vectors 4: 23, doi: 10.1186/1756-3305-4-23.

หนังสือ และตำรา (Books & Textbooks)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

TH: Ek-amnuay, P. 2016. Diseases and Pests of Economic Importance. 5th ed. Amarin Printing and Publishing PCL, Bangkok. 704 p. (in Thai)

EN: Gullan, P.J. and P.S. Cranston. 2005. The Insects: An Outline of Entomology. 3rd ed. Blackwell Publishing, Malden. 505 p.

เรื่องย่อยในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องเขียน และมีบรรณาธิการ

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องย่อย. หน้า เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด. *ใน*: ชื่อบรรณาธิการ (บก.). ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์, เมืองที่พิมพ์.

TH: Krairiksh, S. and W. Namruangsri. 1997. Integrated pest control of mango. pp. 137-144. *In*: K. Jumroenma (ed.). Integrated Pest Control. The Agricultural Cooperative Federation of Thailand, Ltd., Bangkok. (in Thai)

EN: Kubo, T. 2003. Molecular analysis of the honeybee sociality. pp. 3-20. *In*: T. Kikuchi, N. Azuma and S. Higashi (eds.). Gene, Behaviors and Evolution of Social Insects. Hokkaido University Press, Sapporo.

รายงานการประชุม สัมมนา (Reports and Proceedings)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องย่อย. หน้า เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด. *ใน*: รายงานการประชุม สัมมนา. สถานที่จัดประชุม.

TH: Tantarawongsa, P. and D. Ketrot. 2017. Diuron residue in soils under pineapple cultivation. pp. 17-24. *In*: Proceedings of 55th Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animals, Veterinary Medicine, Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics, Bangkok. (in Thai)

EN: Feigenbaum, S., A. Bar-Tal and D.L. Sparks. 1990. Dynamics of soil potassium in multicationic systems. pp. 145-161. *In*: Proceedings of the 22nd Colloquium of the International Potash Institute, Bern.

วิทยานิพนธ์ (Thesis)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ระดับวิทยานิพนธ์. สถาบันการศึกษา, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

TH: Maneepong, A. 2004. Effects of ozone treatments on postharvest quality and pesticide residue of Mandarin cv. Sai Nam Pung. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 100 p. (in Thai)

EN: Liquido, N.J. 1982. Population ecology of *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter (Heteroptera: Miridae). Ph.D. Dissertation. University of Hawaii, Honolulu. 175 p.

เอกสารวิชาการอื่น ๆ

ชื่อผู้เขียน หรือหน่วยงาน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องหรือชื่อหนังสือ. ประเภทของเอกสาร. สถาบันหรือหน่วยงานที่จัดพิมพ์, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

TH: Shutsrirung, A., C. Santasup and K. Kunasakdakul. 2010. Screening of bio-organic inputs for high quality tea production. Final Report. The Thailand Research Fund, Bangkok. 109 p. (in Thai)

EN: Siriphontangmun, S., U. Nounart, S. Roumchaiapikun and S. Srijuntra. 2016. Insect Pests of Vegetable, Mushroom and Cut Flower. Technical Document. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. 74 p. (in Thai)

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: ที่อยู่ของไฟล์หรือเว็บไซต์ (URL) (เดือน วันที่, ปีที่ สืบค้นข้อมูล).

(ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลปีที่ตีพิมพ์ ให้ระบุเป็นปีที่เข้าไปสืบค้นข้อมูล)

TH: Department of Agricultural Extension. 2005. Hydroponics. (Online). Available: http://www.doae.go.th/ proster/nondin/htm (April 21, 2005). (in Thai)

EN: Marja, L.L. 2000. How Mycostop® acts in the control of fungal plant diseases. (Online). Available: http://www.shkagro.com/otros/efecto_fungicida.pdf (April 1, 2016).

การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์

โปรดตรวจสอบบทความต้นฉบับให้เป็นไปตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ พร้อมแนบแบบฟอร์มนำส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร (https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/information/authors) โดยนำส่งบทความผ่านทาง online เท่านั้น ที่ https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/index

การพิจารณาบทความ

1) ต้นฉบับที่ไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับของวารสาร จะไม่ได้รับการพิจารณา

2) ทุกบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสาร ต้องผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่น้อยกว่า 3 ท่าน

3) กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจและแก้ไขบทความทุกเรื่องที่เสนอเพื่อการตีพิมพ์ในวารสาร (The Editorial Board claims a right to review and correct all articles submitted for publishing in Journal of Agriculture)

4) หากบทความใดขาดการติดต่อเกิน 6 เดือน กองบรรณาธิการจะดำเนินการลบบทความดังกล่าวออกจากระบบ ThaiJo 2.0 เพื่อให้การจัดทำวารสารเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีคุณภาพ

สำนักงานและการติดต่อสอบถาม (Office and Inquiries)

กองบรรณาธิการวารสาร

งานบริหารงานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จ. เชียงใหม่ 50200 โทร. 0 5394 4089-92 ต่อ 12 โทรสาร 0 5394 4089-92 ต่อ 12

Editorial Board, Journal of Agriculture

Division of Research and International Affairs, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand Tel: 0 5394 4089-92 ext. 12

Fax: 0 5394 4089-92 ext. 12 Email: agjournal22@gmail.com

(ดูตัวอย่างต้นฉบับที่เป็นทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่ https://drive.google.com/file/d/1AK1gabPWQgw2ErSRUaTiKMrjFdtKdsFC/view)

Journal of Agricultural Research and Communications

A Technical Journal of Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

Volume 41, Issue 3 September-December 2025

Optimization of Cellulose Production from Orange Pomace by *Acetobacter xylinum*

Supavej Maniyom, Sathian Boonkum,

Siriwat Jinsiriwanit, Patcharee Pattanagul 123

Diagnosis of *Candidatus* Liberibacter solanacearum Associated with Imported Seed Potatoes

Saenkhot Saenkhot, Wanpen Srichart, Sopa Meeamnat,

Chanpis Dathamart and Wasana Rungsawang.....139

Evaluation of Quick Assessment Method for Mechanical Damage in Soybean Seed

Papassorn Wattanakulpakin, Kantima Thongsri and Paveena Ruk-Ak.....147

Development and Increasing Efficiency of Highland Rice Production by Ready-to-use Technology in Pang Mapha District, Mae Hong Son Province

Taparat Seeloy-ounkaew, Sarayoot Wongkum,

Sangtiwa Suriyong and Suttakarn Jaikawin.....159

Weed Seed Contamination in Imported Celery Seeds

Chanpis Dathamart, Sopa Meeamnat, Surasak Saenkote,

Wassana Rungsawang, Aungkana Thoonsanthia and Nakanda Kwanthongyim.....171

ISSN 3057-1022 (Online)

TCI