



Journal of Agricultural Research and Communications

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 42 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2569

ผลของกากมันสำปะหลังหมักที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการต่อปริมาณการกินได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน การผลิตน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือดของโคนม

ชัยวัฒน์ อาจีน กรวรรณ ศรีงาม ประมินทร์ วินิจฉัยกุล มลรัฐ แสงเกต
เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ พชร ตาสุขใส จุลภัทร ใจกันทะ กรรณิการ์ พุทธโส
นิพนธ์ นันทะเรื่อน และ ปฎิภาณ หน่อแก้ว.....69

ผลของสารละลายพลาสติกคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลลำไย

วันทวิภา แสนกล และ ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข.....85

การพัฒนาของผลและคุณภาพผลของราสปี้เบอร์รีสีแดง รหัสพันธุ์ ‘อาร์ 1’
ที่ปลูกในพื้นที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ จังหวัดเชียงใหม่

รวีพล ต่ายคง.....97

การพัฒนาต้นแบบระบบคัดแยกผลเชอร์รี่กาแฟด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์

รัฐพล พรประสิทธิ์ พงษ์ประพันธ์ กันทะแก้ว
กฤติยาภรณ์ ตาคำ และ วัสสนัย วรธนัจฉริยา.....111

บทความปริทัศน์:

ข้าววัชพืชมจากไหน

เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม ศันสนีย์ จำจด
จรรยา มณีโชติ และ ต่อนภา ผุสดี.....123

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

เรื่องที่ตีพิมพ์

1. เป็นบทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการ ทางด้านเกษตรศาสตร์และสาขาที่เกี่ยวข้อง
2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

การเตรียมต้นฉบับ

1. ภาษา เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ
2. การพิมพ์
 - 1) พิมพ์หน้าเดียวบนกระดาษขนาด A4 พิมพ์แนวตั้ง (portrait orientation) ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟท์ เวิร์ด (Microsoft Word for Windows) ตัวอักษรใช้ TH-SarabunPSK โดยทั่วไปใช้ระยะบรรทัดปกติคือ 1 เท่า หรือ Single ความยาวต้นฉบับไม่เกิน 10 -12 หน้า
 - 2) ชื่อเรื่องให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 18 points พิมพ์ตัวหนา (bold) และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ สำหรับชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ กำหนดให้อักษรตัวแรกของคำให้พิมพ์ด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ (capital letter)
 - 3) ชื่อผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 15 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
 - 4) ที่อยู่และที่อยู่อีเมลของผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 12 points พิมพ์ตัวเอียงธรรมดา (normal italic) และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
 - 5) บทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 14 points พิมพ์ตัวธรรมดา (normal) ยกเว้นเฉพาะคำ บทคัดย่อ และ Abstract ให้พิมพ์ตัวหนา และจัดชิดซ้าย
 - 6) เนื้อหาให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 14 points พิมพ์ตัวธรรมดา (normal)
 - 7) หัวข้อหลัก ได้แก่ คำนำ อุปกรณ์และวิธีการ ผลการทดลองและวิจารณ์ สรุป เอกสารอ้างอิง ให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 16 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
 - 8) หัวข้อย่อย ให้พิมพ์ตัวหนาและจัดชิดซ้าย
 - 9) คำอธิบายตารางและภาพให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร TH-SarabunPSK ขนาด 14 points พิมพ์ตัวหนา โดยคำอธิบายตารางให้พิมพ์เหนือตารางและจัดชิดซ้าย ส่วนคำอธิบายภาพให้พิมพ์ใต้ภาพ และจัดกึ่งกลางหน้า และคำอธิบายตารางและภาพถ้ามีมากกว่าหนึ่งบรรทัดให้เริ่มต้นพิมพ์บรรทัดถัดมาตรงกับข้อความของบรรทัดแรก
 - 10) หากมีชื่อวิทยาศาสตร์ปรากฏในบทความ ให้เขียนตามหลักเกณฑ์การเขียนชื่อวิทยาศาสตร์ ในครั้งแรกที่ปรากฏชื่อให้สะกดเต็ม เช่น *Meloidogyne incognita* และหลังจากนั้นถ้ามีการระบุชื่อนี้บ่อยครั้งที่สุด โดยเขียนเป็น *M. incognita*
 - 11) คำว่า *et al.* และ *P*-value ให้พิมพ์เอ่น

ข้อแนะนำการใช้ภาษา

- 1) ใช้คำศัพท์ตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน และประกาศของราชบัณฑิตยสถาน
- 2) การเขียนชื่อเฉพาะหรือคำแปลจากภาษาต่างประเทศ ควรพิมพ์ภาษาเดิมของชื่อนั้น ๆ ไว้ในวงเล็บในครั้งแรกที่ปรากฏในบทความ โดยพิมพ์เป็นอักษรตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะให้พิมพ์เฉพาะอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่
- 3) ไม่ควรใช้ภาษาต่างประเทศถ้ามีภาษาไทยใช้อยู่แล้ว
- 4) รักษาความสม่ำเสมอในการใช้คำ คำศัพท์ และด้วย โดยตลอดทั้งบทความ

การเรียงลำดับหัวข้อ ให้เรียงตามลำดับดังนี้

1. ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น ชัดเจน และต้องสื่อเป้าหมายหลักของการศึกษาวิจัย ระบุชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาไทยให้พิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาอังกฤษให้พิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาอังกฤษก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาไทย
2. ชื่อผู้เขียน ใช้ชื่อผู้เขียนเต็มและระบุชื่อผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับไว้ท้ายนามสกุลของผู้เขียนที่ติดต่อ (corresponding author)

3. ที่อยู่ หรือสังกัด ระบุที่อยู่หรือสังกัดทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หากที่อยู่หรือสังกัดมีหลายแห่ง ให้พิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่หรือสังกัดแห่งแรกก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ จากนั้นพิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่หรือสังกัดแห่งที่สองแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ ผู้เขียนมีหลายคนและมีที่อยู่หรือสังกัดแตกต่างกัน ให้ใช้เลขตัวยก (superscript) ที่ต่างกัน กำกับไว้ท้ายนามสกุลของผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ผู้เขียนคนเดียว หรือหลายคนแต่มีที่อยู่หรือสังกัดเดียวกัน ไม่ต้องใส่เลขตัวยก (superscript) กำกับไว้ท้ายนามสกุลของผู้เขียน ผู้เขียนเป็นนักศึกษา ให้ระบุที่อยู่หรือสังกัดตามหลักสูตรของนักศึกษา บรรทัดถัดจากที่อยู่ ให้พิมพ์ที่อยู่อีเมล (email address) ของผู้เขียนที่ติดต่อ (corresponding author)

4. บทคัดย่อ (Abstract) ควรเป็นเนื้อหาที่สั้น 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 อาจรวมการทบทวนเอกสาร (review of literature) และวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยไว้ด้วย

5.2 อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods) ให้บอกรายละเอียดของวัสดุเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ ในการทดลอง ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ และแบบจำลองการศึกษาวิจัยที่ชัดเจนและสมบูรณ์

5.3 ผลการทดลองและวิจารณ์ หรือ ผลการศึกษาและวิจารณ์ (Results and Discussion) ให้บรรยายผลการศึกษาวิจัย พร้อมเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางหรือภาพประกอบได้ โดยตารางหรือภาพ รวมทั้งคำอธิบายให้จัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ถ้ามีตารางหรือภาพในบทความให้อ้างตารางหรือภาพนั้นในเนื้อหาด้วยโดยใช้เป็นภาษาอังกฤษ เช่น Table หรือ Figure สำหรับการวิจารณ์ ควรเชื่อมโยงกับผลการศึกษาว่าสอดคล้องกับสมมติฐาน หรือแตกต่างไปจากผลงานวิจัยที่มีรายงานไว้ก่อนหรือไม่อย่างไรและด้วยเหตุใด โดยมีพื้นฐานการอ้างอิงที่เชื่อถือได้

5.4 สรุป (Conclusion) เป็นการสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย อาจมีข้อเสนอแนะ หรือระบุอุปสรรคและแผนงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป

5.5 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) อาจมีหรือไม่ก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ช่วยเหลือในงานวิจัย แต่ไม่ได้เป็นผู้ร่วมงานวิจัย

5.6 เอกสารอ้างอิง (References) ให้เรียงเอกสารตามตัวอักษรอังกฤษ

หลักการอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง

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

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

- 1.1 ผู้เขียน มี 1 คน ตัวอย่าง Kubo (2003) รายงานว่า.....หรือ.....(Kubo, 2003)
- 1.2 ผู้เขียนมี 2 คน ให้ใช้คำว่า และ 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 (ค) คั่นกลาง ตัวอย่าง (Bukhari et al. (2011); Kubo (2003); Muthita and Kuanprasert(2004))
- 1.5 กรณีผู้แต่งเดียวกัน และปีพิมพ์เดียวกัน ให้พิมพ์ตัวอักษร a b c ต่อท้ายปี

ตัวอย่าง Tangtaweewipat et al. (2011a).....Tangtaweewipat et al. (2011b).....
(ดูคำแนะนำการเขียนเอกสารอ้างอิง การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ และการพิจารณาบทความ ได้ที่ ปกหลังด้านใน)

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 International Relations
บรรณาธิการ	รศ.ดร. ณัฐา โพธาภรณ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editor	Nuttha Potapohn, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
รองบรรณาธิการ	ผศ.ดร. ชูชาติ สันทรทรัพย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Vice Editor	Choochad Santasup, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
กองบรรณาธิการ ฝ่ายวิชาการ	ผศ.ดร. บุศรา ลิ้มนิรันดร์กุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. จีรวรรณ กิจชัยเจริญ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ศ.ดร. ชนาگانต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รศ.ดร. ต่อนภา ผุสดี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. ฉันทลักษณ์ ตียายน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. พิมพ์ใจ สีหะนาม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. อรุมา เรืองวงษ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รศ.ดร. เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. มินตรา ศีลอุดม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.ดร. มนต์รี แสนวงศ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editorial Board (Academic)	Budsara Limnirankul, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Jirawan Kitchaicharoen, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Chanakan Thebault Prom-u-thai, Ph.D., Prof. Chiang Mai University Tonapa Pusadee, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University Chantalak Tiyyon, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Pimjai Seehanam, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Piyawan Suttiaprapan, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University On-Uma Ruangwong, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Saowaluck Yammuen-art, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University Mintra Seel-audom, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Montri Sanwangsri, Ph.D. Chiang Mai University

รศ.ดร. พิชญา พูลลาภ
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 รศ.ดร. อีรนุช เจริญกิจ
 ข้าราชการเกษียณอายุ
 ผศ.ดร. ปฐิภาณ สุทธิกุลบุตร
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 ผศ.ดร. ศุภวรรณ วิเศษน้อย
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 รศ.ดร. อนุสรณ์ เชิดทอง
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 ผศ.ดร. สุขฤช นิมิตรกุล
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 รศ.ดร. ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 ผศ.ดร. สาวิกา กอนแสง
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 Prof. Dr. Shang-Ho Yang
 National Chung Hsing University
 Prof. Dr. Mehmet Ulaş Çınar
 Erciyes Üniversitesi
 Prof. Dr. Bernard Dell
 Murdoch University
 Assoc. Prof. Dr. Teresita D. Amore
 University of Hawai‘i
 Prof. Dr. Tomofumi Mochizuki
 Osaka Metropolitan University
 Prof. Dr. Won-Kyo Jung
 Pukyong National University
 Assoc. Prof. Dr. Thilde Bech Bruun
 University of Copenhagen
 ฝ่ายการจัดการ
 นางลาลิตยา นุ่มมีศรี
 นายมานพ เปี้ยพรรณ
 นางสาวศิริลักษณ์ ใจเหล็ก

Pichaya Poonlarp, Ph.D., Assoc. Prof.
 Chiang Mai University
 Theeranuch Jaroenkit, Ph.D., Assoc. Prof.
 Retired government official
 Pathipan Sutigoolabud, Ph.D., Assist. Prof.
 Maejo University
 Supawan Visetnoi, Ph.D., Assist. Prof.
 Chulalongkorn University
 Anusorn Cherdthong, Ph.D., Assoc. Prof.
 Khon Kaen University
 Sukkrit Nimitku, Ph.D., Assist. Prof.
 Kasetsart University
 Ladawan Lerslerwong, Ph.D., Assoc. Prof.
 Prince of Songkla University
 Sawika Konsaeng, Ph.D., Assist. Prof.
 Maejo University
 Shang-Ho Yang, Ph.D., Prof.
 National Chung Hsing University, Taiwan
 Mehmet Ulaş Çınar, Ph.D., Prof.
 Erciyes Üniversitesi, Turkey
 Bernard Dell, Ph.D., Prof.
 Murdoch University, Australia
 Teresita D. Amore, Ph.D., Assoc. Prof.
 University of Hawai‘i, United States
 Tomofumi Mochizuki, Ph.D., Prof.
 Osaka Metropolitan University, Japan
 Won-Kyo Jung, Ph.D., Prof.
 Pukyong National University, South Korea
 Thilde Bech Bruun, Ph.D., Assoc. Prof.
 University of Copenhagen, Denmark
 (Management) Lalitaya Nummisri
 Manop Pearpun
 Sirilak Chailek

บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน วารสาร Journal Of Agricultural Research And Communications ปีที่ 42 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2569 ฉบับนี้ ประกอบด้วยบทความวิชาการจำนวนทั้งสิ้น 5 เรื่อง แบ่งเป็นบทความภาษาไทย 4 เรื่อง และบทความภาษาอังกฤษ 1 เรื่อง

บทความในฉบับนี้ประกอบด้วย บทความวิจัยด้านสัตวศาสตร์ จำนวน 1 เรื่อง บทความวิจัยด้านพืชสวน จำนวน 3 เรื่อง และบทความปริทัศน์ด้านพืชไร่ จำนวน 1 เรื่อง ซึ่งล้วนเป็นผลงานที่มีคุณค่าทางวิชาการและเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน นักวิจัย และผู้สนใจในสาขาเกษตรศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

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 และพบกันฉบับต่อไปค่ะ

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐา โพธารมณ์

บรรณาธิการวารสาร

ผลของกากมันสำปะหลังหมักที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการต่อปริมาณการกินได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน การผลิตน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือดของโคนม

Effects of Nutrient-Enhanced Fermented Cassava Pulp on Feed Intake, Rumen Fermentation, Milk Production, and Blood Metabolites in Dairy Cows

ชัยวัฒน์ อาจิน¹ กรวรรณ ศรีงาม¹ ประมินทร์ วินิจชัยกุล² มลรัฐ แสงเกต¹ เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ¹

พชร ตาสุขใส¹ จุลภัทร ใจกันทะ¹ กรรณิการ์ พุทธโส¹ นิพนธ์ นันทะเรื่อน¹และ ปฏิภาณ หน่อแก้ว^{1*}

Chaiwat Arjin¹, Korawan Sringarm¹, Paramintra Vinitchaikul², Molarat Sangkate¹, Saowaluck Yammuen-Art¹, Patchara Tasuksai¹, Junlaphat Jaikanta¹, Kannika Puttaso¹, Nitthon Nantharuean¹ and Patipan Hnokaew^{1*}

¹ ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

² คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹ Department of Animal and Aquatic Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

² Faculty of Veterinary Medicine, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: patipan.hnokaew@cmu.ac.th

(Received: 9 January 2026; Revised: 25 May 2026 ; Accepted: 26 May 2026)

Abstract: This study aimed to evaluate the effects of nutrient-enhanced fermented cassava pulp on feed intake, ruminal fermentation, milk production, and blood metabolites in dairy cows. Twelve Holstein Friesian cows with an average body weight of 450 ± 20.0 kg, in the 1st lactation, 130 ± 30 days in milk, and an average milk yield of 12.0 ± 2.0 kg/day were used in this experiment. Cows were fed a total mixed ration (TMR) containing 14% crude protein and were offered feed *ad libitum*. The experiment was conducted using an independent sample t-test design with two dietary treatments: a control group fed TMR without fermented cassava pulp (CON) and a treatment group fed TMR in which fermented cassava pulp replaced 20% of the diet on a dry matter (DM) basis (TREAT). The experiment lasted 59 days (a 14-day dietary adaptation period followed by a 45-day sample collection period). Feed intake and milk yield were recorded daily, while rumen fluid, milk, and blood samples were collected on days 0, 15, 30, and 45 of the experimental period to determine ruminal pH, ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) concentration, volatile fatty acid (VFA) profiles, milk composition, and blood metabolites. Results showed that on day 45, dry matter intake in the TREAT group was significantly lower than that in the CON group ($P < 0.05$).

However, on days 30 and 45, cows fed the FCP diet exhibited significantly greater ruminal $\text{NH}_3\text{-N}$ concentrations, total VFA concentrations, and propionate proportions compared with the control group ($P < 0.05$). No significant difference was observed between treatments in milk yield, milk composition, or blood metabolites. In conclusion, replacing 20% of the TMR with fermented cassava pulp enhanced rumen fermentation activity by increasing total VFA production and shifting fermentation toward greater propionate production, without adversely affecting milk production performance or the health status of lactating dairy cows.

Keywords: Fermented cassava pulp, rumen fermentation, milk production, dairy cows

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกากมันสำปะหลังหมักที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการต่อปริมาณการกินได้ การหมักในกระเพาะรูเมน การผลิตน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือดของโคนม โดยใช้โคนมสายพันธุ์ Holstein Friesian จำนวน 12 ตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ย 450 ± 20.0 กิโลกรัม อยู่ในรอบการให้นมที่ 1 (1st lactation) มีระยะการให้น้ำนม 130 ± 30 วัน และมีปริมาณการให้น้ำนมเฉลี่ย 12.0 ± 2.0 กิโลกรัมต่อวัน โคนมได้รับอาหารผสมครบส่วน (Total mixed ration; TMR) ที่มีระดับโปรตีน 14% และให้อาหารแบบ *ad libitum* วางแผนการทดลองแบบ independent sample t-test แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุมที่ได้รับ TMR โดยไม่มีการทดแทนกากมันสำปะหลังหมัก (CON) และกลุ่มทดลองที่ได้รับ TMR ซึ่งมีการทดแทนกากมันสำปะหลังหมัก (Fermented cassava pulp; FCP) ในสูตรอาหารที่ระดับ 20% DM basis (TREAT) ทำการทดลอง 59 วัน (ระยะปรับอาหาร 14 วัน และระยะเก็บตัวอย่าง 45 วัน) มีการบันทึกปริมาณการให้อาหารและการให้น้ำนมทุกวัน และเก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะรูเมน น้ำนม และเลือดในวันที่ 0, 15, 30 และ 45 ของการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ค่า pH ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acids; VFA) องค์ประกอบน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือด ผลการศึกษาพบว่า ในวันที่ 45 กลุ่ม TREAT มีปริมาณการกินวัตถุดิบแห้งต่ำกว่ากลุ่ม CON อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 30 และ 45 กลุ่ม TREAT มีความเข้มข้นของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวม และสัดส่วนโปรตีนไอออนสูงกว่ากลุ่ม CON อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่ปริมาณน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือดไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง การศึกษาครั้งนี้จึงสรุปได้ว่าการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ที่ระดับ 20% บนพื้นฐานวัตถุดิบแห้งสามารถช่วยเพิ่มกิจกรรมการหมักในกระเพาะรูเมนและปรับรูปแบบการหมักไปสู่การผลิตโปรตีนไอออนมากขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการให้น้ำนมและสุขภาพของโคนม

คำสำคัญ: กากมันสำปะหลังหมัก การหมักในกระเพาะรูเมน การผลิตน้ำนม โคนม

คำนำ

อุตสาหกรรมโคนมของประเทศไทยมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและความมั่นคงทางอาหารของประเทศ อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงโคนมในปัจจุบันกำลังเผชิญกับปัญหาต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะต้นทุนค่าอาหารสัตว์ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนมากกว่า 55 % ของต้นทุนการผลิตน้ำนม (Ragkos *et al.*, 2021)

ถือเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่ง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการนำวัตถุดิบอาหารสัตว์ไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในภาคส่วนอื่น ประกอบกับการพึ่งพาวัตถุดิบนำเข้าซึ่งก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความผันผวนของราคา ส่งผลให้ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์สูงขึ้น ดังนั้น เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมจึงจำเป็นต้องปรับตัวโดยมุ่งเน้นการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีปริมาณมากและราคาถูกภายในประเทศเพื่อลดต้นทุนการผลิต

กากมันสำปะหลัง (Cassava pulp) วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรจากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังและเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพเพียงพอในการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกในการเลี้ยงโคนม เนื่องจากกากมันสำปะหลังก็ยังคงมีคุณค่าทางอาหารเหลืออยู่โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย ประมาณ 65-70 เปอร์เซ็นต์ จากรายงานของ Wanapat (2000) พบว่า มันสำปะหลังเป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งของพลังงานซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถถูกย่อยสลายได้เร็วในกระเพาะหมักและสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด เมื่อใช้ร่วมกับแหล่งโปรตีนที่ถูกย่อยสลายได้เร็วส่งผลให้จุลินทรีย์ได้รับพลังงานและไนโตรเจนเพียงพอที่จะนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์เซลล์ของจุลินทรีย์ต่อไป Kwankaew *et al.* (2010) รายงานว่า กากมันสำปะหลังมีค่าวัตถุแห้ง (Dry matter; DM) โปรตีนหยาบ (Crude protein; CP) เถ้า (Ash) ไขมัน (Fat) เยื่อใยหยาบ (Crude fiber; CF) เท่ากับ 22.97, 2.03, 7.38, 0.13 และ 12.28 % ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม กากมันสำปะหลังยังคงเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ จึงเป็นข้อจำกัดต่อการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารโคนม ดังนั้น การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของกากมันสำปะหลังจึงถือเป็นกลยุทธ์สำคัญในการส่งเสริมการใช้ประโยชน์วัตถุดิบดังกล่าวในการผลิตอาหารโคนม เพื่อช่วยลดต้นทุนค่าอาหาร เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หนึ่งในแนวทางที่มีศักยภาพในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของกากมันสำปะหลัง คือ การเสริมวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมถึงวิตามินและแร่ธาตุ ร่วมกับการหมักด้วยจุลินทรีย์ ในการศึกษานี้ กากมันสำปะหลังถูกปรับปรุงคุณภาพโดยการเสริมแหล่งโปรตีน (กากเมล็ดในปาล์มและกากถั่วเหลือง) แหล่งคาร์โบไฮเดรต (กากน้ำตาล) และแหล่งไนโตรเจนที่ปลดปล่อยเร็ว (ยูเรีย) ร่วมกับพรีมิกซ์ จากนั้นทำการหมักด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยยีสต์มีชีวิต (*Saccharomyces cerevisiae*) และแบคทีเรียกรดแลคติก (*Lactococcus lactis* O-224 และ *Lactobacillus buchneri*) งานวิจัยของ Norrapoke *et al.* (2018) รายงานว่า การปรับปรุงคุณภาพกากมันสำปะหลังโดยการหมักด้วยยูเรียและกากน้ำตาลในระดับ

4% ภายใต้การทดลองแบบ *in vitro* สามารถเพิ่มผลผลิตก๊าซสะสม การย่อยได้ และการเจริญเติบโตของประชากรจุลินทรีย์ย่อยเยื่อใยได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การนำกากมันสำปะหลังมาหมักร่วมกับยีสต์และจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการ (พด.6) ยังสามารถช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของกากมันสำปะหลังได้ (Norrapoke *et al.*, 2018)

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการวิจัยก่อนหน้านี้จะรายงานศักยภาพของกากมันสำปะหลังหมักจากการทดสอบระดับหลอดทดลอง (*in vitro*) อย่างต่อเนื่อง แต่หลักฐานในระดับสัตว์ทดลอง (*in vivo*) โดยเฉพาะในโคนมยังมีจำกัด โดยยังขาดข้อมูลที่ประเมินอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับกากมันสำปะหลังที่ผ่านการเสริมแหล่งโภชนาการร่วมกับวิตามิน-แร่ธาตุ และหมักด้วยจุลินทรีย์ต่อการกินได้ สมรรถนะการผลิต และตัวชี้วัดการหมักในรูเมนภายใต้สภาวะการเลี้ยงจริง ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกากมันสำปะหลังหมักที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการด้วยการเสริมวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมถึงวิตามินและแร่ธาตุ ร่วมกับการหมักด้วยจุลินทรีย์ ต่อปริมาณการกินได้ การหมักในกระเพาะรูเมน การผลิตน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือดของโคนม

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมกากมันสำปะหลังหมัก (Fermented cassava pulp; FCP)

กากมันสำปะหลังหมักที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนในการจัดเตรียมและการผลิตจากบริษัท ดีไอ จำกัด โดยดำเนินการผสมกากมันสำปะหลังสดกับวัตถุดิบอื่น ๆ ตามสูตรที่กำหนด บรรจุลงในกระสอบและทำให้อยู่ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ณ จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย โดยกากมันสำปะหลังสดได้รับการสนับสนุนจากบริษัท ไทยวา จำกัด (มหาชน) ขณะที่กากปาล์มเนื้อใน กากถั่วเหลือง กากน้ำตาล ยูเรีย ไโดแคลเซียมฟอสเฟต เกลือ แร่ธาตุผสม และหัวเชื้อจุลินทรีย์ (ยีสต์และแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก) จัดซื้อจากแหล่งจำหน่ายในท้องถิ่น อัตราส่วนของวัตถุดิบและ

องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังภายหลังการหมักเป็นระยะเวลา 21 วัน แสดงไว้ใน Table 1

การวางแผนการทดลองและสัตว์ทดลอง

การทดลองในครั้งนี้ได้ปฏิบัติตามข้อปฏิบัติในการใช้สัตว์ทดลองเพื่องานทางวิทยาศาสตร์อย่างเคร่งครัด โดยได้รับอนุญาตการใช้สัตว์ทดลองจากคณะกรรมการดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ (สัตว์เกษตร) คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (เลขที่อนุมัติ AG01007/2568) การทดลองดำเนินการ ณ ฟาร์มโคนม ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย (พิกัด 18.75428°N, 98.93697°E; ความสูงจากระดับน้ำทะเล 331 เมตร) ใช้โคนมสายพันธุ์ Holstein Friesian น้ำหนักตัว 450 ± 20.0 กิโลกรัม อยู่ในรอบการให้นมที่ 1 (1st lactation) ช่วงระยะการให้นม 130 $\pm$ 30 วัน ให้นม 12.0 $\pm$ 2.0 กิโลกรัมต่อวัน จำนวน 12 ตัว โคนมทุกตัวได้รับการถ่ายพยาธิทั้งภายในและภายนอก (Ivermectin; IVOMAC-F, Boehringer Ingelheim Animal Health, Thailand) ระหว่างการทดลองมีแร่ธาตุก้อน และน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา ปรับสัตว์ทดลองเป็นเวลา 14 วัน ช่วงระยะเวลาทดลอง 45 วัน รวมตลอดระยะเวลาการทดลองทั้งสิ้น 59 วัน จ่ายอาหาร 2 ครั้ง เวลา 07.00 น. และ 16.00 น. โคนมแต่ละกลุ่มได้รับอาหารผสมครบส่วน (Total mixed ration; TMR) ที่มีระดับโปรตีน 14 % และ TDN 70 % ตามคำแนะนำความต้องการโภชนาของโคนม (NRC, 2001). โดยมีการทดแทนกากมันสำปะหลังหมัก (FCP) ในสูตรอาหารในสัดส่วนที่แตกต่างกัน และให้อาหารแบบ *ad libitum* วางแผนการทดลองแบบ independent sample t-test โดยแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ได้รับ TMR ที่ไม่มีการทดแทนกากมันสำปะหลังหมักในสูตร (CON) และกลุ่มที่ได้รับ TMR ที่ทดแทนกากมันสำปะหลังหมักในสูตรที่ระดับ 20% DM basis (TREAT) โดยระดับการทดแทน 20% กำหนดจากการทดสอบนำร่องด้านความน่ากินของอาหาร (Palatability test) ก่อนเริ่มการทดลองหลัก เพื่อประเมินการยอมรับอาหารและปริมาณการกินได้ของโคนมเมื่อมีการทดแทนกากมันสำปะหลังหมัก ทั้งนี้ ระดับ 20% เป็น

ระดับที่โดยยอมรับได้และบริโภคได้ดี จึงเลือกใช้ในการทดลองนี้ โดยทุกสูตรถูกปรับให้มีโปรตีน (Isonitrogenous) และพลังงาน (Isocaloric) ใกล้เคียงกันที่สุด

การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ทางเคมี

บันทึกปริมาณการให้อาหารทุกวัน โดยชั่งน้ำหนักอาหารก่อนให้และทำการชั่งอาหารที่เหลือ (Feed refusal) สุ่มเก็บตัวอย่างอาหาร โดยเก็บในปริมาณอย่างละ 1000 กรัม ในแต่ละทรีทเมนต์ทุกๆ 7 วันของช่วงระยะเวลาทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง (Dry matter, DM) เถ้า (Ash) ไขมัน (Ether extract, EE) และโปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) ตามวิธีของ AOAC (2000) และวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อใย ได้แก่ ผนังเซลล์ (Neutral-detergent fiber, NDF) และ ลิกโนเซลลูโลส (Acid-detergent fiber, ADF) ตามวิธีการของ Van Soest *et al.* (1991) บันทึกปริมาณการให้นมทุกวัน โคนมทั้งหมดได้รับการรีดนมวันละ 2 ครั้ง (04.45 น. และ 15.45 น.) เก็บตัวอย่างน้ำนมในวันที่ 0, 15, 30 และ 45 ของระยะการทดลอง ตัวอย่างนมในตอนเช้าและตอนเย็นถูกผสมรวมในอัตราส่วนเท่ากัน แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจนกว่าจะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำนม ได้แก่ ไขมัน (Fat) โปรตีน (Protein) แลคโตส (Lactose) ของแข็งรวม (Total solids) และของแข็งที่ไม่รวมไขมัน (Solid not fat) โดยใช้เครื่อง MilkoScan FT2 (FOSS, Hillerod, Denmark) ระยะเวลาในการเคี้ยวเอื้อง (ruminating time) ถูกเก็บข้อมูลโดยใช้ปลอกคออัจฉริยะของระบบ Afimilk (Afimilk Automating Dairy Farms) ติดตั้งกับโคทุกตัว โดยระบบบันทึกข้อมูลการเคี้ยวเอื้องแบบอัตโนมัติ ตลอด 24 ชั่วโมง ทั้งนี้ข้อมูลถูกรวบรวมและสรุปผลเป็นค่าเฉลี่ย (นาฬิกา/วัน) ตามช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูลของการทดลอง

เก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะรูเมน (Rumen fluid) จากโคนมแต่ละตัว ปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยใช้ท่อสอดทางปากเข้าสู่กระเพาะ (Oral stomach tube) ก่อนการให้อาหารมื้อเช้า ในวันที่ 0, 15, 30 และ 45 ของระยะการทดลอง ตามวิธีของ Hnokaew *et al.* (2024) เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่องวัดค่า pH แบบพกพา

Table 1. Ingredients and chemical composition of dietary treatments

Item	Dietary treatments ¹		
	CON	TREAT	FCP
Ingredient, DM basis (%)			
Napier grass	31	30	-
Sweet corn husk	19	18	-
Pellet concentrate	50	32	-
Fermented cassava pulp	0	20	-
Cassava pulp	-	-	79
Palm kernel cake	-	-	7
Soybean meal	-	-	7
Molasses	-	-	3
Urea	-	-	1.3
Dicalcium phosphate	-	-	1
Salt	-	-	0.5
Premix ²	-	-	1
Microbial additive ³	-	-	0.2
Dry matter (%)	30.97	29.92	35.92
Chemical composition, DM basis (%)			
Organic matter	87.36	88.00	89.87
Crude protein	14.01	14.31	20.22
Ether extract	3.82	5.12	6.09
Neutral detergent fiber	51.09	53.99	51.78
Acid detergent fiber	32.71	34.12	29.33

¹ CON = Basal diet (TMR) + 0%FCP; TREAT = Basal diet (TMR) + 20%FCP; FCP = Fermented cassava pulp.

² Contains per kg premix = Vitamin A 10,000,000 IU; vitamin D 1,600,000 IU; vitamin E 70,000, IU; Fe 50 g; Mn 40 g; Zn 40 g; Cu 10 g; I 0.5 g; Se 0.1 g; Co 0.1 g. ³ Microbial additive consisted of live yeast (*Saccharomyces cerevisiae* 2.5 x 10⁸ cfu/g; Yea-Sacc® 1026, Alltech Inc.) and a lactic acid bacteria (*Lactococcus lactis* O-224 6.2 x 10¹⁰ cfu/g and *Lactobacillus buchneri* 6.2 x 10¹⁰ cfu/g) based silage inoculant (SiloSolve® FC, Chr. Hansen). DM = Dry matter.

(VWR International, Radnor, PA, USA) วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH₃-N) ตามวิธีของ Chaney and Marbach (1962) และวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acids; VFA) ตามวิธีของ Hnokaew *et al.* (2025) เก็บตัวอย่างเลือดจากโคนมแต่ละตัวในวันที่ 0, 15, 30 และ 45 ของระยะ

การทดลองจากหลอดเลือดบริเวณโคนหาง (Coccygeal vessels) โดยใช้หลอดเก็บเลือดที่มีส่วนผสมของสาร EDTA ขนาด 4 ml บั่นแยกพลาสมาด้วยแรงปั่นเหวี่ยง 1,500 g นาน 15 นาที จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์สารเมตาโบไลต์ในเลือด ได้แก่ blood urea nitrogen (BUN), aspartate

aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), alkaline phosphatase (ALP), creatinine, total protein และ albumin โดยใช้เครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ (Sysmex BX-3010; Sysmex Asia Pacific Pte Ltd, Chuo-ku, Japan)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติได้ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 4.3.1 โดยทำการตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติและความสม่ำเสมอของความแปรปรวนด้วย Shapiro-Wilk test และ Levene's test ตามลำดับ ปริมาณการกินได้ การหมักในกระเพาะรูเมน สมรรถนะการผลิตน้ำนม และสารเมตาโบไลต์ในเลือด ได้ทำการเปรียบเทียบโดยใช้ independent sample t-test การแปลผลทางสถิติกำหนดให้ค่า P-value มากกว่า 0.05 แต่ไม่เกิน 0.10 แสดงถึงการมีแนวโน้มของความแตกต่างซึ่งบ่งชี้ถึงผลที่อาจเกิดขึ้นหรือความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลอง ขณะที่ค่า P-value น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 ถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองทั้ง 2 กลุ่ม (Table 1) พบว่า การทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ที่ระดับ 20% บนฐานวัตถุดิบแห้ง (DM basis) ไม่ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบ (CP) รวมถึง เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (NDF) และ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (ADF) แตกต่างกันระหว่างกลุ่มอาหารทดลอง อย่างไรก็ตาม กลุ่ม TREAT ซึ่งมีการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร ซึ่ง FCP มีองค์ประกอบของไขมัน อาจเกี่ยวข้องกับการที่ปริมาณไขมันหยาบ (EE) ของกลุ่ม TREAT สูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ เนื่องจาก FCP มีความชื้นสูง จึงอาจเกี่ยวข้องกับการที่ปริมาณวัตถุดิบแห้ง (DM) ของอาหารในกลุ่ม TREAT ลดลงเล็กน้อย

การทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ต่อปริมาณการกินได้แสดงใน Table 2 พบว่า ปริมาณการกินวัตถุดิบแห้ง (DMI) ระหว่างกลุ่ม CON และ TREAT ในวันที่

0 และ 15 ของการทดลองไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้น พบว่า ในวันที่ 30 ของการทดลอง ค่า DMI ของกลุ่ม TREAT มีแนวโน้มลดลง (10.92 เทียบกับ 11.59 kg/d; $P = 0.067$) และเมื่อถึงวันที่ 45 ของการทดลอง พบว่า กลุ่ม TREAT มีค่า DMI ต่ำกว่ากลุ่ม CON (10.69 เทียบกับ 11.65 kg/d) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งบ่งชี้ว่าการทดแทน FCP ในสูตรอาหารที่ระดับ 20% DM basis ส่งผลต่อการกินอาหารของโคนมเมื่อได้รับอาหารเป็นระยะเวลานาน ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันและเยื่อใยเชิงโครงสร้างในสูตรอาหารที่มีการทดแทน FCP อาจส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและประสิทธิภาพการย่อยสลายเยื่อใย ซึ่งมีผลทำให้อัตราการเคลื่อนผ่านของอาหารในกระเพาะหมักลดลงและจำกัดปริมาณการกินอาหารของสัตว์ (Van Soest, 1994) นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของค่า neutral detergent fiber (NDF) และ acid detergent fiber (ADF) ในอาหารของกลุ่ม TREAT อาจก่อให้เกิด rumen fill effect ส่งผลให้สัตว์เกิดความอึดเร็วและลดการกินอาหาร (Allen, 2000; Mertens, 1994) ขณะเดียวกัน ความชื้นที่สูงของ FCP ทำให้มีปริมาณวัตถุดิบแห้งที่ต่ำกว่าในสูตรอาหาร อาจลดความเข้มข้นของสารอาหารต่อหน่วยน้ำหนักอาหาร รวมทั้งลดความน่ากินของอาหาร ส่งผลให้โคนมมีปริมาณการกินอาหารลดลงเมื่อได้รับอาหารดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่ระบุว่าวัตถุดิบแห้งของอาหารและโครงสร้างของเยื่อใยเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการกินอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (NRC, 2001)

เมื่อพิจารณาถึงการหมักในกระเพาะรูเมน (Table 3) พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$), กรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (Total VFAs), สัดส่วนโพรพิโอเนต (C3) และอัตราส่วนอะซีเตตต่อโพรพิโอเนต (C2:C3) ในวันที่ 0 และ 15 ของการทดลองไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม CON และ TREAT ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 30 และ 45 ของการทดลอง พบว่า กลุ่ม TREAT มีค่าความเข้มข้นของ $\text{NH}_3\text{-N}$ (23.34 เทียบกับ 20.84 mg/dL และ 23.11 เทียบกับ 18.97 mg/dL ตามลำดับ), กรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (65.29 เทียบกับ 59.17

mmol/L และ 66.73 เทียบกับ 62.41 mmol/L ตามลำดับ) และสัดส่วนโพรฟิโอนेटสูงกว่ากลุ่ม CON (24.67 เทียบกับ 21.30 mol/100mol และ 24.57 เทียบกับ 20.39 mol/100mol ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งบ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการหมักและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการหมักในรูเมนไปสู่การสร้างโพรฟิโอนेटมากขึ้น ส่งผลให้อัตราส่วน C2:C3 ในกลุ่ม TREAT ต่ำกว่ากลุ่ม CON (2.83 เทียบกับ 3.35 และ 2.66 เทียบกับ 3.37 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงต้นของการทดลอง ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างกลุ่ม แต่เมื่อระยะเวลาการให้อาหารนานขึ้นจึงพบความแตกต่างของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดในช่วงปลายของการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแหล่งคาร์โบไฮเดรตและวัตถุดิบหมักในสูตรอาหารจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาให้ระบบการหมักในกระเพาะรูเมนเกิดการปรับตัวทั้งในระดับโครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์และกิจกรรมการหมัก รวมถึงการปรับตัวของเยื่ออุกระเพาะรูเมนที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมผลิตภัณฑ์จากการหมัก ส่งผลให้สมดุลระหว่างการผลิตและการดูดซึมกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดค่อย ๆ เปลี่ยนและเข้าสู่สภาวะที่มีเสถียรภาพมากขึ้น จึงทำให้ความแตกต่างของกรด

ไขมันระเหยได้ทั้งหมดปรากฏเด่นชัดในวันที่ 30 และ 45 ของการทดลอง (Ramos *et al.*, 2021) ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างในรูเมน (Rumen pH), ระยะเวลาการเคี้ยวเอื้อง (Ruminating time), สัดส่วนอะซีเตต (C2) และสัดส่วนบิวไทเรต (C4) ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มตลอดระยะเวลาการทดลอง ($P > 0.05$) ค่าความเป็นกรด-ด่างในรูเมนไม่ได้รับอิทธิพลจากการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR โดยมีรายงานว่าค่า pH ของรูเมนที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 6.63-7.01 (Dagaew *et al.*, 2023) ค่า pH ที่เหมาะสมเอื้อต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในรูเมน ซึ่งมีบทบาทในการย่อยอาหาร และกระบวนการหมักจะเปลี่ยนองค์ประกอบของอาหารให้เป็นกรดไขมันระเหยสายสั้น แอมโมเนียไนโตรเจน และชีวมวลของจุลินทรีย์ (Kabsuk *et al.*, 2024) เมื่อโคนมได้รับอาหารที่มียีสต์ซึ่งเจริญเติบโตอยู่ใน FCP จึงสามารถช่วยกระตุ้นการผลิตกรดไขมันระเหยง่ายรวม ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Metabolisable energy) คิดเป็นประมาณ 60–70% ของพลังงานทั้งหมดที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับ (Hnokaew *et al.*, 2024) เนื่องจากยีสต์มีศักยภาพในการเป็นแหล่ง probiotics ในสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในกระเพาะรูเมนได้ ยีสต์สามารถช่วยปรับปรุงระบบ

Table 2. Effects of dietary treatments on intake of dietary components by dairy cows during different experimental periods

Item	Treatment ¹		SEM	P-value
	CON	TREAT		
Day0				
DMI, kg/d	10.62	10.28	0.21	0.149
Day15				
DMI, kg/d	11.20	10.71	0.38	0.282
Day30				
DMI, kg/d	11.59	10.92	0.39	0.067
Day45				
DMI, kg/d	11.65	10.69	0.18	0.004

¹ CON = Basal diet + 0%FCP; TREAT = Basal diet + 20%FCP. DMI = Dry matter intake. SEM = standard error of the mean

Table 3. Effects of dietary treatments on rumen fermentation characteristics of dairy cows during different experimental periods

Item	Treatment ¹		SEM	P-value
	CON	TREAT		
Day0				
Rumen pH	6.85	6.82	0.16	0.833
Ruminating time, mins	347.57	342.84	38.94	0.443
NH ₃ -N, mg/dL	19.41	20.13	0.61	0.139
Total VFAs , mmol/L	61.35	58.72	2.84	0.180
Acetate (C2), mol/100mol	72.55	70.46	1.60	0.137
Propionate (C3), mol/100mol	20.70	21.58	0.54	0.484
Butyrate (C4), mol/100mol	6.75	7.96	0.47	0.115
C2:C3	3.50	3.26	0.12	0.203
Day15				
Rumen pH	6.73	6.80	0.14	0.233
Ruminating time, mins	372.61	365.40	39.23	0.436
NH ₃ -N, mg/dL	21.82	22.37	0.56	0.129
Total VFAs , mmol/L	60.22	62.03	3.02	0.137
Acetate (C2), mol/100mol	68.88	69.40	2.31	0.485
Propionate (C3), mol/100mol	22.10	23.44	0.72	0.264
Butyrate (C4), mol/100mol	9.02	7.16	0.51	0.184
C2:C3	3.07	2.96	0.15	0.332
Day30				
Rumen pH	6.79	6.75	0.15	0.428
Ruminating time, mins	357.60	372.86	24.59	0.449
NH ₃ -N, mg/dL	20.84	23.34	0.53	0.022
Total VFAs , mmol/L	59.17	65.29	2.75	0.004
Acetate (C2), mol/100mol	71.56	69.89	2.16	0.109
Propionate (C3), mol/100mol	21.30	24.67	0.69	0.023
Butyrate (C4), mol/100mol	7.14	5.44	0.78	0.148
C2:C3	3.35	2.83	0.14	0.006
Day45				
Rumen pH	6.80	6.78	0.10	0.828
Ruminating time, mins	353.75	364.60	27.94	0.304
NH ₃ -N, mg/dL	18.97	23.11	0.47	0.002
Total VFAs , mmol/L	62.41	66.73	3.17	0.042
Acetate (C2), mol/100mol	68.90	65.41	2.33	0.152
Propionate (C3), mol/100mol	20.39	24.57	0.66	0.019
Butyrate (C4), mol/100mol	10.71	10.02	0.53	0.125
C2:C3	3.37	2.66	0.12	0.034

¹ CON = Basal diet + 0%FCP; TREAT = Basal diet + 20%FCP. NH₃-N = Ammonia nitrogen; VFAs = volatile fatty acid. SEM = standard error of the mean

นิเวศวิทยาและกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ทำให้ภายในกระเพาะรูเมนมีออกซิเจนต่ำลงด้วยการใช้ออกซิเจนที่ติดมากับอาหารและน้ำที่โคนมกิน ยีสต์ยังสามารถรักษาสมดุลค่า pH ด้วยการแย่งใช้กลูโคสและโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ใช้ประโยชน์โดยแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกที่ส่งผลทำให้ค่า pH ภายในกระเพาะรูเมนลดลง เช่น *Streptococcus bovis* เมื่อกระเพาะรูเมนอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic) และค่า pH อยู่ในระดับที่จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเหมาะสมต่อการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนภายในกระเพาะรูเมน (Jouany, 2006; Polyorach and Wanapat, 2015; Sirisan, 2017) นอกจากนี้เมื่อมีการทดแทน FCP ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในรูเมน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณ FCP จุลินทรีย์ในรูเมนจะย่อยสลาย CP ที่เพิ่มขึ้นจากวัตถุดิบดังกล่าว ส่งผลให้เกิด $\text{NH}_3\text{-N}$ ในปริมาณสูง (Dagaew et al., 2023) นอกจากนี้การย่อยเยื่อใยเพิ่มขึ้นเมื่อ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในรูเมนทำหน้าที่เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ ตามหลักนิเวศวิทยาของรูเมน (Khejornsart et al., 2011) $\text{NH}_3\text{-N}$ ที่มีอยู่ในรูเมนสามารถถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนจุลินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในรูเมน เป็นที่ทราบกันว่าแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลลูโลสใช้ NH_3 เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโต (Bryant, 1973) หัวมันสำปะหลังมีพลังงานที่หมักได้ง่ายในระดับสูง และสามารถนำมาใช้ร่วมกับแหล่งไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) ซึ่งปลดปล่อยได้รวดเร็ว เช่น ยูเรีย ในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งอาจช่วยส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียในรูเมนได้ (Norrapoke et al., 2018; Wanapat and Kang, 2013) จึงอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กลุ่ม TREAT มีปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายรวมสูงกว่ากลุ่ม CON อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของ $\text{NH}_3\text{-N}$ สะท้อนประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนที่ดีขึ้นก็ต่อเมื่อมีพลังงานหมักได้เพียงพอและจุลินทรีย์สามารถนำ $\text{NH}_3\text{-N}$ ไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่หาก $\text{NH}_3\text{-N}$ สูงเกินความต้องการหรือไม่สมดุลกับพลังงานที่มีอยู่ แอมโมเนียส่วนเกินอาจถูกดูดซึมและ

เปลี่ยนเป็นยูเรีย ส่งผลให้การใช้ไนโตรเจนมีประสิทธิภาพลดลง สำหรับสาเหตุที่ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นอาจเพราะว่ายีสต์ที่เจริญเติบโตอยู่ใน FCP ช่วยกระตุ้นการผลิตโปรตีน เนื่องจากยีสต์สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดในกระเพาะรูเมนที่สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้โดยเส้นทาง succinate : propionate pathway (Wolin and Miller, 1997) ยีสต์มีส่วนประกอบของสารที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของ *Megasphaera elsdenii* ได้แก่ กรดอะมิโน วิตามิน แร่ธาตุ และกรดอินทรีย์ (Julien et al., 2010; Sirisan, 2017) นอกจากนี้การประเมินองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่สกัดจากยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) ที่มีผลต่อการเจริญของ *M. elsdenii* พบว่า ยีสต์มีกรดอะมิโนไลซีน (Lysine) และฮิสทีดีน (Histidine) ค่อนข้างสูง ที่ช่วยกระตุ้นการเจริญของ *M. elsdenii* ได้มากกว่าร้อยละ 18.5 (Rossi et al., 2010) ซึ่ง *M. elsdenii* เป็นแบคทีเรียที่สามารถใช้กรดแลคติกได้ ถึงร้อยละ 60 ถึง 80 ของกรดแลคติกที่ผลิตขึ้นในกระเพาะรูเมนของโคนม (Counotte et al., 1981) *M. elsdenii* เป็นจุลินทรีย์ชนิดหลักที่สำคัญต่อการผลิตโปรตีนในกระเพาะรูเมนโดยอาศัยกรดแลคติกผ่านวิถีแอคริเรท (Acrylate pathway) เปลี่ยนโปรตีน (Asanuma and Hino, 2001) โดยทั่วไป DMI ที่ลดลงอาจคาดว่าจะทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดลดลง อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดในกระเพาะรูเมนสะท้อนสมมูลระหว่างอัตราการผลิตกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดและอัตราการดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนมากกว่าปริมาณการกินเพียงอย่างเดียว (Dieho et al., 2016) ในกรณีของกลุ่ม TREAT การเสริมกากมันสำปะหลังหมักซึ่งมีส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยและหมักได้ง่ายสูง อาจทำให้อัตราการหมักต่อหน่วยอาหารเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การผลิต VFA ต่อหน่วยวัตถุดิบสูงขึ้นแม้ DMI รวมลดลง จึงทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดในกระเพาะรูเมนยังคงอยู่ในระดับเดิมในช่วงต้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปลายของการทดลองได้ นอกจากนี้ การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายในกากมันสำปะหลังหมักยังสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของโปรตีนในเลือด ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญจาก

การหมักคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายและสะท้อนการเปลี่ยนทิศทางการหมักไปสู่เส้นทางแบบ glucogenic มากขึ้น (Rigout *et al.*, 2003) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของโพรพิโอนेटสะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนทิศทางของผลผลิตจากการหมักไปสู่เส้นทางการสร้างพลังงานแบบ glucogenic ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของการผลิตมีเทนและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Olorunlowu *et al.*, 2025) โพรพิโอนेटเป็นสารตั้งต้นสำคัญสำหรับกระบวนการสร้างกลูโคสใหม่ (gluconeogenesis) ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยมีบทบาทในการเพิ่มระดับกลูโคสในเลือด และช่วยกระตุ้นการสังเคราะห์แลคโตสรวมถึงเพิ่มผลผลิตน้ำนมโดยรวม (Stein *et al.*, 2006) ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการทดแทน FCP ในอาหาร TMR ช่วยปรับปรุงลักษณะการหมักในรูเมนของโคได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากในกระบวนการสร้างอะซิเตตและบิวไทเรต มีการผลิตก๊าซของเสีย โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานจากอาหารค่อนข้างมาก ดังนั้น การเพิ่มการผลิตโพรพิโอนेटจึงถือเป็นรูปแบบการหมักที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า และสะท้อนถึงการใช้องค์ประกอบจากอาหารได้อย่างคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น (Khejornsart *et al.*, 2025) แม้การกินได้ของวัตถุดิบแห้ง (DMI) ลดลง แต่ผลผลิตน้ำนมไม่ลดลง อาจเป็นเพราะพลังงานสุทธิที่สัตว์ได้รับต่อหน่วยอาหารที่กินเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนรูปแบบการหมักไปสู่การผลิตโพรพิโอนेटมากขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มการจัดหาพลังงานและแลคโตสสำหรับการผลิตน้ำนม (Leduc, *et al.*, 2021) ดังนั้น การทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ที่ระดับ 20% บนพื้นฐานวัตถุดิบแห้งช่วยเพิ่มกิจกรรมการหมักในรูเมนและปรับรูปแบบการหมักไปในทิศทางที่เอื้อต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของค่าความเป็นกรด-ด่างในรูเมน

ผลของการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ต่อสมรรถนะการให้น้ำนมของโคนมดังแสดงใน Table 4 พบว่า ในวันที่ 0, 15, 30 และ 45 ของการทดลอง ปริมาณน้ำนม (Milk yield) น้ำนมปรับไขมันที่ 3.5% (3.5% FCM) น้ำนมปรับไขมันและโปรตีน (FPCM) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Feed efficiency) ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม CON และกลุ่ม TREAT ($P > 0.05$) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของน้ำนม พบว่า

สัดส่วนไขมัน (Fat) โปรตีน (Protein) แลคโตส (Lactose) ของแข็งรวม (Total solids) และของแข็งที่ไม่รวมไขมัน (Solid not fat) ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม CON และกลุ่ม TREAT ตลอดทุกช่วงเวลาของการทดลอง ($P > 0.05$) โดยภาพรวม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ที่ระดับ 20% บนพื้นฐานวัตถุแห้งไม่ส่งผลกระทบต่อเชิงลบต่อสมรรถนะการให้น้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนมของโคนมตลอดระยะเวลาการทดลอง ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Suksombat *et al.* (2006) ซึ่งพบว่าการให้อาหารข้นที่มีกากมันสำปะหลังในระดับ 35-45% ของวัตถุแห้งแก่โคนมให้นม ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม

ผลของการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ต่อสารเมตาโบไลต์ในเลือดของโคนม (Table 5) พบว่า ค่าไนโตรเจนยูเรียในเลือด (Blood urea nitrogen; BUN) ครีเอตินีน (Creatinine) เอนไซม์แอสพาร์เทตอะมิโนทรานสเฟอเรส (AST) เอนไซม์อะลานีนอะมิโนทรานสเฟอเรส (ALT) โปรตีนรวม (Total protein) และอัลบูมิน (Albumin) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม CON และกลุ่ม TREAT ($P > 0.05$) ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ที่ระดับ 20% บนพื้นฐานวัตถุดิบไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของตับและไตของโคนม นอกจากนี้ ค่าสารเมตาโบไลต์ในเลือดของโคนมทั้งสองกลุ่มยังคงอยู่ในช่วงค่าปกติของสัตว์สุขภาพดีตลอดระยะเวลาการทดลอง สะท้อนให้เห็นว่าอาหารทดลองไม่ก่อให้เกิดผลกระทบเชิงลบต่อสุขภาพของโคนม อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีข้อจำกัดคือไม่ได้ดำเนินการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ (เช่น ต้นทุนค่าอาหาร รายได้จากผลผลิตน้ำนม และรายได้เหนือต้นทุนค่าอาหาร) เนื่องจากข้อมูลด้านต้นทุนวัตถุดิบและราคาสูตรอาหารมีข้อจำกัดด้านการเปิดเผยข้อมูล (Confidentiality) และราคาต้นทุน/ราคาจำหน่ายยังอยู่ระหว่างการพัฒนาและปรับปรุง จึงไม่สามารถนำเสนอหรือคำนวณผลทางเศรษฐศาสตร์ได้อย่างโปร่งใสภายใต้ข้อมูลที่สามารเปิดเผยได้

Table 4. Effects of dietary treatments on lactation performance of dairy cows during different experimental periods

Item	Treatment ¹		SEM	P-value
	CON	TREAT		
Day0				
Milk yield, kg/d	11.45	11.13	0.73	0.417
3.5% FCM ² , kg/d	12.26	11.02	1.16	0.259
FPCM ³ , kg/d	11.25	10.98	0.87	0.434
Feed efficiency, milk/DMI	1.08	1.10	0.07	0.440
Milk composition, %				
Fat	3.93	3.36	0.32	0.129
Protein	3.16	3.14	0.07	0.438
Lactose	4.58	4.60	0.03	0.408
Total solid	12.82	12.29	0.40	0.174
Solid not fat	8.89	8.94	0.07	0.730
Day15				
Milk yield, kg/d	11.05	11.41	0.93	0.412
3.5% FCM, kg/d	12.41	11.91	1.19	0.397
FPCM, kg/d	11.24	11.80	1.04	0.447
Feed efficiency, milk/DMI	0.92	1.07	0.09	0.174
Milk composition, %				
Fat	4.28	3.73	0.35	0.105
Protein	3.09	3.17	0.04	0.119
Lactose	4.52	4.51	0.05	0.448
Total solid	13.01	12.47	0.38	0.121
Solid not fat	8.73	8.72	0.05	0.966
Day30				
Milk yield, kg/d	11.87	11.26	0.74	0.345
3.5% FCM, kg/d	12.03	13.83	0.87	0.141
FPCM, kg/d	11.31	12.86	0.73	0.234
Feed efficiency, milk/DMI	0.96	0.98	0.06	0.446
Milk composition, %				
Fat	3.59	3.99	0.22	0.109
Protein	3.33	3.21	0.03	0.126
Lactose	4.49	4.35	0.04	0.136
Total solid	12.56	13.14	0.26	0.110
Solid not fat	8.97	8.65	0.09	0.144
Day45				
Milk yield, kg/d	10.59	10.13	0.86	0.383
3.5% FCM, kg/d	11.15	11.19	0.95	0.490
FPCM, kg/d	10.34	10.88	0.84	0.474
Feed efficiency, milk/DMI	0.86	0.92	0.08	0.327
Milk composition, %				
Fat	3.73	4.07	0.19	0.107
Protein	3.28	3.21	0.05	0.276
Lactose	4.52	4.44	0.06	0.272
Total solid	12.66	12.95	0.19	0.193
Solid not fat	8.92	8.77	0.06	0.370

¹ CON = Basal diet + 0%FCP; TREAT = Basal diet + 20%FCP. ² 3.5%FCM (3.5%Fat-corrected milk, kg/d) = 0.4324 × milk (kg/d) + [16.218 × milk fat (kg/d)]. ³ FPCM (fat and protein corrected milk, kg/d) = milk yield (kg/d) × [0.116 × fat (%) + 0.06 × protein (%) + 0.337]. DMI = Dry matter intake. SEM = standard error of the mean

Table 5. Effect of dietary treatment on blood metabolic profiles of dairy cows at different trial periods

Item	Treatment ¹		SEM	P-value
	CON	TREAT		
Day0				
BUN, mg/dL	15.93	16.14	0.71	0.402
Creatinine, mg/dL	1.09	1.13	0.02	0.495
AST, U/L	74.50	75.37	1.92	0.253
ALT, U/L	26.41	26.85	0.69	0.429
Total protein, g/dl	9.24	8.98	0.36	0.118
Albumin, g/dl	3.48	3.45	0.04	0.670
Day15				
BUN, mg/dL	17.16	16.98	0.82	0.207
Creatinine, mg/dL	1.03	1.02	0.03	0.323
AST, U/L	74.61	75.49	2.14	0.291
ALT, U/L	26.90	27.05	1.20	0.988
Total protein, g/dl	9.20	8.74	0.68	0.227
Albumin, g/dl	3.46	3.53	0.17	0.248
Day30				
BUN, mg/dL	16.45	17.47	0.77	0.112
Creatinine, mg/dL	1.12	1.19	0.02	0.292
AST, U/L	73.83	76.00	3.06	0.263
ALT, U/L	26.83	27.54	1.16	0.256
Total protein, g/dl	9.35	9.07	0.83	0.653
Albumin, g/dl	3.53	3.77	0.15	0.848
Day45				
BUN, mg/dL	16.88	17.13	0.65	0.730
Creatinine, mg/dL	1.10	1.16	0.03	0.689
AST, U/L	75.11	75.94	2.44	0.626
ALT, U/L	26.32	27.17	1.39	0.571
Total protein, g/dl	9.38	9.13	0.77	0.149
Albumin, g/dl	3.62	3.84	0.18	0.338

¹ CON = Basal diet + 0%FCP; TREAT = Basal diet + 20%FCP. BUN = Blood urea nitrogen; AST = Aspartate aminotransferase; ALT = Alanine aminotransferase; ALP = Alkaline phosphatase. SEM = standard error of the mean

สรุป

การทดแทน FCP ในสูตรอาหาร TMR ที่ระดับ 20% บนพื้นฐานวัตถุดิบแห้ง ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการให้น้ำนม องค์ประกอบของน้ำนม และสุขภาพของโคนม อย่างไรก็ตาม การได้รับอาหารที่มี FCP เป็นระยะเวลานานส่งผลให้ปริมาณการกินวัตถุดิบแห้งลดลง ขณะเดียวกันการทดแทน FCP ช่วยเพิ่มกิจกรรมการหมักในกระเพาะรูเมน โดยเพิ่มปริมาณกรดไขมันระเหยรวม และสัดส่วนโพรพิโอเนต พร้อมลดอัตราส่วนอะซีเตตต่อโพรพิโอเนต โดยไม่กระทบต่อเสถียรภาพของค่า pH ในกระเพาะรูเมนของโคนม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ดีไอ จำกัด สำหรับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยและอาหารชั้นหมักที่มีมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณภาคีวิทยาศาสตร์และสัตวน้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับการสนับสนุนสถานที่ในการดำเนินการทดลอง ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Allen, M.S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 83(7): 1598-1624.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17thed. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg.
- Asanuma, N. and T. Hino. 2001. Molecular characterization, enzyme properties and transcriptional regulation of phosphoenolpyruvate carboxykinase and pyruvate kinase in a ruminal bacterium, *Selenomonas ruminantium*. *Microbiology* 147(3): 681-690.
- Chaney, A.L. and E.P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry* 8: 130-132.
- Counotte, G.H.M., R.A. Prins, R.H.A.M. Janssen and M.J.A. deBie. 1981. Role of *Megasphaera elsdenii* in the fermentation of DL-[2-13C] lactate in the rumen of dairy cattle. *Applied and Environmental Microbiology* 42(4): 649-655.
- Dagaew, G., S. Wongtangintharn, R. Prachumchai and A. Cherdthong. 2023. The effects of fermented cassava pulp with yeast waste and different roughage-to-concentrate ratios on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and milk production in lactating cows. *Heliyon* 9(4): e14585.
- Dieho, K., J. Dijkstra, J.T. Schonewille and A. Bannink. 2016. Changes in ruminal volatile fatty acid production and absorption rate during the dry period and early lactation as affected by rate of increase of concentrate allowance. *Journal of Dairy Science* 99(7): 5370-5384.
- Hnokaew, P., K. Sringarm, P. Chuammitri, C. Arjin, C. Lumsangkul, S. Mekchay, A. Satsook, Y. Wang and P. Vinitchaikul. 2024. Influence of dietary mulberry (*Morus Alba* L.) leaf supplementation on production performance, blood metabolites, rumen fermentation characteristics and ruminal bacteria community in lactating dairy cows. *Italian Journal of Animal Science* 23(1): 1031-1043.

- Hnokaew, P., C. Arjin, A. Satsook, J.N. Halder, S. Tateing, N. Potapohn and K. Sringarm. 2025. Harnessing bioactive compounds from *Cannabis sativa* residue to improve rumen fermentation and reduce methane production: *in silico*, *in vitro*, and *in situ* nylon bag studies. BMC Veterinary Research 21(1): 611.
- Jouany, J.P. 2006. Optimizing rumen functions in the close-up transition period and early lactation to drive dry matter intake and energy balance in cows. Animal Reproduction Science 96(4): 250-264.
- Julien, C., J.P. Marden, F. Enjalbert, C. Bayourthe and A. Troegeler-Maynadier. 2010. Live yeast as a possible modulator of polyunsaturated fatty acid biohydrogenation in the rumen. Revue de Medecine Veterinaire 161(8-9): 391-400.
- Kwankaew, M., P. Lueanglawany and W. Suksombat. 2010. Utilization of cassava peel and pulp as composition of silage. Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University 12(3):92-103. (in Thai)
- Leduc, A., S. Souchet, M. Gele, F. Le Provost and M. Boutinaud. Effect of feed restriction on dairy cow milk production: a review. Journal of Animal Science 99(7): 1-12.
- Mertens, D.R. 1994. Regulation of forage intake. In: Fahey Jr., G.C., Ed., Forage Quality, Evaluation, and Utilization. American Society of Agronomy, Madison. 450-493 p.
- Norrapoke, T., M. Wanapat, A. Cherdthong, S. Kang, K. Phesatcha and T. Pongjongmit. 2018. Improvement of nutritive value of cassava pulp and *in vitro* fermentation and microbial population by urea and molasses supplementation. Journal of Applied Animal Research 46(1): 242-247.
- Norrapoke, T., T. Phongchongmit, A. Cherdthong and N. Phakachod. 2018. Using cassava pulp fermented with additives on feed intake and digestibility of beef cattle. Khon Kaen Agriculture Journal 46(Suppl.1): 590-596. (in Thai)
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7thed. National Academies Press, Washington, DC. 381 p.
- Olorunlowu, S., P. Sidoruk, J. Sznajder, J. Szczesny, D. Lechniak, P. Pawlak, M. Ryczek, H. Huang, L. Li and A.Irawan. 2025. Effects of a multi-strain lactic and propionic acid bacteria inoculant on silage quality, methane emissions, milk composition, and rumen microbiome. Animals 15: 2740.
- Polyorach, S. and M. Wanapat. 2015. Potential of yeast as probiotics in ruminants. Khon Kaen Agriculture Journal 43 (Suppl. 1): 191-206. (in Thai)
- Ragkos, A., G. Koutouzidou and A. Theodoridis. 2021. Impact of feeding pattern on the structure and the economic performance of dairy cow sector. dairy 2: 122-134.
- Rigout S, C. Hurtaud, S. Lemosquet, A. Bach and H. Rulquin. 2003. Lactational effect of propionic acid and duodenal glucose in cows. Journal of Dairy Science 86(1): 243-53.
- Ramos, S.C., C.D. Jeong, L.L. Mamuad, S.H. Kim, S.H. Kang, E.T. Kim, Y.I. Cho, S.S. Lee and S.S. Lee. 2021. Diet transition from high-forage to high-concentrate alters rumen bacterial community composition,

- epithelial transcriptomes and ruminal fermentation parameters in dairy cows. *Animals* 11: 838.
- Rossi, F., A.D. Luccia, D. Vincenti and P.S. Cocconcelli. 2004. Effects of peptidic fractions from *Saccharomyces cerevisiae* culture on growth and metabolism of the ruminal bacteria *Megasphaera elsdenii*. *Animal Research* 53(1): 177-186.
- Sirisan, V. 2017. Strategies to reduce ruminal acidosis by using microorganism. *Chiang Mai Veterinary Journal* 15(1): 51-62. (in Thai)
- Stein, D.R., D.T. Allen, E.B. Perry, J.C. Bruner, K.W. Gates, T.G. Rehberger, K. Mertz, D. Jones and L.J. Spicer. 2006. Effects of feeding propionibacteria to dairy cows on milk yield, milk components, and reproduction. *Journal of Dairy Science* 89(1): 111-125.
- Suksombat, W., P. Lounglawan and P. Noosen. 2006. Energy and protein evaluation of five feedstuffs used in diet in which cassava pulp as main energy source for lactating dairy cows. *Suranaree Journal of Science and Technology* 14(1): 99-107.
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca, 476 p.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Method for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Wanapat, M. 2000. Rumen manipulation to increase the efficient use of local feed resources and productivity of ruminants in the tropics. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 1(Suppl.): 59-67.
- Wolin, M.J., T.L. Miller and C.S. Stewart. 1997. Microbe-microbe interactions. pp.467-491. In: P.N. Hobson and C.S. Stewart (eds.). *The Rumen Microbial Ecosystem*. Blackie Academic & Professional, London.

ผลของสารละลายพลาสมาต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลลำไย

Effects of Plasma Solution on Quality and Shelf Life of Longan Fruit

วันทนวิภา แสนกล และ ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข*

Wattanawipa Sankon and Tanachai Pankasemsuk*

ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

*Corresponding author: Email: tanachai.p@cmu.ac.th

(Received: 7 March 2023; Revised: 29 May 2026 ; Accepted: 30 May 2026)

Abstract: Longan is the major economic fruit crop in Thailand, but the fresh fruit has a short storage and shelf life. The objective of this study was to investigate the effects of plasma solution on the postharvest quality of longan. The fruits were soaked in 1% plasma solution for various times; 1, 3, and 5 minutes. Tap water-soaked fruits (1 min) were used as the control. The fruits were then stored at 5°C with 80-85% relative humidity. After 28 days of storage, results showed that weight loss, firmness, total soluble solids (TSS), and titratable acidity (TA) among all treatments were not significantly different, ranging from 4.52-12.98%, 16.55-26.15 kg/cm², 18.82-21.03%, and 0.69-1.44%, respectively. The total phenolic compounds of longan fruits soaked in plasma solution treatment for 5 minutes were significantly higher than those in the plasma solution treatment for 1, 3 minutes, and tap water (control) at 28 days of storage. In terms of the color of the longan peel, all plasma solution treatments had browning index values of 2.35-2.65 at 28 days of storage, lower than 4.15 in the untreated control, indicating delayed development of pericarp browning during prolonged storage. For a shelf life, the control had a shelf life of 21 days because fruit decay exceeded 20% at 28 days of storage, while fruit in all plasma solution treatments had a shelf life of 28 days with fruit decay of 13.63-14.50%.

Keywords: Longan, cold plasma, storage

บทคัดย่อ: ลำไยเป็นไม้ผลเศรษฐกิจของประเทศไทย แต่ผลสดมีอายุการเก็บรักษาและวางจำหน่ายสั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารละลายพลาสมาต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของลำไย โดยใช้ผลลำไยในสารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ที่ระยะเวลาต่างกันคือ 1, 3 และ 5 นาติ โดยใช้ผลลำไยที่แช่น้ำประปານาน 1 นาติเป็นชุดควบคุม จากนั้นนำผลลำไยไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการเก็บรักษานาน 28 วัน พบว่าการสูญเสียน้ำหนักสด ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของน้ำคั้นจากผลลำไยในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 4.52-12.98 เปอร์เซ็นต์ 16.55-26.15 กก./ชม.² 18.82-21.03 เปอร์เซ็นต์ และ 0.69-1.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลลำไยในกรรมวิธีแช่สารละลายพลาสมานาน 5 นาติ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าผลที่แช่ในสารละลายพลาสมานาน 1 นาติ 3 นาติ และน้ำประปา (ชุดควบคุม) เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 28 วัน ในส่วนของสีเปลือก ผลลำไยในทุกกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมา มีคะแนนการเกิดสีน้ำตาลอยู่ระหว่าง 2.35-2.65 ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมที่มีคะแนนเท่ากับ 4.15 แสดงถึงการชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกระหว่างการเก็บรักษาสำหรับอายุการเก็บรักษา ผลลำไยในชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษา 21 วัน เนื่องจากมีอัตราการเน่าเสียเกิน 20 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ในขณะที่กรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมา มีอายุการเก็บรักษานาน 28 วัน ซึ่งมีอัตราการเน่าเสียของผลอยู่ระหว่าง 13.63-14.50 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ลำไย พลาสมาเย็น การเก็บรักษา

คำนำ

ลำไย (longan) มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Dimocarpus longan* Lour. จัดอยู่ในวงศ์ Sapindaceae เป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยมีการเพาะปลูกอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ อีกทั้งยังเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในสาธารณรัฐประชาชนจีน ไทย และเวียดนาม (Chen *et al.*, 2014) ประเทศไทยเป็นแหล่งนำเข้าลำไยสดอันดับ 1 ของประเทศจีน และช่วงเดือนมกราคม-กรกฎาคม พ.ศ. 2566 ประเทศจีนมีการนำเข้าลำไยสดจากประเทศไทยคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณนำเข้าลำไยสดทั้งหมด (Thai Trade and Commerce Promotion Office, Guangzhou, 2023) ลำไยเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยสารอาหาร สามารถบริโภคสดและแปรรูปรวมถึงใช้ประโยชน์ทางการแพทย์แผนไทยโดยเมล็ดมีฤทธิ์ห้ามเลือดและรักษาแผล ใบลำไยช่วยแก้หวัดและริดสีดวง ลำไยเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจคงที่หรือลดลงหลังการเก็บเกี่ยวและเป็นผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลสูง ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น (Rattanapanon and Boonyakiat, 2018) โดยมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้เพียง 3-4 วัน

(Jiang *et al.*, 2002; Liu and Ma, 2001) ปัญหาสำคัญที่มีผลต่อการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวของลำไยคือการสูญเสีย น้ำ การเปลี่ยนสีของเปลือก และการเข้าทำลายของโรคหรือแมลงศัตรูพืช (Jiang and Li, 2001) ปัจจุบันใช้วิธีการรมลำไยด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาระหว่างส่งออกได้นาน 30-40 วัน แต่บ่อยครั้งพบปัญหาการตกค้างของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกินค่ามาตรฐานและการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชที่เป็นอุปสรรคหลักต่อการส่งออก

พลาสมาเป็นสถานะที่สี่ของสารประกอบด้วยโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนที่ล่องลอยอิสระเนื่องจากถูกปลดปล่อยจากอะตอมหรือโมเลกุลโดยพลังงานหลากหลายรูปแบบ เช่น ความร้อน ไฟฟ้า และคลื่นแสง พลาสมา มีสถานะใกล้เคียงก๊าซเนื่องจากการยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคอ่อนแอ โดยเฉพาะอนุโมเลไฮดรอกซิล (OH) ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์สำคัญที่มีปฏิกิริยาสูงในสภาวะขึ้น (Sanghoo *et al.*, 2019) ในทางปฏิบัติสามารถสร้างได้ด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การคายประจุเรืองแสงโคโรนา คลื่นวิทยุ ไดอิเล็กทริกบาร์เรีย (DBD) ไมโครเวฟ และเจ็ตพลาสมา (Asl *et al.*, 2022) พลาสมาเย็นเป็นนวัตกรรมสำคัญในการยับยั้งจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรม

อาหาร ด้วยศักยภาพในการกำจัดเชื้อสาเหตุการเน่าเสีย ลดสารตกค้างกำจัดศัตรูพืช และรักษาคุณภาพผลผลิต (Chu *et al.*, 2007; Helhel *et al.*, 2005; Soloshenko *et al.*, 2002) กลไกหลักคือการกระตุ้นลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ทำลายโปรตีนและ DNA ของจุลินทรีย์บน พื้นผิวอาหาร รวมถึงลดสารเคมีตกค้างทั้งทางตรงและ ทางอ้อม นอกจากนี้ พลาสมาเย็นยังกระตุ้นกระบวนการ- สรีรวิทยาของผลไม้ ชะลอความเสื่อมหลังการเก็บเกี่ยว ที่เกิดจากความเครียดทางสิ่งแวดล้อม ช่วยรักษาคุณภาพ ทางสรีรวิทยาและยืดอายุการเก็บรักษา (Misra *et al.*, 2016) โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส สปอร์ และไบโอฟิล์มผ่านกระบวนการออกซิเดชัน จากไอออนไนเซชันที่รวดเร็ว (Soloshenko *et al.*, 2002; Chu *et al.*, 2007; Helhel *et al.*, 2005) ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งประเมินประสิทธิภาพพลาสมาต่อ คุณภาพและอายุการเก็บรักษาลำไย เพื่อพัฒนาเทคโนโลยี อาหารปลอดภัยที่ยั่งยืนสำหรับการส่งออก

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองของระยะเวลาในการแช่สารละลาย พลาสมาต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของเปลือก และของผลลำไยดำเนินงานวิจัยและรวบรวมข้อมูล ห้องปฏิบัติการพลาสมา ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ใช้ลำไยพันธุ์ ดอกจากสวนเกษตรกรในจังหวัดลำพูน วางแผนการทดลอง แบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 4 ช่อ คัดเลือกผลลำไยที่มีคุณภาพผลดีไม่มีร่องรอยการเข้า ทำลายจากโรคและแมลง มัดรวมกันเป็นช่อ ช่อละ 250 กรัม เตรียมสารละลายพลาสมาโดยใช้สาร NaHCO_3 ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ผ่านระบบผลิตพลาสมาพร้อมกับปั๊มผลิตฟองไมโครนาโน เป็นเวลา 5 นาที นำผลลำไยชุดควบคุมแช่ในน้ำประปา นาน 5 นาที และแช่ผลลำไยในสารละลายพลาสมาความ-เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นาน 1, 3 และ 5 นาที เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์แล้ววิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทาง

กายภาพและทางเคมีทุก 7 วัน โดยบันทึกผลการทดลอง ดังนี้การสูญเสียน้ำหนักสด ปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids: TSS) ปริมาณกรด ที่ไทเทรตได้ (titratable acidity: TA) ค่าสีของผล ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (total phenolic compounds) ความแน่นเนื้อโดยใช้เครื่องวัดแรงกดที่มี รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร กดลงบนเนื้อผลลำไยที่นำเปลือกออก และอายุการ-เก็บรักษาพิจารณาจากการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผล เมื่อคะแนนผิวเปลือกมากกว่า 3.0 กำหนดเป็นคะแนนที่ ไม่ยอมรับด้านสีผิว เกณฑ์การเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือก ลำไย (browning index) มี 5 ระดับดังนี้ 1 = ผลไม่เกิด สีน้ำตาล 2 = เกิดสีน้ำตาลเล็กน้อยหรือเป็นจุดเล็ก ๆ (ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์) 3 = เกิดสีน้ำตาลน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ 4 = เกิดสีน้ำตาลระหว่าง 25-50 เปอร์เซ็นต์ และ 5 = เกิดสีน้ำตาลบนพื้นที่ผลมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีของ Jiang and Li (2001) โดยอายุการเก็บรักษา ของผลลำไยในแต่ละกรรมวิธีสิ้นสุดลงเมื่อผลลำไยใน กรรมวิธีนั้น ๆ มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลมากกว่า หรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ของผลที่ทำการเก็บรักษาใน กรรมวิธีนั้น ๆ บันทึกผลการทดลองทุกวันจนผลลำไย หมดอายุการเก็บรักษา วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดย วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบ ANOVA และวิเคราะห์ ความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี least significant difference ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17.0

ผลการทดลอง

สีน้ำตาลของเปลือกและอายุการเก็บรักษา

หลังการแช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น ต่าง ๆ พบว่า อายุการเก็บรักษาของลำไย ซึ่งพิจารณาจาก คะแนนการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกที่มีค่ามากกว่า 3.0 คะแนน โดยในวันที่เริ่มการเก็บรักษา และวันที่ 7 ของการ เก็บรักษา พบว่าเปลือกลำไยทั้ง 4 กรรมวิธีมีการเปลี่ยนสี ของเปลือก 1 คะแนน แสดงให้เห็นว่าเปลือกผลลำไยไม่ เกิดสีน้ำตาล ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ผลลำไยใน กรรมวิธีควบคุมมีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือก 1.25

คะแนน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับผลลำไยในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นาน 1, 3 และ 5 นาที ซึ่งมีคะแนนการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล 1.10, 1.15 และ 1.14 คะแนนตามลำดับ และในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ผลลำไยในกรรมวิธีควบคุมมีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือก 4.15 คะแนน ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (Table 1)

เปอร์เซ็นต์การเน่าเสีย

การเน่าเสียหลังการเก็บรักษา พบว่าผลลำไยในชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษา 21 วัน เนื่องจากมีอัตราการเน่าเสียของผลลำไยเกิน 20 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ส่วนผลลำไยในทุกกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมา มีอายุการเก็บรักษา 28 วัน โดยมีอัตราการเน่าเสียของผลอยู่ระหว่าง 13.63-14.50 เปอร์เซ็นต์ (Table 2)

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลลำไย

ค่า L^* คือ ค่าที่แสดงความมืดและความสว่างของสี ถ้าค่า L^* เข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีทึบ ถ้าค่า L^* เข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีสีสว่าง (McGuire, 1992) จากผลการวิเคราะห์ ค่า L^* ของผลลำไย ในวันที่เริ่มการเก็บรักษา พบว่ามีค่า L^* อยู่ในช่วง 50.31-51.12 ในวันที่ 7

ของการเก็บรักษาผลลำไยในกรรมวิธีควบคุมมีค่า L^* เท่ากับ 47.28 ซึ่งสูงกว่าค่า L^* ของเปลือกผลลำไยในกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ผลลำไยในกรรมวิธีควบคุมมีค่า L^* 45.24 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับผลลำไยในกรรมวิธีที่แช่ในสารละลายพลาสมา 3 และ 5 นาที ซึ่งมีค่า L^* เท่ากับ 44.55 และ 44.56 ตามลำดับ แต่สูงกว่าค่า L^* ในกรรมวิธีที่ได้รับการแช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นาน 1 นาที (43.30) ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา ผลลำไยในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นาน 3 นาที มีค่า L^* 43.52 ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติกับผลลำไยในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมา นาน 1 และ 5 นาที ซึ่งมีค่า L^* 42.24 และ 42.30 ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกับผลลำไยในกรรมวิธีควบคุมในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ผลลำไยในกรรมวิธีควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา (Table 3)

ค่า chroma (C^*) เป็นค่าที่แสดงความบริสุทธิ์ของสี โดยค่า chroma ที่มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงวัตถุมีสีซีดหรือเทา หากมีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึงวัตถุมีสีที่เข้ม (McGuire, 1992) จากผลการวิเคราะห์ค่า chroma ของผลลำไยในวันที่เริ่มการเก็บรักษา พบว่ามีค่า chroma

Table 1. Peel browning of longan cv. 'Daw' fruits soaked in 1% plasma solution for 1, 3, and 5 min then stored at 5 °C and 80-85% RH

Treatments	Longan peel browning (score)				
	Storage period (days)				
	0	7	14	21	28
Control (water)	1.00±0.00	1.00±0.00	1.25±0.11	2.40±0.11 a	4.15±0.15 a
1% plasma (1 min)	1.00±0.00	1.00±0.00	1.10±0.07	1.75±0.10 b	2.35±0.10 b
1% plasma (3 min)	1.00±0.00	1.00±0.00	1.15±0.08	2.30±0.10 a	2.55±0.11 b
1% plasma (5 min)	1.00±0.00	1.00±0.00	1.14±0.10	2.30±0.10 a	2.65±0.11 b
F-test _(p=0.05)	NS	NS	NS	*	*

Note: Means followed by different letters within the same column are significant different at $P<0.05$

NS Not significant different

Table 2. Fruit spoilage of longan cv. 'Daw' soaked in 1% plasma solution for 1, 3, and 5 min then stored at 5 °C and 80-85% RH

Treatments	Fruit spoilage (%)				
	Storage period (days)				
	0	7	14	21	28
Control (water)	0	2.25±0.23 a	6.25±0.35 a	12.00±0.23 a	20.30±0.23 a
1% plasma (1 min)	0	1.00±0.35 b	3.25±0.23 b	9.50±0.42 b	14.50±0.41 b
1% plasma (3 min)	0	0.75±0.34 b	3.63±0.41 b	7.63±0.50 b	13.63±1.41 b
1% plasma (5 min)	0	1.13±0.33 b	3.38±0.23 b	7.88±0.31 b	13.63±0.23 b
F-test _(p=0.05)	NS	*	*	*	*

Note: Means followed by different letters within the same column are significant different at $P<0.05$

^{NS} Not significant different

Table 3. L* values of longan cv. 'Daw' fruits soaked in 1% plasma solution for 1, 3, and 5 min then stored at 5 °C and 80-85% RH

Treatments	L*				
	Storage period (days)				
	0	7	14	21	28
Control (water)	51.12±0.71	47.28±0.57 a	45.24±0.44 a	43.05±0.39 ab	-
1% plasma (1 min)	50.32±0.49	41.01±0.75 b	43.30±0.54 b	42.24±0.48 b	43.39±0.60 b
1% plasma (3 min)	50.31±1.09	42.59±0.71 b	44.55±0.45 ab	43.52±0.26 a	43.65±0.32 a
1% plasma (5 min)	50.71±0.48	41.34±0.59 b	44.56±0.48 ab	42.30±0.34 b	43.73±0.61 a
F-test _(p=0.05)	NS	*	*	*	*

Note: Means followed by different letters within the same column are significant different at $P<0.05$

^{NS} Not significant different

- The fruit condition was unacceptable

ในช่วง 30.43-33.20 โดยผลลำไยในกรรมวิธีที่แช่ในสารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เวลา 5 นาที มีค่า chroma 33.20 ซึ่งไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เวลา 3 นาที แต่สูงกว่าค่า chroma ของผลลำไยในกรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมาเป็นเวลา 1 นาทีที่มีค่า chroma 30.43 และ 30.73 ตามลำดับ

ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา พบว่าเปลือกผลลำไยมีค่า chroma ในช่วง 30.64-32.26 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 14 และ 21 ของการเก็บรักษา พบว่าเปลือกผลลำไยในกรรมวิธีควบคุมมีค่า chroma 28.95 และ 30.15 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลลำไยในทุกกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมา และในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ผลลำไยใน

กรรมวิธีควบคุมหัตถการเก็บรักษา และพบว่าผล
ลำไยในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น
1 เปอร์เซ็นต์ 5 นาที มีค่า chroma 39.53 ซึ่งสูงกว่าค่า
chroma ของผลลำไยในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมา
ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์นาน 1 และ 3 นาที (Table 4)

ค่า hue angle เป็นค่าที่แสดงสีส้มหรือแดง
โดยค่าที่เข้าใกล้ 90 องศา สีวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเหลือง
หากมีค่าเข้าใกล้ 180 องศา สีวัตถุจะอยู่ในกลุ่มสีเขียว
(McGuire,1992) จากผลการวิเคราะห์ค่า hue angle (h°)

ของผลลำไยในวันที่เริ่มการเก็บรักษา พบว่ามีค่า hue
angle อยู่ในช่วง 76.20-78.43 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน
ทางสถิติ ในการเก็บรักษาวันที่ 7, 14, 21 และ 28
ผลลำไยมีค่า hue angle อยู่ในช่วง 67.98-70.45, 68.00-
68.93, 66.52-68.68 และ 67.40-68.42 องศา ตามลำดับ
ซึ่งผลลำไยทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มของค่า hue angle
ลดลง และตลอดการทดลองพบว่าค่า hue angle ของ
ผลลำไยทั้ง 4 กรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
(Table 5)

Table 4. Chroma values of longan cv. 'Daw' fruits soaked in 1% plasma solution for 1, 3, and 5 min then stored at 5 °C and 80-85% RH

Treatments	Chroma (C*)				
	Storage period (days)				
	0	7	14	21	28
Control (water)	30.43±0.74 b	32.26±0.61	28.95±0.46 a	30.15±0.89 a	-
1% plasma (1 min)	30.73±0.27 b	31.68±0.55	26.87±0.59 b	25.49±0.29 c	24.32±0.50 b
1% plasma (3 min)	31.23±0.56 ab	31.29±0.87	25.67±0.33 b	26.92±0.21 bc	24.79±0.46 b
1% plasma (5 min)	33.20±1.18 a	30.64±0.47	26.69±0.44 b	27.26±0.26 b	39.53±2.27 a
F-test($p=0.05$)	*	NS	*	*	*

Note: Means followed by different letters within the same column are significant different at $P<0.05$

^{NS} Not significant different

- The fruit condition was unacceptable

Table 5. Hue angle of longan cv. 'Daw' fruits soaked in 1% plasma solution for 1, 3, and 5 min then stored at 5 °C and 80-85% RH

Treatments	Hue angle ($^\circ$)				
	Storage period (days)				
	0	7	14	21	28
Control (water)	76.92±0.51	70.45±0.54	68.93±0.61	68.19±0.52	-
1% plasma (1 min)	78.43±0.73	68.98±1.37	68.00±0.47	66.52±1.62	67.87±0.75
1% plasma (3 min)	76.20±1.29	69.40±1.36	68.73±0.40	68.68±0.90	67.40±0.25
1% plasma (5 min)	77.23±0.64	67.98±0.55	68.13±0.44	67.65±0.34	68.42±0.51
F-test($p=0.05$)	NS	NS	NS	NS	NS

^{NS} Not significant different

- The fruit condition was unacceptable

การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของลำไยหลังเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 28 วันพบว่าลำไยในทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกัน โดยลำไยที่ผ่านการแช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 1, 3 และ 5 นาที มีค่าการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วง 4.97-12.98, 4.52-12.70 และ 4.83-12.53 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษาผลลำไยในกรรมวิธีควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา (Table 6)

ความแน่นเนื้อ

ลำไยหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 28 วัน พบว่าในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ค่าความแน่นเนื้อของทุกกรรมวิธีเพิ่มขึ้นจากการเก็บรักษาวันแรก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 21.42-26.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเมื่อเก็บรักษาผลลำไยได้ 14 วัน ค่าความแน่นเนื้อของผลลำไยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และลดลงในวันที่ 21 และ 28 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลลำไยในกรรมวิธีการแช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์เวลา 1, 3 และ 5 นาที และกรรมวิธีควบคุมไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 7)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids: TSS)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของลำไยในวันที่เริ่มการเก็บรักษามีค่าอยู่ในช่วง 18.82-20.33 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 14 และ 21 ของการเก็บรักษา พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในช่วง 20.69-20.94 และ 19.92-21.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษาผลลำไยในกรรมวิธีควบคุมหมดอายุการเก็บรักษา และพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลลำไยที่แช่สารละลายพลาสมาอยู่ในช่วง 20.83-20.94 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 8)

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity: TA)

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของลำไย พบว่าวันแรกที่เก็บรักษาผลลำไยในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นาน 1, 3 และ 5 นาที และกรรมวิธีควบคุม มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้อยู่ในช่วง 0.80- 0.91 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาพบว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลลำไยอยู่ในช่วง 0.69-1.02 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลลำไยในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกจนถึงวันที่ 28 ของ

Table 6. Weight loss of longan cv. 'Daw' fruits soaked in 1% plasma solution for 1, 3, and 5 min then stored at 5 °C and 80-85% RH

Treatments	Weight loss (%)				
	Storage period (days)				
	0	7	14	21	28
Control (water)	0	4.60±0.17	11.50±0.17	11.18±0.17	-
1% plasma (1 min)	0	4.97±0.20	11.29±0.18	11.16±0.26	12.98±0.25
1% plasma (3 min)	0	4.52±0.19	11.69±0.18	11.25±0.17	12.70±0.17
1% plasma (5 min)	0	4.83±0.23	11.67±0.19	11.81±0.21	12.53±0.21
F-test _(p=0.05)	NS	NS	NS	NS	NS

^{NS} Not significant different

- The fruit condition was unacceptable

Table 7. Firmness of longan cv. 'Daw' fruits soaked in 1% plasma solution for 1, 3, and 5 min then stored at 5 °C and 80-85% RH

Treatments	Firmness (kg/cm ²)				
	Storage period (days)				
	0	7	14	21	28
Control (water)	20.21 ± 2.26	16.15 ± 4.10	21.42 ± 6.51	19.78 ± 5.85	-
1% plasma (1 min)	19.84 ± 1.88	17.48 ± 3.82	24.22 ± 4.56	20.22 ± 5.11	20.65 ± 4.53
1% plasma (3 min)	19.78 ± 2.40	16.55 ± 4.01	26.15 ± 4.29	21.77 ± 4.07	20.56 ± 3.52
1% plasma (5 min)	19.89 ± 1.90	17.88 ± 3.70	22.54 ± 4.39	22.56 ± 4.13	21.37 ± 3.55
F-test _(p=0.05)	NS	NS	NS	NS	NS

^{NS} Not significant different

- The fruit condition was unacceptable

Table 8. Total soluble solids of longan cv. 'Daw' fruits soaked in 1% plasma solution for 1, 3, and 5 min then stored at 5 °C and 80-85% RH

Treatments	Total soluble solids (%)				
	Storage period (days)				
	0	7	14	21	28
Control (water)	19.78 ± 0.37	19.46 ± 0.36	20.73 ± 0.18	19.92 ± 0.28	-
1% plasma (1 min)	20.33 ± 0.38	18.92 ± 0.37	20.70 ± 0.23	21.03 ± 0.22	20.83 ± 0.24
1% plasma (3 min)	18.92 ± 0.33	18.93 ± 0.24	20.69 ± 0.28	20.56 ± 0.29	20.94 ± 0.25
1% plasma (5 min)	18.82 ± 0.37	19.66 ± 0.38	20.94 ± 0.21	20.41 ± 0.24	20.91 ± 0.29
F-test _(p=0.05)	NS	NS	NS	NS	NS

^{NS} Not significant differences

- The fruit condition was unacceptable

การเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม ตลอดการศึกษาพบว่า ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลลำไยในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 9)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic compounds)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของลำไย ในวันที่เริ่มการเก็บรักษา มีค่าอยู่ในช่วง 5.90-7.25 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด โดยผลลำไยในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เวลา 1

นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา พบว่าผลลำไยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 6.50-7.40 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในวันที่ 14 หลังการเก็บรักษา พบว่าผลลำไยในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เวลา 3 และ 5 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด 14.72 และ 13.70 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของผลลำไยในกรรมวิธี

ควบคุมและในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมานาน 1 นาที ซึ่งมีค่า 10.74 และ 12.02 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา พบว่า ผลลำไยในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์นาน 1 และ 3 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอล 12.79 และ 12.07 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักสด ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับผลลำไยในกรรมวิธีควบคุมที่มีสารประกอบฟีนอล 11.76 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักสด แต่สูงกว่าสารประกอบฟีนอลในผลลำไย

ที่ได้รับการแช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เวลา 5 นาที ที่มีค่า 10.19 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักสด และวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ผลลำไยในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เวลา 5 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุดเท่ากับ 19.22 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักสด ซึ่งสูงกว่าผลในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสมาความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นาน 1 และ 3 นาที ที่มีปริมาณ 14.61 และ 14.16 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ (Table 10)

Table 9. Titratable acidity of longan cv. 'Daw' fruits soaked in 1% plasma solution for 1, 3, and 5 min then stored at 5 °C and 80-85% RH

Treatments	Titratable acidity (%)				
	Storage period (days)				
	0	7	14	21	28
Control (water)	0.80±0.01	0.69±0.01	0.88±0.02	0.96±0.02	-
1% plasma (1 min)	0.89±0.02	0.82±0.02	1.07±0.01	1.16±0.02	1.40±0.03
1% plasma (3 min)	0.91±0.03	0.94±0.02	1.14±0.02	1.15±0.02	1.26±0.03
1% plasma (5 min)	0.88±0.02	1.02±0.01	0.80±0.01	1.25±0.01	1.44±0.03
F-test _(p=0.05)	NS	NS	NS	NS	NS

^{NS} Not significant different

- The fruit condition was unacceptable

Table 10. Phenolic compounds of longan cv. 'Daw' fruits soaked in 1% plasma solution for 1, 3, and 5 min then stored at 5 °C and 80-85% RH

Treatments	Phenolic compounds (µg/gFW)				
	Storage period (days)				
	0	7	14	21	28
Control (water)	5.90±0.66 b	6.50±1.13	10.74±1.51 b	11.76±1.41 ab	-
1% plasma (1 min)	7.25±1.03 a	7.40±0.21	12.02±1.10 b	12.79±0.13 a	14.61±2.49 b
1% plasma (3 min)	7.02±0.42 ab	7.01±0.88	14.72±0.43 a	12.07±0.43 a	14.16±1.09 b
1% plasma (5 min)	6.90±0.41 ab	6.70±1.04	13.70±1.59 a	10.19±1.33 b	19.22±0.48 a
F-test _(p=0.05)	*	NS	*	*	*

Note: Means followed by different letters within the same column are significant different at $P<0.05$

^{NS} Not significant different

- The fruit condition was unacceptable

วิจารณ์

ผลลำไยในทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากผลลำไยมีน้ำเป็นองค์ประกอบ 80-90 เปอร์เซ็นต์ และยังคงการหายใจต่อเนื่องหลังการเก็บเกี่ยว จึงทำให้มีการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นตลอดเวลา เมื่อเก็บเกี่ยวผลิตผลออกจากต้น ผลิตผลจะถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำที่เคยได้รับจากราก จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำของผลผลิต (Boonyakiat, 1997) ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลลำไยที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำจากผิวลำไยโดยรอบและซั้วผลซึ่งเป็นบาดแผลที่เป็นช่องเปิดโดยตรง (Siripanich, 1995)

ความแน่นเนื้อของผลลำไยในกรรมวิธีที่แช่สารละลายพลาสติกความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 3 กรรมวิธี และกรรมวิธีควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้พบว่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและลดลงเมื่อครบอายุการเก็บรักษา เนื่องจากช่วงแรกของการทดลองผิวของเนื้อลำไยมีความตึงผิวมากทำให้การกดลงบนผลลำไยทำได้ง่ายเมื่อเวลาผ่านไป ลำไยมีความตึงผิวลดลงทำให้ต้องใช้แรงในการกดมากขึ้น ค่าของความแน่นเนื้อจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักสดของผลลำไย เมื่อผลลำไยมีการหายใจลดลง ความตึงผิวของเนื้อลำไยไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าการแช่ผลลำไยในสารละลายพลาสติกไม่มีผลกระทบต่อผนังของเปลือกลำไย สอดคล้องกับการทดลองของ Mulphumsai (2014) ซึ่งพบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาผลลำไยนาน 20 วัน ค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของลำไยในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และค่าที่วัดได้ค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา สอดคล้องกับการศึกษาของ Pattanapo *et al.* (2016) ซึ่งพบว่าลำไยพันธุ์ต๋องที่แช่สารละลายพลาสติกมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้คงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา โดยภายหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลจะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นใน

กระบวนการหายใจโดยการแช่ผลลำไยในพลาสติกไม่ได้ก่อให้เกิดความเสียหายกับผลลำไย จึงไม่มีผลในการกระตุ้นอัตราการหายใจ ทำให้ระดับน้ำตาลในผลลำไยในทุกกรรมวิธีถูกนำไปใช้ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันเช่นเดียวกันกับรายงานของ Pant (2024) ซึ่งรายงานว่า การใช้พลาสติกไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะเขือเทศ และพบว่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของมะเขือเทศอยู่ในระดับคงที่ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา

สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดพบว่าในวันที่ 28 ของการเก็บรักษากรรมวิธีการแช่ในสารละลายพลาสติกความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เวลา 5 นาทีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุดเท่ากับ 19.22 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีการแช่ในสารละลายพลาสติกความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 และ 3 นาที อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้หมดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลภายในเซลล์มีความเข้มข้นมากขึ้น และการแช่ลำไยในสารละลายพลาสติกไม่มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเปลี่ยนแปลง สารประกอบฟีนอลเกิดจากการสัมผัสกับออกซิเจนจึงถูกออกซิไดซ์ได้เป็นสารควิโนนแล้วจึงรวมกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้นกลายเป็นสารสีน้ำตาล ซึ่งสารที่ใช้ยับยั้งการเกิดสารประกอบฟีนอลได้คือสารกลุ่มซัลไฟต์ (Siripanich and Romphopphak, 2006) จึงมีการนำซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปใช้ในการรมผลลำไยให้มีสีเหลืองทองเพื่อคุณภาพที่ดีทางการค้า ในขณะที่ Mlambo *et al.* (2025) รายงานว่าการใช้พลาสติกในฝรั่งมีผลต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สูงกว่าตัวอย่างชุดควบคุม แต่การศึกษาของลำไยในปัจจุบันไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งคาดว่าอาจเกิดจากการตอบสนองของพลาสติกที่แตกต่างกันตามประเภทผลไม้

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกนอกของผลลำไย การทดลองแช่ผลลำไยในสารละลายพลาสติกความเข้มข้น

1 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 1, 3 และ 5 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ทำให้ค่า L^* , C^* และ h^0 แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมและพบว่าตลอดการเก็บรักษาค่า L^* , C^* และ h^0 ที่วัดได้มีแนวโน้มลดลงจนหมดอายุเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Pattanapo and Pankasemsuk (2019) ที่พบว่าผลลำไยมีเปลือกคล้ำ สีเข้มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น และพบว่ามีผลลดลงซึ่งเกิดจากการสลายตัวของสารสีและมีสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้น (Siripanich, 1995)

อายุการเก็บรักษาประเมินจากคุณภาพของสีเปลือกด้วยการให้คะแนนการเกิดสีน้ำตาล โดยคะแนนมากกว่า 3.0 ขึ้นไป ถือว่าหมดอายุการเก็บรักษาการแพร่พลาสมาสร้าง reactive oxygen species รวมถึงอนุมูลไฮดรอกซิล ($\cdot OH$) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่สำคัญอนุมูลเหล่านี้สามารถยับยั้งการเน่าเสีย การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค และยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของสารสี (Akeber *et al.*, 2024) จากผลการทดลองพบว่าผลลำไยที่แช่พลาสมาทั้ง 3 กรรมวิธีมีคะแนนการเปลี่ยนสีน้ำตาลของเปลือกต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยทั้งสามกรรมวิธีมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.35-2.65 คะแนนเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่มีคะแนน 4.15 คะแนน ซึ่งเกินเกณฑ์ 3.0 (หมดอายุการเก็บรักษา) ผลนี้แสดงให้เห็นว่าการแช่พลาสมาช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพสีเปลือกของผลลำไยในระหว่างการเก็บรักษา

สรุป

พลาสมามีศักยภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาของลำไย โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ 7 วัน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5 องศาเซลเซียส และพลาสมาสามารถพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยหลังการเก็บเกี่ยวได้จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการปรับใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของพลาสมา ความปลอดภัยและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Akeber, S., Y. Ramezen and M. Reza Khani. 2024. Effect of post-harvest cold plasma treatment on physicochemical properties and inactivation of *Penicillium digitatum* in Persian lime fruit. Food Chemistry 437: 137616.
- Asl, P.J., V. Rajulapati, M. Gavahian, I. Kapusta, P. Putnikand and A.M. Khaneghah. 2022. Non-thermal plasma technique for preservation of fresh foods. Food Control 134: 108560.
- Boonyakiat, D. 1997. Postharvest Physiology of Horticulture. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 222 p. (in Thai)
- Chen, Y., H. Lin, Y. Jiang, S. Zhang, Y. Linand Z. Wang. 2014. *Phomopsis longanae* Chi-induced pericarp browning and disease development of harvested longan fruit in association with energy status. Postharvest Biology and Technology 93: 24-28.
- Chu, L.B., X.H. Xing, A.F. Yu, Y.N. Zhou, X.L. Sun and B. Jurcik. 2007. Enhanced ozonation of simulated dyestuff wastewater by microbubbles. Chemosphere 68(10): 1854-1860.
- Helhel, S., L. Oksuz and A.Y. Rad. 2005. Silicone catheter sterilization by microwave plasma; argon and nitrogen discharge. International Journal of Infrared and Millimeter Waves 26(11): 1613-1625.
- Jiang, Y. and Y. Li. 2001. Effect of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. Food Chemistry 73(2): 139-143.
- Jiang, Y., Z. Zhang, D.C. Joyce and S. Ketsa. 2002. Postharvest biology and handling of

- longan fruit (*Dimocarpus longan* Lour.). Postharvest Biology and Technology 26(3): 241-252.
- Liu, X.H. and C.L. Ma. 2001. Production and research of longan in China. Acta Horticulturae 558(8): 73-82.
- McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. Horticultural Science 27(12): 1254-1255.
- Misra, N.N., O.K. Schlüter and P.J. Cullen. 2016. Cold Plasma in Food and Agriculture: Fundamentals and Applications. Academic Press, Amsterdam. 369 p.
- Mlambo, B., F.R. Kutu, Z.A. Belay, R.R. Mphahlele, T. Suinyuy, L. Mokwena and O.J. Caleb. 2025. Low-pressure cold plasma pretreatment: Impact on quality attributes of "Fan Retief" guava and efficacy against *Colletotrichum gloeosporioides*. Journal of Food Science 90(2): e70058.
- Mulphumsai, W. 2014. Effects of precooling on quality and shelf-life of longan cv. Daw. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 74 p. (in Thai)
- Pant, A. 2024. Effect of non-thermal plasma on postharvest quality of tomato. M.S. Thesis. Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, doi: 10.58837/CHU LA.THE.2024.306.
- Pattanapo, W., T. Pankasemsuk, W. Moonpumsai and S. Chitworakool. 2016. Effect of plasma on storage life and quality of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) cv. Daw. Journal of Agricultural Science 47(3): 341-344. (in Thai)
- Pattanapo, W. and T. Pankasemsuk. 2019. The effect of plasma solution on quality change in longan (*Dimocarpus longan* cv. Long) after harvest. pp. 1-6. In: Proceedings of the 18th National Horticultural Congress "Advanced Horticulture Brings Wealth to Thailand". Richmond Stylish Convention Hotel, Nonthaburi. (in Thai)
- Rattanapanon, N. and D. Boonyakiat. 2018. Postharvest Technology of Longans. Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai University, Chiang Mai. 279 p. (in Thai)
- Sanghoo, P., J.Y. Park and W. Choe. 2019. Origin of hydroxyl radicals in a weakly ionized plasma-facing liquid. Chemical Engineering Journal 378: 122-131.
- Siripanich, J. 1995. Physiology and Postharvest Technology of Vegetables and Fruits. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom. 396 p. (in Thai)
- Siripanich, J. and T. Romphophak. 2006. Postharvest Management of Vegetables and Fruits. National Agricultural Extension and Training Center, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom. 94 p. (in Thai)
- Soloshenko, I.A., V.V. Tsiolko, V.A. Khomich, V.Y. Bazhenov, A.V. Rybtsev, A.I. Schedrin and I.L. Mikhno. 2002. Features of sterilization using low-pressure DC-discharge hydrogen-peroxide plasma. IEEE Transactions on Plasma Science 30(4): 1440-1444.
- Thai Trade and Commerce Promotion Office, Guangzhou. 2023. Chat about "longan" – Opportunities and new challenges of Thai longan in China. (Online). Available: <https://thaibizchina.com> (January 28, 2026). (in Thai)

การพัฒนาของผลและคุณภาพผลของราสป์เบอร์รี่สีแดง รหัสพันธุ์ ‘อาร์ 1’
ที่ปลูกในพื้นที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ จังหวัดเชียงใหม่

Development and Quality of ‘R1’ Red Raspberry Fruit Grown at
Pang Da Royal Agricultural Station, Chiang Mai Province

รวีพล ต่ายคง*
Rawipon Taikhong*

แผนกเทคโนโลยีชีวภาพทางด้านพืช สถานีเกษตรหลวงปางดะ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ 50250

Department of Plant Biotechnology, The Royal Agricultural Station Pang Da, Samoeng, Chiang Mai 50250, Thailand

*Corresponding author: Email: pangda.rpf@gmail.com

(Received: 22 December 2025; Revised: 29 May 2026 ; Accepted: 30 May 2026)

Abstract: The study on fruit development of ‘R1’ red raspberry cultivated at Pang Da Royal Agricultural Station, 690 meters above mean sea level (18°51'12.5"N 98°45'40.4"E), aimed to investigate the changes in physical and chemical characteristics of raspberry fruit during fruit development, in order to provide information for cultivation, management, and production in Thailand. The results from eight developmental stages over a 30-day period after blooming (DAB) indicated that raspberry fruit exhibited a sigmoid growth pattern, with increases in both fruit size and weight occurring concurrently. Fruit weight ranged from 0.60 to 4.21 g per fruit, fruit width ranged from 8.87 to 16.78 mm, and fruit length ranged from 9.97 to 19.40 mm. Color development, the fruit initially appeared dark green, gradually becoming lighter, and eventually turning red due to the accumulation of anthocyanins around 26 days after blooming. The total soluble solids (TSS) increased continuously throughout the developmental stages, ranging from 2.89 to 9.43 %. Titratable acidity (TA) showed an increasing and then decreasing trend during fruit ripening, with values ranging from 0.98 to 2.91%. Furthermore, total anthocyanin content and ascorbic acid content increased progressively during fruit development, reaching the highest levels at full ripeness, with maximum values of 114.02 and 15.00 mg per 100 g fresh weight, respectively.

Keywords: Fruit development, raspberry, Royal Project Foundation

บทคัดย่อ: การศึกษาการพัฒนาผลราสป์เบอร์รี่สีแดง รหัสพันธุ์ 'อาร์ 1' ที่ปลูกในสถานีเกษตรหลวงปางตะ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 690 เมตร พิกัด 18°51'12.5" เหนือ 98°45'40.4" ตะวันออก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและเคมีของผลในช่วงการพัฒนาผล เพื่อใช้เป็นข้อมูลการปลูก การจัดการ และการผลิตผลราสป์เบอร์รี่ในไทย ผลการศึกษาการพัฒนา จำนวน 8 ระยะ ในช่วงเวลา 30 วันหลังดอกบาน พบว่าผลราสป์เบอร์รี่มีการเติบโตแบบ sigmoid โดยมีการเพิ่มขึ้นของขนาดผลและน้ำหนักผลในลักษณะเดียวกัน มีช่วงของน้ำหนัก 0.60-4.21 กรัมต่อผล ความกว้างผล 8.87-16.78 มิลลิเมตร และความยาวผล 9.97-19.40 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสีผล พบว่า ในช่วงแรกผลมีสีเขียวเข้ม และเริ่มอ่อนลง จนเปลี่ยนเป็นสีแดงที่เกิดจากสารสีแอนโทไซยานินในวันที่ 26 หลังดอกบาน ทางด้านปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกๆระยะการเติบโต พบที่ 2.89-9.43 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไทเทรตได้มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงการสุกของผลที่ร้อยละ 0.98-2.91 นอกจากนี้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีค่าเพิ่มขึ้นทุกระยะของการเติบโตและมีค่ามากที่สุดในการผลสุกเต็มที่ โดยมีค่าสูงสุดที่ 114.02 และ 15.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

คำสำคัญ: การพัฒนาผล ราสป์เบอร์รี่ มูลนิธิโครงการหลวง

คำนำ

ราสป์เบอร์รี่ (*Rubus idaeus* L.) เป็นไม้ผลที่จัดอยู่ในวงศ์เดียวกับกุหลาบ (Rosaceae) มีถิ่นกำเนิดในแถบยุโรปและประเทศตุรกี ราสป์เบอร์รี่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง โดยพบว่ามีสายพันธุ์มากกว่า 600 ชนิดทั่วโลก (Lebedev *et al.*, 2019) มีความหลากหลายของลักษณะสีผล เช่น สีแดง สีเหลือง สีชมพู สีม่วงดำ เป็นต้น ทั้งนี้ ราสป์เบอร์รี่เป็นไม้ผลที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน วิตามิน แร่ธาตุ และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น (Skrovankova *et al.*, 2015) และเนื่องจากสารเหล่านี้มีบทบาทต่อการส่งเสริมสุขภาพและการป้องกันโรค ประกอบกับในปัจจุบันแนวโน้มการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับคุณค่าทางโภชนาการและประโยชน์ต่อสุขภาพมากขึ้น โดยมีความตระหนักและเหตุผลในการเลือกบริโภคอาหารเพิ่มขึ้น (Warathonpiboon, 2014) ส่งผลให้ผลไม้นิกลุ่มเบอร์รี่ ซึ่งมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้รับความนิยมและมีความต้องการในตลาดเพิ่มมากขึ้น

โดยทั่วไปราสป์เบอร์รี่มีการปลูกและผลิตในต่างประเทศอย่างแพร่หลาย โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 8.6-10.6 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งประเทศรัสเซียเป็นประเทศที่มีการผลิต

ราสป์เบอร์รี่มากที่สุดในโลก โดยมีกำลังการผลิตมากกว่า 210,000 ตันต่อปี อีกทั้งยังเป็นไม้ผลที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงในตลาดโลก (Wróblewska *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตาม จากการสืบค้น พบว่าการปลูกราสป์เบอร์รี่ในประเทศไทยยังคงมีข้อมูลจำกัด ทั้งในด้านปริมาณ คุณภาพ การจัดการแปลงปลูก การจัดการก่อนและหลังเก็บเกี่ยว ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่ยังคงต้องอ้างอิงจากงานวิจัยต่างประเทศเป็นหลัก

ปัจจุบันมีการปลูกราสป์เบอร์รี่ในประเทศไทย เช่น ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และเพชรบูรณ์ เป็นต้น ทั้งนี้ราสป์เบอร์รี่บางกลุ่มเป็นพืชที่ต้องการความหนาวเย็นในการออกดอก โดยมีการรายงานว่าการเก็บรักษาต้นราสป์เบอร์รี่ไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 4-20 สัปดาห์ สามารถช่วยทำลายการพักตัวของต้นได้ Palonen *et al.* (2015) ได้ระบุว่าการพัฒนาของตาดอกต้องได้รับอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส แต่ในปัจจุบันมีการปรับปรุงพันธุ์ คัดเลือกพันธุ์ที่ทำให้ราสป์เบอร์รี่ออกดอกติดผลได้แม้ว่าได้รับความเย็นต่ำ (Pitsioudis *et al.*, 2009) โดยราสป์เบอร์รี่ถูกจัดเป็นพืชอายุมากกว่า 2 ปี และเป็นพืชที่มีเนื้อไม้ ซึ่งลักษณะการให้ดอกและผลมักแตกต่างกันตามแต่ละชนิดของกิ่ง ปกติแล้วราสป์เบอร์รี่มักถูกเรียกชื่อตามชนิดของกิ่งในการให้ผลผลิต ได้แก่ ต้นประเภทที่ให้ผลผลิตในกิ่งปีแรก (primocane หรือ annual fruiting หรือ autumn cropping type) และ

ต้นที่ให้ผลผลิตในกิ่งปีที่สอง (floricane หรือ biennial fruiting หรือ summer cropping type) primocane มักให้ผลผลิตน้อยกว่า floricane โดยความแตกต่างของประเภทกิ่ง คือ กิ่ง primocane ไม่จำเป็นต้องได้รับอุณหภูมิต่ำเพื่อกระตุ้นการออกดอก ซึ่งยังคงสามารถออกดอกได้แม้ว่าอุณหภูมิจะสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิที่ทำให้ต้นออกดอกได้อยู่ในช่วง 9-30 องศาเซลเซียส ในขณะเดียวกันหากได้รับอุณหภูมิต่ำจะช่วยให้ต้นออกดอกเร็วขึ้น ส่วน floricane จำเป็นต้องได้รับอุณหภูมิช่วง 6-7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-8 สัปดาห์ หรือนานกว่า 800-1,500 ชั่วโมง โดยขึ้นอยู่กับพันธุ์ (Heide and Sønsteby, 2011) โดยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมโดยทั่วไปที่ชักนำให้ราสป์เบอร์รีออกดอก คือ อุณหภูมิต่ำในช่วงวันสั้น และถูกยับยั้งในช่วงอุณหภูมิสูงในวันยาว (Graham and Simpson, 2018) ด้านลักษณะสัณฐานวิทยา ราสป์เบอร์รีจัดเป็นผลกลุ่ม (aggregate fruit) มีลักษณะเด่น คือ มีช่องว่างและกลวงกลางผล ซึ่งเป็นส่วนที่หลุดออกจากฐานรองดอก จากรายงานด้านการพัฒนาของผลราสป์เบอร์รี พบว่า การสุกของผลมีช่วงเวลาตั้งแต่ 30-50 วันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และสภาพอากาศ ทั้งนี้ Graham and Jennings (2008) ระบุว่า การพัฒนาผลของราสป์เบอร์รีเกิดขึ้นค่อนข้างเร็วภายใน 30-36 วัน เมื่อผลเข้าสู่ระยะสุกจะมีการเปลี่ยนสี และบริเวณหัวผลหรือฐานรองดอกจะปริแยกออกจากผล ซึ่งราสป์เบอร์รีจัดเป็นไม้ผลแบบ non-climacteric ซึ่งไม่มีการเพิ่มขึ้นของอัตราหายใจและการผลิตเอทิลีนอย่างเด่นชัดในระยะสุก (Perkins-Veazie and Nonnecke, 1992)

การพัฒนาของผลราสป์เบอร์รีจากรายงานของ Jing *et al.* (2020) มีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพผลราสป์เบอร์รีในพื้นที่มณฑลซานซี (Shanxi) ประเทศจีน ในราสป์เบอร์รี 3 สายพันธุ์ จำนวน 5 ระยะของการเติบโต พบว่า ค่าน้ำหนัก ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาล ตลอดจนค่าสารสำคัญในกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นในทุกระยะ ส่วนค่ากรดมีแนวโน้มลดลงในช่วงการสุกของผล ทางด้านของ Kruger *et al.* (2003) ได้รายงานเกี่ยวกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางคุณภาพผล ในพื้นที่รัฐเฮสส์

(Hesse) ประเทศเยอรมนี โดยทำการศึกษาในผลราสป์เบอร์รี 3 ระยะ ได้แก่ระยะใกล้สุก ระยะสุก และระยะสุกเต็มที่ พบว่า ค่าสี $L^* a^* b^*$ ปริมาณกรดทั้งหมด ความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าของน้ำหนักรวม ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาล และร้อยละการใช้ประโยชน์มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเจริญของผล อีกทั้งจาก Dincheva *et al.* (2013) มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของราสป์เบอร์รีสีแดง 4 ระยะการเติบโต ที่เมืองคอสตินบรอด (Kostinbrod) ประเทศบัลแกเรีย พบว่า กรดอะมิโนและปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงในทุกระยะการเติบโต ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น

ดังนั้น การศึกษาค้นคว้ามีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการพัฒนาของผลราสป์เบอร์รีที่ปลูกในพื้นที่สูงของมูลนิธิโครงการหลวง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการส่งเสริมอาชีพให้แก่เกษตรกรในด้านการดูแลและการจัดการผลผลิตได้อย่างถูกต้อง

อุปกรณ์และวิธีการ

ขอบเขตการดำเนินงาน

ดำเนินการศึกษาการเติบโตของผลราสป์เบอร์รีสีแดง รหัสพันธุ์ 'อาร์ 1' ภายในโรงเรือนทดสอบการผลิตราสป์เบอร์รี ขนาด 6 x 30 เมตร ที่มุงด้วยหลังคาพลาสติกใส ความหนา 150 ไมโครเมตร ผสมสารกันรังสียูวีร้อยละ 7 ในพื้นที่ของสถานีเกษตรหลวงปางดะ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 690 เมตร (18°51'12.5" เหนือ 98°45'40.4" ตะวันออก) โดยปลูกในกระถางพลาสติกสีดำขนาด 12 นิ้ว ใช้วัสดุปลูกประกอบด้วย ขุยมะพร้าว กาบมะพร้าว และแกลบดิบ ในอัตราส่วน 1:1:1 ให้สารละลายธาตุอาหารไปพร้อมกับน้ำ วันละ 4 ครั้ง ครั้งละ 3 นาที่ ควบคุมการไหลของน้ำที่ 130 มิลลิลิตรต่อวันที่ต่อกระถาง โดยดัดแปลงสูตรธาตุอาหารจาก Neocleous *et al.* (2005) และ Savini *et al.* (2016) ทำการศึกษาในช่วงเดือนมิถุนายน-สิงหาคม 2568

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยกำหนดให้ความแตกต่างอายุของผลราสป์เบอร์รีเป็นกรรมวิธี ได้แก่ ที่อายุ 6 18 22 25 26 27 29 และ 30 วัน

หลังดอกบาน รวม 8 กรรมวิธี ตามการเปลี่ยนสี ซึ่งอ้างอิงและดัดแปลงการแบ่งกลุ่มตาม Jing *et al.* (2020) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างผลจากต้นราชสีเบอร์รี่ จำนวน 15 ต้น ในระยะเดียวกันในแต่ละช่วงอายุผล จากนั้นนำผลที่อยู่ในระยะเดียวกันมารวมกัน สุ่มออกมาวัดค่า จำนวน 7 ซ้ำ ซ้ำละ 4 ผล โดยต้นที่ใช้ทดสอบเป็นต้นที่มาจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชของห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชปางดะ ซึ่งเป็นต้นที่มีอายุ 6 เดือนหลังแตกกิ่งใหม่ (primocane) ในวันที่เก็บเกี่ยว

การบันทึกข้อมูล

คัดเลือกดอกที่มีขนาดและบานวันเดียวกัน วัดขนาดความกว้าง ความยาวผล สุ่มเก็บตัวอย่างที่ 8 ระยะการเติบโต

ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนทดสอบ ทำการบันทึกข้อมูลโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลสภาพอากาศแบบอัตโนมัติ (data logger, Elitech RC-51H, USA) ตั้งค่าให้เก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นทุก 20 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง โดยวางเครื่องบันทึกข้อมูลสภาพอากาศแบบอัตโนมัติไว้กึ่งกลางโรงเรือนตามแนวยาว ที่ระดับความสูง 1.2 เมตร เหนือพื้นดินในกล่องสีขาว ที่มีรูสำหรับให้อากาศถ่ายเทได้ตลอดเวลา

สุ่มเก็บผล 8 ระยะการเติบโต นำมาวัดค่าทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักผล (กรัมต่อผล) ขนาดความกว้างและความยาวผล (มิลลิเมตร) โดยวัดในบริเวณที่มีขนาดกว้างหรือยาวมากที่สุด โดยใช้ดิจิทัลเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ วัดค่าสีในระบบ $L^* a^* b^*$ (Konica Minolta CR-10, Japan) โดยวัดบริเวณกลางผล

ค่าเคมีผล ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ทำการบดตัวอย่างในโกร่ง จากนั้นนำน้ำคั้นตัวอย่างหยดลงบนเครื่อง Refractometer (Atago PAL-1, Japan) โดยมีน้ำ RO เป็นตัวเปรียบเทียบค่าให้เป็น 0.0 เปอร์เซนต์ ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ทำการบดตัวอย่างในโกร่ง จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่าง นำตัวอย่างใส่ในขวดแก้ว เติมน้ำ RO ที่มีส่วนผสมของ phenolphthalein อยู่ ปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง จากนั้นนำไปไทเทรตโดยใช้เครื่อง digital burette (Titrette® class A, Germany) กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ความเข้มข้น 0.1

นอร์มัล (KemAus™, Australia) จนตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน จากนั้นนำมาคำนวณเพื่อหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกจากสมการ และคำนวณอัตราส่วนของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (เปอร์เซนต์)

$$= \frac{N \text{ of NaOH} \times \text{mL of NaOH} \times \text{mea.wt}}{\text{weight of Sample}} \times 100$$

เมื่อ N of NaOH คือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (นอร์มัล)

mL of NaOH คือ ปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

mea.wt คือ ค่าคงที่ของกรด

weight of sample คือ น้ำหนักสดของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

การหาปริมาณแอนโทไซยานิน ทำการบดตัวอย่างสด ซึ่งตัวอย่างและสกัดในสารละลายเอทานอล 75 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร (Northern Chemicals and Glasswares LTD. Part., Thailand) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่าง เขย่าตัวอย่างในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 มิลลิลิตรด้วยสารละลายเอทานอล 75 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ในขวดปรับปริมาตร และนำไปอ่านค่าการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร (visible spectrophotometer, AE-VIS 721, A&E Lab, UK) โดยอ้างอิงวิธีการของ Promdach *et al.* (2022) คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสมการ

แอนโทไซยานินทั้งหมด
(มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด)

$$= \frac{OD_{535} \times \text{Final V.}}{\text{weight of sample}} \times 100$$

เมื่อ OD535 คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 535 นาโนเมตร

Final V. คือ ปริมาตรสุดท้ายของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

weight of sample คือ น้ำหนักสดของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

การหาปริมาณกรดแอสคอร์บิก ทำการบด ชั่ง และผสมตัวอย่างในกรดออกซาลิก (KemAus™, Australia) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยสารละลาย 2,6-dichlorophenolindophenol (KemAus™, Australia) ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 โดยใช้เครื่อง digital burette (Titrette® class A, Germany) จนเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน ที่มีความคงตัวของสีอย่างน้อย 10 วินาที จากนั้นสร้างสมการมาตรฐาน โดยไทเทรตกับกรดแอสคอร์บิกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ที่ระดับ 0.0 0.2 0.4 0.8 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อใช้คำนวณหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกในแต่ละตัวอย่าง โดยสมการมาตรฐานที่สร้างได้และใช้คำนวณ คือ

$$y = 5.5261x + 0.0441, R^2 = 0.9997$$

y คือ ปริมาณ 2,6-dichlorophenolindophenol ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

X คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด คัดแยกความแตกต่างของข้อมูลด้วยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ 99

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ปัจจัยสภาพอากาศในโรงเรียนที่ทำการศึกษา

ลักษณะของสภาพอากาศในโรงเรียน ในช่วงเดือนมกราคม-สิงหาคม 2568 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ในช่วงเดือนมกราคม เพิ่มสูงขึ้นจนถึงช่วงเดือนเมษายน และลดลงเล็กน้อยจนถึงสิงหาคม โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยตั้งแต่ 18.51-26.06 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย พบว่า มีค่าต่ำสุดในช่วงเดือนมีนาคม และเพิ่มสูงขึ้นในทุกเดือนหลังจากนั้น เนื่องจากเข้าสู่ฤดูฝน จึงทำให้ความชื้นสูงขึ้น การออกดอกของราสป์เบอร์รี่ เริ่มออกดอกครั้งแรกในช่วงเดือนมกราคมซึ่งถือว่าเป็นฤดูแรก จึงทำให้ปริมาณดอกและผลผลิตน้อย และครั้งที่ 2 ช่วงเดือนพฤษภาคม ทั้งนี้เนื่องจากการกระตุ้นให้เกิดการออก

ดอกราสป์เบอร์รี่จำเป็นต้องได้รับความเย็นในช่วงแรก และให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Sønsteby and Heide, 2009a) จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการออกดอก พบว่า ราสป์เบอร์รี่ต้องการความเย็นที่ 15 องศาเซลเซียส ในช่วงวันสั้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวส่งผลต่อปริมาณผลผลิตด้วย โดยรายงานของ Sønsteby *et al.* (2009) พบว่า อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสทำให้มีผลผลิตราสป์เบอร์รี่สูงที่สุด แต่ในขณะเดียวกันยังมีส่วนพันธุ์ที่ยังคงสามารถออกดอกได้แม้อุณหภูมิจะสูงถึง 30 องศาเซลเซียส (Sønsteby and Heide, 2009b) เช่นเดียวกับกับ Graham and Simpson (2018) ที่ระบุว่าสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นให้เกิดการออกดอกของราสป์เบอร์รี่ควรได้รับวันสั้นและอุณหภูมิต่ำ ซึ่งต้นราสป์เบอร์รี่จากงานทดลองนี้ได้รับอุณหภูมิต่ำในช่วงเดือนธันวาคม 2568 - มีนาคม 2569 ตามการบันทึกข้อมูลในโรงเรือน (Figure 1) อย่างไรก็ตาม การออกดอกของราสป์เบอร์รี่ในโรงเรือนทดลอง พบว่า มีการออกดอกเฉพาะส่วนปลายยอดเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นไปตามลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช โดย Heide and Sønsteby (2011) ระบุว่า ต้นราสป์เบอร์รี่ที่ได้รับอุณหภูมิต่ำไม่มากพอ จะออกดอกเฉพาะเพียงส่วนปลายยอด ซึ่งเมื่อแบ่งลักษณะของราสป์เบอร์รี่ 'อาร์ 1' นั้น พบว่า เป็นราสป์เบอร์รี่ในกลุ่ม primocane ที่ไม่จำเป็นต้องได้รับอุณหภูมิต่ำเพื่อกระตุ้นการออกดอก ซึ่งยังคงสามารถออกดอกได้แม้ว่าอุณหภูมิจะสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส

น้ำหนักผล และขนาดผล

น้ำหนักผลของราสป์เบอร์รี่ พบว่า หลังดอกบาน 6 วัน จนถึง 30 วัน มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยมีค่าตั้งแต่ 0.60-4.21 กรัมต่อผล ในด้านขนาดผล พบว่า มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับน้ำหนักผล โดยความกว้างของผลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 6-30 วันหลังดอกบาน มีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 8.87 - 16.78 มิลลิเมตร และเริ่มคงที่ในระยะ 30 วันหลังดอกบาน เนื่องจากผลอยู่ในระยะสุกจัดใกล้เสื่อมสภาพ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ (Suachumsang *et al.*, 2021) ส่งผลให้เซลล์ยืดและหลวม ซึ่งอาจถูกดึงลงในแนวยาวตามแรงโน้มถ่วง อีกทั้งเมื่อผลสุกเกิดการปริแยกกระหว่างผลและขั้วผล และทำให้ความยาวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ความยาวผลมีค่าเฉลี่ย

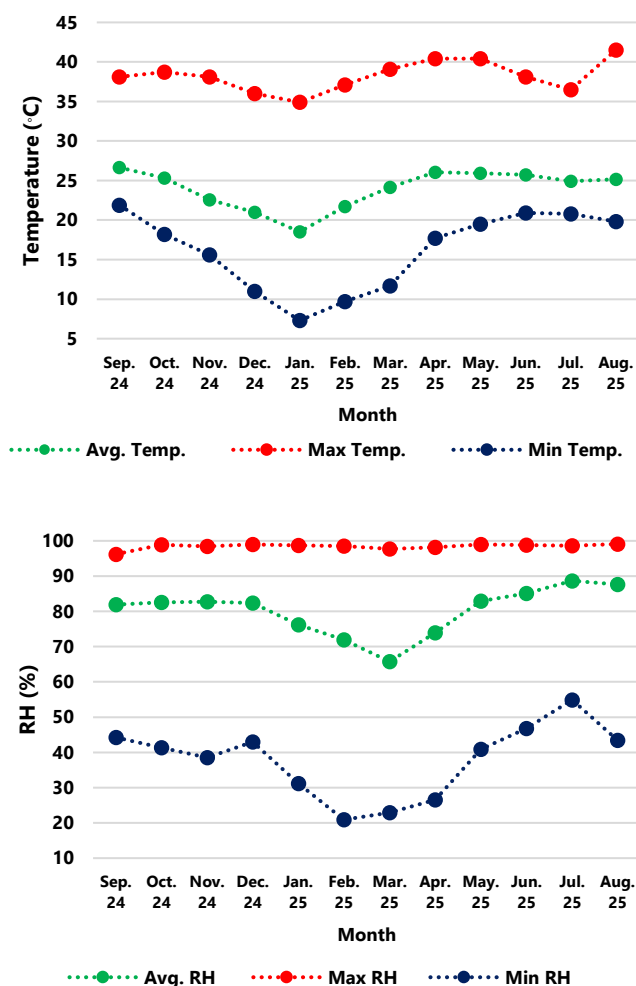


Figure 1. Changes in temperature (left) and relative humidity (right) in green house

9.97 - 19.40 มิลลิเมตร ทั้งนี้เมื่อพิจารณารูปแบบการเจริญเติบโตจากข้อมูล กล่าวได้ว่าการเติบโตของผลราสป์เบอร์รี่เป็นแบบ sigmoid curve (Figure 2) (Perkins-Veazie *et al.*, 1993) โดยแบ่งการเจริญของขนาดผลเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 วันที่ 6-16 หลังดอกบาน ระยะที่ 2 วันที่ 19-26 หลังดอกบาน และ ระยะที่ 3 หลังวันที่ 26 หลังดอกบานเป็นต้นไป ซึ่งการเจริญในลักษณะนี้ ในระยะที่ 1 และ 3 จะมีการเพิ่มขึ้นของขนาดอย่างช้า ๆ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะที่ 2 (Owino *et al.*, 2006) ตลอดจน Graham and Simpson (2018) ระบุว่า ในกระบวนการสุก ผลไม้จะค่อย ๆ สูญเสียความแน่นเนื้อ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการขยายตัวของผล เมื่อผนังเซลล์

มีการขยายตัว ส่งผลให้สูญเสียความแข็งแรงของผิว และการแยกตัวของผลออกจากฐานรองดอก จึงทำให้มีแนวโน้มของขนาดผลที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของเอทิลีนและกรดแอบไซซิก (abscisic acid) ในระหว่างกระบวนการสุกของพืช ซึ่งเร่งกระบวนการเสื่อมสภาพของเซลล์ ทำให้เกิดการปริแตกของข้อผล ในราสป์เบอร์รี่ (Álvarez *et al.*, 2023)

ลักษณะสี

ลักษณะของสีถูกประเมินในระบบสี CIE L* a* b* โดยค่าความสว่าง (L*) พบว่า ในช่วงแรกของการเติบโต (วันที่ 6 หลังดอกบาน) ผลราสป์เบอร์รี่มีค่า L* เท่ากับ 49.83 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 25

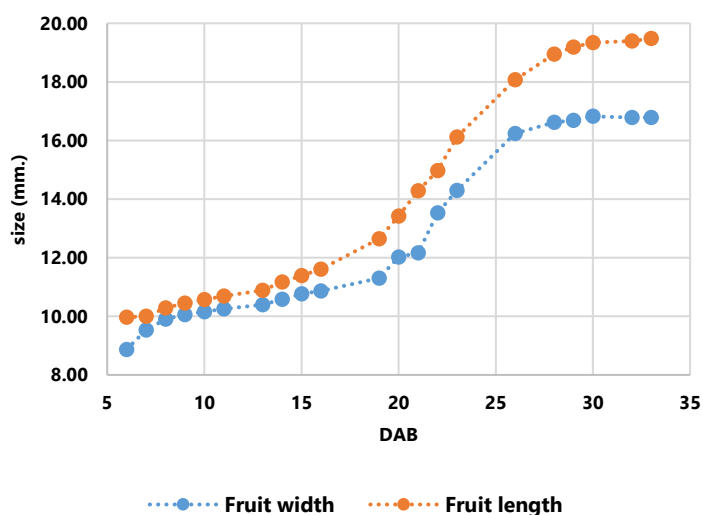


Figure 2. Development of raspberry ‘R1’ on fruits size

หลังดอกบาน และลดลงในช่วงวันที่ 26 เป็นต้นไป โดยค่า L^* อยู่ในช่วง 26.17-58.77 ขณะที่ค่า b^* บ่งบอกถึงแกนสีน้ำเงิน-เหลือง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับค่า L^* โดยเพิ่มขึ้นในช่วงการพัฒนาของผลและลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะผลสุก อยู่ในช่วง 18.27-38.19 ส่วนค่า a^* ซึ่งแสดงแกนสีเขียว-แดง พบว่าในช่วงแรกของการเติบโตมีค่า a^* เป็นลบ เนื่องด้วยผลอ่อนของราสป์เบอร์รียังคงเป็นสีเขียว และเมื่อผลพัฒนาจนสุกผลเปลี่ยนเป็นสีแดง (Figure 3) จึงทำให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และลดลงเล็กน้อยในช่วงวันที่ 30 หลังดอกบาน (Table 1) สอดคล้องกับรายงาน Kruger *et al.* (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลราสป์เบอร์รี พบว่า ช่วงผลสุกจนถึงช่วงสุกจัด ค่าสี a^* ลดลงจาก 29 เป็น 22 อีกทั้งยังทำให้ผลช่วงที่สุกมีความมืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสะสมของสารสีกลุ่มแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้น (Table 2) ตลอดจนทำให้ความอิ่มตัวของสีลดลงอีกด้วย นอกจากนี้ Tosun *et al.* (2008) ระบุถึงค่าสีที่เปลี่ยนไปในช่วงการพัฒนาของผลแบล็คเบอร์รีที่มีสารแอนโทไซยานินเป็นหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี พบว่าระยะที่ผลมีสีเขียว แดง และม่วง มีค่า L^* a^* และ b^* ที่ 17.35-40.76, (-1.68)-30.89 และ 3.62-24.06 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับผลการทดลองนี้ในแต่ละระยะของการพัฒนาผล อีกทั้ง Jing *et al.* (2020) ระบุว่าปริมาณแอนโทไซยานินที่เพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลา

ที่ผลสุกของราสป์เบอร์รีเป็นปัจจัยที่ทำให้สีของผลเข้มขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้พบว่า ค่า a^* ลดลงในวันที่ 30 หลังดอกบาน ในขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น เนื่องจากราสป์เบอร์รีมีสารแอนโทไซยานินกลุ่ม delphinidin เป็นองค์ประกอบภายใน (Takasawa *et al.*, 2010) ซึ่งอาจเป็นเหตุที่ทำให้ค่า a^* ลดลง เนื่องจาก delphinidin เป็นแอนโทไซยานินที่อยู่ในกลุ่มสีม่วงน้ำเงิน (Tkaczyńska *et al.*, 2024)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วนของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ พบว่าในช่วงแรก (6-22 วันหลังดอกบาน) มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ค่อนข้างต่ำ พบที่ 2.89-3.39 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 25 หลังดอกบาน เป็นต้นไป และสูงสุดในวันที่ 30 หลังดอกบาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.20 และ 9.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามรายงานของ Graham and Simpson (2018) ที่ระบุว่าองค์ประกอบปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในผลราสป์เบอร์รีทั่วไปอยู่ที่ 9 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Sjulín and Robbins (1987) ได้ศึกษาข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของสารภายในผล พบว่า แนวโน้มค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่

Table 1. Average of weight, width, length, and color of raspberry fruit during fruit development

Stage	Day After Bloom: DAB	Weight (g/fruit) ^{1/}	Width (mm)	Length (mm)	L*	a*	b*
1	6	0.60±0.11 F	8.87±0.67 D	9.97±0.67 D	49.83±2.79 B	-3.11±0.99 E	33.09±2.76 B
2	18	0.96±0.15 EF	11.31±1.06 C	12.64±1.56 CD	53.66±4.41 AB	-1.71±1.20 E	35.99±1.45 AB
3	22	1.30±0.23 E	13.53±0.99 B	14.96±0.96 BC	57.81±1.86 A	-0.87±1.41 E	38.19±1.77 A
4	25	2.44±0.42 D	14.30±0.96 B	16.12±2.04 AB	58.77±2.27 A	6.10±2.30 D	34.14±2.27 B
5	26	3.03±0.27 C	16.24±0.83 A	18.08±1.61 AB	53.73±3.15 AB	20.64±5.26 C	29.16±1.09 C
6	27	3.46±0.38 BC	16.62±0.85 A	18.95±1.18 A	41.50±5.69 C	33.20±5.64 B	28.17±2.12 C
7	29	3.84±0.55 AB	16.69±0.97 A	19.19±2.03 A	33.44±3.49 D	40.03±1.74 A	24.81±1.64 D
8	30	4.21±0.35 A	16.78±0.48 A	19.40±1.12 A	26.17±2.03 E	33.34±3.66 B	18.29±2.48 E
F-Test		**	**	**	**	**	**
%CV		14.67	14.09	21.40	7.92	22.14	7.21

Value in the table are mean ± SD.

^{1/} Means in each column followed by the same letters indicate no significant difference among treatments.

** Indicates significant difference ($p < 0.01$)

Table 2. Total soluble solid (TSS), total titratable acidity (TA), TSS/TA, anthocyanin, and ascorbic acid of raspberry fruit during fruit development

Stage	Day After Bloom: DAB	TSS (%) ^{1/}	TA (%)	TSS/TA	Anthocyanin (mg/100gFW)	Ascorbic acid (mg/100gFW)
1	6	3.39±0.49 E	0.98±0.13 D	3.58±0.90 BC	-	-
2	18	2.89±0.28 E	1.35±0.11 CD	2.17±0.33 DE	-	-
3	22	3.09±0.14 E	2.45±0.64 AB	1.47±0.81 E	-	-
4	25	7.20±0.60 D	2.91±0.46 A	2.56±0.59 CDE	2.89±3.38 C	3.19±1.79 C
5	26	7.81±0.52 CD	2.47±0.21 AB	3.18±0.27 BCD	9.32±8.95 C	8.06±1.84 B
6	27	8.23±0.54 BC	2.28±0.33 B	3.68±0.55 BC	13.20±5.34 C	14.33±1.07 A
7	29	8.71±0.24 B	2.23±0.46 B	4.05±0.72 B	57.23±22.74 B	14.74±0.61 A
8	30	9.43±0.44 A	1.62±0.41 C	6.17±1.47 A	114.02±28.15 A	15.00±1.90 A
F-Test		**	**	**	**	**
%CV		7.38	20.63	25.42	46.43	14.97

Value in the table are mean ± SD.

^{1/} Means in each column followed by the same letters indicate no significant difference among treatments.

** Indicates significant difference ($p < 0.01$)



Figure 3. Development stages of 'R1' red raspberry fruit

กระบวนการสุกของผล ที่ร้อยละ 9.9-10.3 ตลอดจนทำให้ค่าการลดลงในกระบวนการสุก ในด้านของปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ สามารถแบ่งกลุ่มได้ 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงอายุ 6-25 วันหลังดอกบาน พบว่าปริมาณกรดเพิ่มขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 0.98-2.90 และช่วงอายุ 25-30 วันหลังดอกบานที่มีค่าลดลงจากร้อยละ 2.91 เป็น 1.62 จากการศึกษาของ Dincheva *et al.* (2013) กล่าวว่า การพัฒนาผลราสป์เบอร์รี่ยังมีลักษณะเด่นคือระดับน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและกรดอินทรีย์ลดลง ซึ่งในกระบวนการสุกของพืช กรดอินทรีย์ภายในผลจะเริ่มถูกใช้เพื่อการสร้างพลังงาน การหายใจรวมไปถึงการย่อยสลายของเอนไซม์ด้วย (Hatami *et al.*, 2013) ด้านอัตราส่วนของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ พบว่า การเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับลักษณะของของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Table 2) ซึ่งเป็นไปตามผลการทดลองในราสป์เบอร์รี่ของ Jing *et al.* (2020) ที่แนวโน้มของน้ำหนักผล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ อัตราส่วนของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลงในช่วงท้ายของการพัฒนาผล

ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

ปริมาณแอนโทไซยานินถูกบันทึกในช่วงระยะที่ 4 (25 วันหลังดอกบาน) ซึ่งพบว่า แอนโทไซยานินมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ซึ่งสารแอนโทไซยานินเป็นสารกลุ่มที่มีสีม่วงแดง ซึ่งเพิ่มขึ้นตามการสุกของผล โดยพบที่ 2.89-114.02 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด จากรายงานของ Kobori *et al.* (2021) ระบุถึงการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ของราสป์เบอร์รี่ โดยผลระบุว่า ในช่วงอายุของผล 6-23 วัน มีปริมาณแอนโทไซยานินที่ต่ำ ประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 24-44 วัน ช่วงแรกผลราสป์เบอร์รี่มีสีเขียวเนื่องจากมีคลอโรฟิลล์เป็นเม็ดสีหลักและมีปริมาณแอนโทไซยานินต่ำมาก เมื่อผลเข้าสู่กระบวนการสุก การสังเคราะห์แอนโทไซยานินเริ่มเพิ่มขึ้น การสะสมของสารสูงขึ้น ส่งผลให้สีของผลเข้มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากผลราสป์เบอร์รี่เมื่อสุกมีสีแดงที่เข้มขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นไปด้วย Beekwilder *et al.* (2008) ศึกษาการเกิดสารแคโรทีนอยด์ ซึ่งในช่วงแรกของการพัฒนาผล พบว่ามีปริมาณแคโรทีนที่สูงกว่า อีกทั้งยังคงพบสีเขียวที่เกิดจากสารคลอโรฟิลล์ชนิดบี (ในระยะที่ 1 ผลเขียว) และสารเหล่านี้ถูกกลดและเปลี่ยนเป็นสารอื่นโดยพบสารแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น (ระยะที่ 5 ผลสุก) ทางด้านของ Sjulín and Robbins (1987) ได้ศึกษาช่วงระยะความสุกของผลราสป์เบอร์รี่ พบว่า ปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นทุกระยะ โดยพบที่ 16.2-45.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด เช่นเดียวกับ Forney *et al.* (2012) ระบุว่าสารแอนโทไซยานินที่อยู่ในกลุ่มสารสีม่วงแดง มักถูกสะสมและเพิ่มขึ้นในบลูเบอร์รี่และแครนเบอร์รี่ที่เริ่มมีการพัฒนาของผลจนผลสุก อีกทั้งแนวโน้มจากการศึกษาของ Jing *et al.* (2020) ศึกษาที่อุณหภูมิในช่วง 5-19 องศาเซลเซียส พบว่ามีแนวโน้มค่าปริมาณแอนโทไซยานินรวมที่สูงกว่าการทดลองนี้ ทั้งนี้เป็นเพราะอุณหภูมิส่งผลต่อการสังเคราะห์และการสะสมสารแอนโทไซยานินด้วย

ปริมาณกรดแอสคอร์บิกถูกวิเคราะห์ในช่วงอายุวันเดียวกับแอนโทไซยานิน พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตและมีแนวโน้มคงที่ในช่วงท้ายของการ-

พัฒนาผล ซึ่งมีค่าระหว่าง 3.19-15.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งจากรายงานของ Pantelidis *et al.* (2007) ที่ทำการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในพืชกลุ่มเบอร์รี่ เช่น ราสป์เบอร์รี่ แบล็คเบอร์รี่ เรดเคอร์แรนท์ พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกพบในช่วง 14.10 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด เช่นเดียวกับ Ochoa *et al.* (1999) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของราสป์เบอร์รี่สีแดง พบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เก็บเกี่ยวในช่วงการสุกของผล พบที่ 16.12-28.89 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด เช่นเดียวกับ Cruz-Rus *et al.* (2010) ศึกษาการสังเคราะห์กรดแอสคอร์บิกใน Grape berries พบว่า มีการสังเคราะห์และสะสมกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นในช่วงการพัฒนาของผลและพบมากที่สุดในช่วงที่ผลไม่สุก โดยมีสารตั้งต้นจากน้ำตาลกลูโคสและกาแลคโตส ซึ่งถือเป็นน้ำตาลที่พบมากในผลไม้

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการผลิตราสป์เบอร์รี่ในพื้นที่ ควรมีการศึกษาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษา เพื่อใช้กำหนดค่าดัชนีเก็บเกี่ยวของราสป์เบอร์รี่ที่เหมาะสม ราสป์เบอร์รี่เป็นผลไม้แบบ non-climacteric จึงทำให้ไม่มีการสะสมน้ำตาลต่อหลังจากที่เก็บเกี่ยวแล้ว ดังนั้นอาจจะบววันเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมได้ว่าควรเก็บเกี่ยวผลราสป์เบอร์รี่ในระยะวันที่ 26-27 หลังดอกบาน หรือมีการเปลี่ยนสีของผลที่ร้อยละ 50-60 ความถี่ในการเก็บเกี่ยวทุก 2 วัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wang *et al.* (2009) ที่ระบุว่าการเก็บผลราสป์เบอร์รี่ที่ความสุกร้อยละ 50 เป็นระยะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาผลผลิต อีกทั้งจาก Jing *et al.* (2020) ระบุว่า การเก็บเกี่ยวเพื่อการบริโภคสด ควรเก็บเกี่ยวในระยะผลที่มีสีชมพูแดงจนถึงแดงอ่อนทั่วผล ซึ่งตรงกับระยะการพัฒนาผลในช่วงวันที่ 26-27 ตามการทดลองนี้ ซึ่งในอนาคตควรทำการศึกษาระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลต่ออายุการเก็บรักษาต่อไป

สรุป

การพัฒนาผลราสป์เบอร์รี่เป็นแบบ sigmoid curve ซึ่งอ้างอิงจากลักษณะการเติบโตของขนาดผล โดยมี

การเพิ่มขึ้นของขนาดผลและน้ำหนักผลในลักษณะเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงของสี พบว่า ในช่วงแรกผลมีสีเขียวเข้ม และเริ่มอ่อนลง จนเปลี่ยนเป็นสีแดงในช่วง 26 วัน หลังดอกบาน ทางด้านปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกระยะการเติบโต ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงการสุกของผล นอกจากนี้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีค่าเพิ่มขึ้นทุกระยะ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถานีเกษตรหลวงปางดะ ภายใต้มูลนิธิโครงการหลวงที่เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ตลอดจนสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณโครงการปรับปรุงห้องปฏิบัติการกลางของสถานีเกษตรหลวงปางดะ โดยฝ่ายวิชาการและเผยแพร่ที่ได้จัดสรรวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เพื่อรองรับการศึกษาวิจัยทางการเกษตร

ขอขอบคุณหัวหน้าสถานีเกษตรหลวงปางดะ ว่าที่ร้อยตรีณัฐวิ มาบางครุ ที่ให้คำแนะนำในการปลูก และดูแลตลอดจนนางสาวแพรวพรรณ จงจ่าย นางสาวศิริลักษณ์ มุ่งเพีย นายศรัณพงษ์ ชัยชนะ นางเครือวัลย์ ลังกา ลูกจ้างพนักงานของสถานีฯ ที่ช่วยเก็บบันทึกข้อมูล ติดตามการเจริญเติบโต และเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

เอกสารอ้างอิง

- Álvarez, F., M. Moya, C. Rivera-Mora, P.E. Zúñiga, K. Jara-Cornejo, P. Muñoz, A. Ayala-Raso, S. Munné-Bosch, C.R. Figueroa, N.E. Figueroa, M. Valdenegro, J.E. Alvaro, W. Schwab, B.G. Defilippi and F. Lida. 2023. Absciscic acid synthesis and signaling during the ripening of raspberry (*Rubus idaeus* 'Heritage') fruit. *Plants* 12(9): 1882. doi: 10.3390/plants12091882.

- Beekwilder, J., M. Ingrid, M. Van der, A. Simicb, J. Uitdewilligena, J. Arkela, R.C.H. de Vosa., H. Jonkera, W.A., Verstappenc Francel, J. Harro, D. Bouwmeester, O. Sibbesene, I. Qvistf, J.D. Mikkelsen and D.H. Robert. 2008. Metabolism of carotenoids and apocarotenoids during ripening of raspberry fruit. *Biofactors* 34(1): 57-66.
- Cruz-Rus, E., M.A. Botella, V. Valpuesta and M.C. Gomez-Jimenez. 2010. Analysis of genes involved in L-ascorbic acid biosynthesis during growth and ripening of grape berries. *Journal of Plant Physiology* 167(9): 739-748.
- Dincheva. I, I. Badjakov, V. Kondakova and R. Batchvarova. 2013. Metabolic profiling of red raspberry (*Rubus idaeus*) during fruit development and ripening. *International Journal of Agriculture Science, Research and Technology* 3(2): 81-88.
- Forney, C.F., W. Kalt, M.A. Jordan, M.R. Vinqvist-Tymchuk and S.A.E. Fillmore. 2012. Blueberry and cranberry fruit composition during development. *Journal of Berry Research* 2(3): 169-177.
- Graham, J. and N. Jennings. 2008. Raspberry breeding. pp. 233-248. *In*: P.M. Priyadarshan and S. Mohan Jain (eds.). *Breeding Plantation Tree Crops: Temperate Species*, Springer New York.
- Graham, J. and C. Simpson. 2018. Developmental transitions to fruiting in red raspberry. pp. 199-212. *In*: T. Hytönen, J. Graham and R. Harrison (eds.). *The genomes of Rosaceous Berries and Their Wild Relatives*, Springer International Publishing AG, Cham.
- Hatami, M., S. Kalantari and M. Delshad. 2013. Responses of different maturity stages of tomato fruit to different storage conditions. *Acta Horticulturae* 1012: 857-864.
- Heide, O.M. and A. Sønsteby. 2011. Physiology of flowering and dormancy regulation in annual-and biennial-fruiting red raspberry (*Rubus idaeus* L.)—a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 86(5): 433-442.
- Jing, Y., J. Cui, J. Chen, J. Yao, Y. Hao, Y. Fan and Y. Liu. 2020. Evaluation of physicochemical properties in three raspberries (*Rubus idaeus*) at five ripening stages in northern China. *Scientia Horticulturae* 263: 109146.
- Kobori, R., S. Yakami, T. Kawasaki and A. Saito. 2021. Changes in the polyphenol content of red raspberry fruits during ripening. *Horticulturae* 7(12): 569.
- Kruger, E., E. Schopplein, S. Rasim, G. Cocca and H. Fischer. 2003. Effects of ripening stage and storage time on quality parameters of red raspberry fruit. *European Journal of Horticultural Science* 68(4): 176-182.
- Lebedev, V.G., N.M. Subbotina, O.P. Maluchenko, K.V. Krutovsky and K.A. Shestibratov. 2019. Assessment of genetic diversity in differently colored raspberry cultivars using SSR markers located in flavonoid biosynthesis genes. *Agronomy* 9(9): 518, doi:10.3390/agronomy9090518.

- Neocleous, D., I. Papadopoulos and M. Vasilakakis. 2005. Growing red raspberry in soilless culture under different chilling treatments for early summer production. *Small Fruits Review* 4(4): 37-48.
- Ochoa, M.R., A.G. Kessler, M.B. Vullioud and J.E. Lozano. 1999. Physical and chemical characteristics of raspberry pulp: storage effect on composition and color. *LWT-Food Science and Technology* 32(3): 149-153.
- Owino, W.O., Y. Manabe, F.M. Mathooko, Y. Kubo and A. Inaba. 2006. Regulatory mechanisms of ethylene biosynthesis in response to various stimuli during maturation and ripening in fig fruit (*Ficus carica* L.). *Plant Physiology and Biochemistry* 44(5-6): 335-342.
- Palonen, P., M. Pohjola and S. Karhu. 2015. Cropping potential of raspberry long-cane plants is affected by their growing conditions and duration of cold storage. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 90(6): 738-746.
- Pantelidis, G.E., M. Vasilakakis, G.A. Manganaris and G.R. Diamantidis. 2007. Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries. *Food chemistry* 102(3): 777-783.
- Perkins-Veazie, P. and G. Nonnecke. 1992. Physiological changes during ripening of raspberry fruit. *HortScience* 27(4): 331-333.
- Perkins-Veazie, P., G.R. Nonnecke and R. Gladon. 1993. Development and ripening of primocane-fruiting 'heritage' raspberry. *Acta Horticulturae* 352: 209-212.
- Pitsioudis, F., W. Odeurs and P. Meesters. 2009. Early and late production of raspberries, blackberries and red currants. *Acta Horticulturae* 838: 33-38.
- Promdach, C., A. Rugkong, R. Sae-Yang and L. Lerslerwong. 2022. Study of anthocyanin content of edible flowers under greenhouse condition in Southern Thailand. *Khon Kaen Agriculture Journal* 50(Suppl.1): 589-595. (in Thai)
- Savini, G., G. Graziano, D. Bertoldi, S. Soppelsa and C. Andreotti. 2016. Dynamics of nutrient uptake in raspberry plants. *Acta Horticulturae* 1117: 335-340.
- Sjulin, T.M. and J. Robbins. 1987. Effects of maturity, harvest date, and storage time on postharvest quality of red raspberry fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 112(3): 481-487.
- Skrovankova, S., D. Sumczynski, J. Mlcek, T. Jurikova and J. Sochor. 2015. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *International Journal of Molecular Sciences* 16(10): 24673-24706.
- Sønsteby, A. and O.M. Heide. 2009a. Effects of photoperiod and temperature on growth and flowering in the annual (primocane) fruiting raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivar 'Polka'. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 84(4): 439-446.
- Sønsteby, A. and O.M. Heide. 2009b. Temperature limitations for flowering in strawberry and raspberry. *Acta Horticulturae* 838: 93-97.
- Sønsteby, A., U. Myrheim, N. Heiberg and O.M. Heide. 2009. Production of high yielding

- red raspberry long canes in a Northern climate. *Scientia Horticulturae* 121(3): 289-297.
- Suachumsang, N., S. Tubtim, C. Boonyapisanand and N. Amnuaysin. 2021. Effect of postharvest hexanal treatment on physiological changes and quality of banana fruits during ripening. *Thai Science and Technology Journal* 29(6): 999-1009. (in Thai)
- Takasawa, R., K. Saeki, A. Tao, A. Yoshimori, H. Uchiro, M. Fujiwara and S.I. Tanuma. 2010. Delphinidin, a dietary anthocyanidin in berry fruits, inhibits human glyoxalase I. *Bioorganic & medicinal chemistry* 18(19): 7029-7033.
- Tkaczyńska, A., E. Sendra, N. Jiménez-Redondo and E. Rytel. 2024. Studying the stability of anthocyanin pigments isolated from juices of colored-fleshed potatoes. *International Journal of Molecular Sciences* 25(20): 11116.
- Tosun, I., N.S. Ustun and B. Tekguler. 2008. Physical and chemical changes during ripening of blackberry fruits. *Scientia Agricola* 65(1): 87-90.
- Wang, S.Y., C.T. Chen and C.Y. Wang. 2009. The influence of light and maturity on fruit quality and flavonoid content of red raspberries. *Food chemistry* 112(3): 676-684.
- Warathonpiboon, P. 2014. Consumption behavior: consumerism food and health-conscious food. *Panyapiwat Journal* 5(2): 255-264. (in Thai)
- Wróblewska, W., J. Pawlak and D. Paszko. 2019. Economic aspects in the raspberry production on the example of farms from Poland, Serbia and Ukraine. *Journal of Horticultural Research* 27(2): 71-80.
-

Prototype Development of Sorting System for Coffee Cherries Using Computer Vision

การพัฒนาต้นแบบระบบคัดแยกผลเชอร์รี่กาแฟด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์

Rattapol Pornprasit, Phongprapan Kantakaew, Kitiyaporn Takam and Wassanai Wattanutchariya*

รัฐพล พรประสิทธิ์ พงษ์ประพันธ์ กันทะแก้ว กฤติยาภรณ์ ตาคำ และ วัสสนัย วรธนัจฉริยา*

Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

**Corresponding author: Email: wassanai@eng.cmu.ac.th*

(Received: 10 February 2025; Revised: 28 May 2026 ; Accepted: 30 May 2026)

บทคัดย่อ: ตลาดกาแฟของประเทศไทยมีการเติบโตอย่างโดดเด่น โดยมีอัตราการเติบโตต่อเนื่องที่ร้อยละ 7.3 ระหว่างปี พ.ศ. 2560 ถึง 2566 มีมูลค่าตลาดถึง 34 ล้านบาท ด้วยการเติบโตดังกล่าว การควบคุมคุณภาพกาแฟให้สม่ำเสมอจึงมีความสำคัญมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนแรกของการคัดแยกผลเชอร์รี่กาแฟ คุณภาพของผลเชอร์รี่กาแฟส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของเมล็ดกาแฟ ทำให้การคัดแยกที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการผลิตกาแฟคุณภาพพรีเมียม งานวิจัยนี้ศึกษาแนวทางนวัตกรรมในการจำแนกผลเชอร์รี่กาแฟโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพได้พัฒนาและเปรียบเทียบแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องสี่รูปแบบ ได้แก่ Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN), Artificial Neural Network (ANN), และ Convolutional Neural Network (CNN) แบบจำลองแต่ละตัวได้รับการประเมินด้านความแม่นยำในการจำแนกและความเร็วในการประมวลผล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง CNN มีประสิทธิภาพในการจำแนกสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความแม่นยำถึงร้อยละ 94 และมีเวลาประมวลผลที่ 0.532 วินาทีต่อภาพ นอกจากนี้ เมื่อนำแบบจำลอง CNN มาประยุกต์ใช้ในระบบคัดแยกต้นแบบพบว่าให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจทั้งในด้านความแม่นยำและกำลังการผลิต โดยมีความแม่นยำในการคัดแยกภาพรวมที่ร้อยละ 81.73 และมีกำลังการผลิตประมาณ 120 ผลต่อนาที (ประมาณ 2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง) ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการตรวจสอบด้วยภาพแบบอัตโนมัติโดยใช้ CNN สามารถพัฒนาประสิทธิภาพและความสม่ำเสมอในการคัดแยกผลเชอร์รี่กาแฟ ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อยกระดับมาตรฐานการผลิตของวิสาหกิจชุมชนและเกษตรกรรายย่อยได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การคัดแยกผลเชอร์รี่กาแฟ การประมวลผลภาพ โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน การตรวจจับวัตถุ ระบบคัดแยกอัตโนมัติ

Abstract: Thailand's coffee market has experienced remarkable growth, with a consistent annual increase of 7.3% from 2017 to 2023, reaching a market valuation of 34 million Baht. Given this growth, assuring consistent coffee quality has become increasingly critical, particularly at the initial stage of coffee cherry selection. The quality of coffee cherries directly impacts the final coffee bean quality, making efficient and accurate sorting essential for premium coffee production. This research explores an innovative approach to coffee cherry classification using image processing techniques. We developed and compared four machine learning models: Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN), Artificial Neural Network (ANN), and Convolutional Neural Network (CNN). Each model was evaluated based on classification accuracy and processing speed. The experimental results revealed that the CNN model significantly outperformed other approaches, achieving an overall operational accuracy of 81.73% and a throughput of approximately 120 cherries per minute (about 2 kg per hour). These findings suggest that automated visual inspection using CNN-based methods can substantially improve the efficiency and consistency of coffee cherry sorting, demonstrating strong potential for practical implementation in small- to medium-sized specialty coffee community enterprises.

Keywords: coffee cherry sorting, image processing, convolutional neural network, object detection, automated sorting system

Introduction

The global coffee industry represents a significant agricultural sector, with Thailand emerging as a key producer in the Southeast Asian market. From 2017 to 2023, the Thai coffee market demonstrated a consistent annual growth rate of 7.3% (Euromonitor, 2023). However, ensuring consistent coffee bean quality remains an important challenge. The quality control process must begin at the initial stages of harvesting and sorting, as the physical condition and ripeness of coffee cherries directly influence the final sensory attributes of the coffee (Haile and Kang, 2019; Iriondo-DeHond *et al.*, 2020; Velásquez *et al.*, 2021). Traditionally, cherry sorting has relied heavily on manual labor, which is not only labor-intensive but also susceptible to human error and inconsistency. This careful attention to sorting and processing is essential, as it directly affects

the flavor and aroma coffee enthusiasts anticipate in their brew (Santos *et al.*, 2020; Fracarolli *et al.*, 2021; Klingel *et al.*, 2020; Soedibyo *et al.*, 2010; Stanley-Foreman, 2023).

Coffee production in northern Thailand is shaped by ecological suitability and biological complexity. Arabica coffee thrives in the highland regions of Chiang Mai, Chiang Rai, and Nan due to cool temperatures and favorable elevations, yet the crop is far from genetically uniform — recent studies reveal substantial variation among accessions in the Royal Project system, reflecting multiple genetic backgrounds rather than a single cultivar population (Anonymous, 2024; Techanan *et al.*, 2023; ULKA, 2025). This diversity directly influences yield, cup quality, disease response, and climate adaptation, making it especially significant given the pressures growers face from pests, leaf rust, aging trees, and shifting weather conditions. As a result, agronomic performance in

northern Thailand depends not just on variety name but on genotype, site conditions, and management practices combined (Chumprasert *et al.*, 2020; Techanan *et al.*, 2023).

Agricultural technology for coffee production has advanced, but many solutions remain only partially ready for real farm use. Mechanized harvesting, fruit-processing systems, solar drying, and digital farming tools have been developed to boost efficiency and reduce labor, yet widespread adoption is constrained by high costs, maintenance demands, and the need for reliable performance under variable field conditions. The core challenge, therefore, is to identify and develop post-harvest technologies that are not only technically promising but economically and operationally viable for local farmers, which is essential for improving the long-term sustainability of the region's coffee sector.

To automate the sorting and grading process, previous studies have increasingly applied computer vision and machine learning techniques to enhance efficiency and ensure consistent coffee quality (Anita and Albarda, 2020; Santos *et al.*, 2020; Fracarolli *et al.*, 2021; Stanley-Foreman, 2023). In the coffee industry, several research efforts have explored the use of integrated image processing and back-propagation Artificial Neural Network (ANN) to evaluate and classify coffee beans (Balbin *et al.*, 2020; Soedibyo *et al.*, 2010). Specifically, for categorizing coffee cherries into different quality grades, researchers have successfully deployed the Gray-Level Co-occurrence Matrix (GLCM) algorithm for feature extraction alongside classification algorithms such as K-Nearest Neighbors (KNN) and Artificial Neural Network (ANN) (Anita and Albarda, 2020; Peña *et al.*, 2014;

Pei *et al.*, 2019; Velásquez *et al.*, 2019). However, despite these advancements, existing models predominantly focus on evaluating already processed green coffee beans or utilizing stable, single images in controlled laboratory environments. There remains a significant research gap concerning the development of a practical sorting system tailored to the specific traits of Thai Arabica coffee (*Coffea arabica*) cultivated in the northern highlands, such as Chiang Mai and Doi Chang. These local varieties, including Catimor, Red and Yellow Caturra, and Bourbon, present highly variable skin color spectrums (Techanan *et al.*, 2023; ULKA, 2025). Furthermore, local harvesting practices often result in uneven branch ripening, yielding a complex mixture of unripe green, semi-ripe, fully ripe red, and defective cherries, particularly those damaged by the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). Currently, no existing literature demonstrates a physical prototype that integrates edge-computing AI via low-cost single-board computers, such as the Raspberry Pi 5, to perform real-time visual inspection and electromechanical segregation under the actual, dynamic conditions of small-to-medium Thai specialty coffee farms.

Therefore, this study aims to develop a prototype of a sorting line system for Thai coffee cherries using computer vision and edge computing algorithms. Specifically, this research investigates the effectiveness of a Convolutional Neural Network (CNN) compared to traditional machine learning models (Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN) and Artificial Neural Network (ANN)) in accurately classifying coffee cherries based on their visual characteristics. The goal is to integrate the most effective classification model into a real-time

physical prototype controlled by a single-board computer to automate the sorting process, thereby enhancing the quality and consistency of Thai specialty coffee production from the initial post-harvest stage.

Materials and Methods

The research and development of the coffee cherry sorting prototype using computer vision are organized into a sequential pipeline of five main stages: dataset preparation, image representation and feature extraction, model training, model deployment, and prototype sorting operation.

2.1 Dataset Preparation and Class Labeling: To ensure evaluation accuracy and model transparency, the dataset acquisition was separated into two distinct sets with different objectives:

Dataset A (Static Model Comparison Dataset): This dataset comprises 400 static images of coffee cherries captured under uniform lighting and controlled laboratory conditions. It was utilized to test and compare the preliminary

image classification performance among the SVM, KNN, ANN, and CNN models. The input images were resized into three dimensions: 64 × 64, 128 × 128, and 256 × 256 pixels.

Dataset A (Static Model Comparison Dataset): This dataset comprises 400 static images of coffee cherries captured under uniform lighting and controlled laboratory conditions. It was utilized to test and compare the preliminary image classification performance among the SVM, KNN, ANN, and CNN models. The input images were resized into three dimensions: 64 × 64, 128 × 128, and 256 × 256 pixels.

Class Labels: The class definitions were established consistently throughout the study based on physical characteristics and quality requirements (Figure 1)

Class 0: Substandard Cherries (Unripe & Defective). This class represents substandard coffee cherries that must be rejected. It includes unripe cherries with green or green-yellow skin, as well as ripe cherries with prominent physical defects, such as being moldy, withered, black, or damaged by pests (e.g., the coffee berry borer).

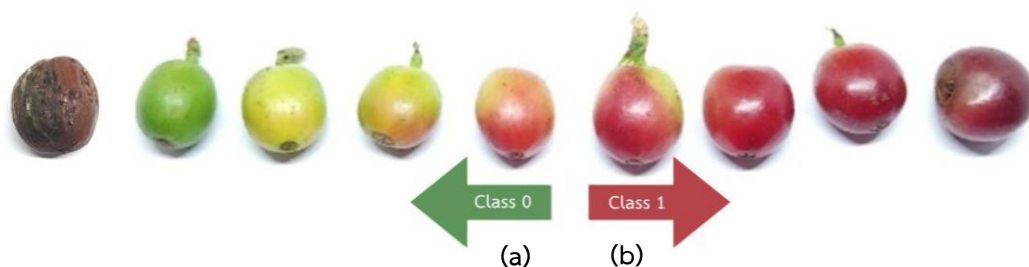


Figure 1. Visual classification standards for the automated sorting dataset: (a) Class 0 representing substandard green-yellow/unripe and insect-damaged cherries, and (b) Class 1 representing premium ripe/red cherries.

2.2 Image Representations and

Feature: Descriptors To accurately evaluate the computational complexity, the preprocessed images were transformed and extracted using distinct computer vision techniques. These techniques are strictly categorized according to their theoretical frameworks:

Color Spaces and Intensity Representations:

- **HSV (Hue, Saturation, Value):** Applied as a Color Space, which effectively separates color information from lighting intensity, helping to reduce the influence of shadows on the spherical surface of coffee cherries.
- **Grayscale:** Applied as a Single-channel Intensity Image Representation.
- **HOG (Histogram of Oriented Gradients):** Applied as a Gradient-based Shape Feature Descriptor that extracts structural and edge information based on light intensity gradients.
- **LBP (Local Binary Patterns):** Applied as a Texture Feature Descriptor used to describe the intricate surface patterns and texture of the objects.

2.3 CNN Architecture and Model

Training: The CNN architecture was implemented using the TensorFlow framework. The structure processes input images through sequential Conv2D layers for spatial feature extraction, followed by MaxPooling layers to reduce the dimensionality of the feature maps. To prevent the model from overfitting during the training phase, a Dropout layer with a rate of 0.3 was incorporated before passing the data to the final dense layers. The model training parameters were optimized using the Adam optimizer along with a Binary cross-entropy loss function. (Figure 2)

2.4 Model Deployment via TensorFlow

Lite To deploy the selected CNN object detection model for practical edge computing, the model

underwent a quantization process. This conversion process transformed the trained CNN model into a lightweight TensorFlow Lite (.tflite) file format. This critical step significantly accelerated the inference speed and reduced computational weight, enabling real-time operation on a small single-board computer like the Raspberry Pi 5.

2.5 Prototype Sorting Operation and

Hardware Control Logic: The physical prototype sorting machine is composed of three main sections: a cleaning section (to brush off dust and debris), a specific gravity separation section (using water density to separate light, withered cherries and twigs), and the optical sorting section. (Figure 3)

The hardware control logic is governed by a synchronized multi-threaded architecture on the Raspberry Pi 5 to ensure continuous, real-time operation without processing bottlenecks:

Thread 1 (Object Detection Thread): This thread continuously retrieves live images from the PiCamera, detects, coordinates, and runs inference through the TFLite model. If a coffee cherry is detected with a confidence score greater than or equal to 0.7 (Confidence ≥ 0.7), the system classifies it and writes the result (Class 0 or Class 1) into a shared data queue.

Thread 2 (Sorting Control Thread): Operating in parallel, this thread monitors an infrared (IR) sensor interfaced via an Arduino microcontroller. When the IR sensor detects a cherry passing through the sorting zone, it triggers the Raspberry Pi to pull the latest prediction value from the queue. If the value is Class 0, it sends a command to actuate the mechanical rejection system (servo motor) to sweep the substandard cherry off the conveyor. If the value is Class 1, the mechanism remains idle, allowing the premium cherry to pass through.

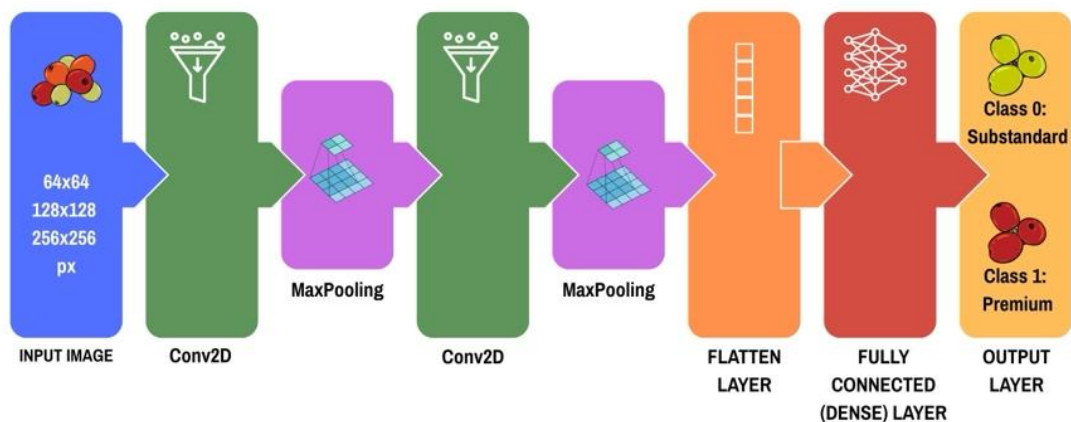


Figure 2. Architecture of the CNN model utilized for coffee cherry classification, illustrating the input dimensions, feature extraction layers, dropout regularization, and standardized output classes.

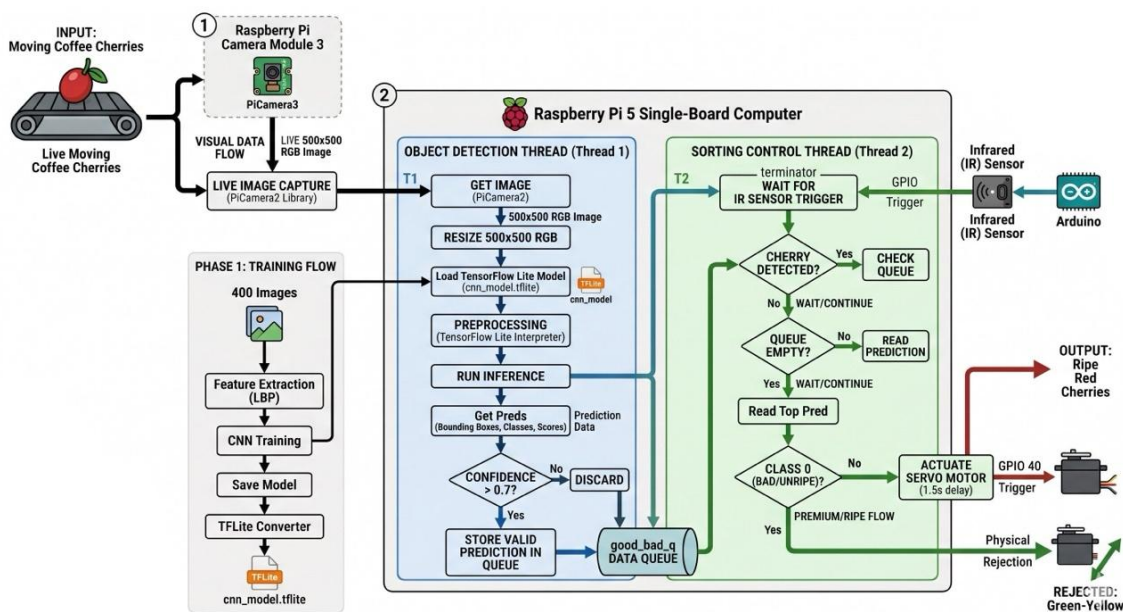


Figure 3. System architecture and data flow of the automated coffee cherry sorting prototype. The flowchart illustrates the multi-threading integration of the TensorFlow Lite object detection model (Thread 1) and the electro-mechanical sorting logic (Thread 2) controlled by the Raspberry Pi 5.

The performance of the sorting line system was evaluated based on the mean average precision (mAP) of the object detector and the overall system's processing speed. All statistical analyses were determined at a 95% confidence level ($p < 0.05$)

Results

The findings of this study are presented in two distinct stages. First, the preliminary classification accuracy and processing speed of four machine learning models (SVM, KNN, ANN, and CNN) are compared across multiple image resolutions and feature representations (Section 3.1). Second, the real-world operational performance of the prototype coffee cherry sorting line, which utilizes the best-performing model from the first stage, is evaluated (Section 3.2).

3.1 Classification Model Comparison (Static Images - Dataset A)

To determine the most effective algorithm for classifying coffee cherry images, the four machine learning models were trained and tested on the preliminary dataset (Dataset A) of 400 static images. Images were evaluated at three dimensions (64×64, 128×128, and 256×256 pixels) using various color spaces and feature descriptors (Grayscale, RGB, HSV, HOG, and LBP). Model performance was evaluated based on peak classification accuracy and average inference runtime per image.

The comprehensive performance metrics for the tested configurations of each model are detailed in Table 1. The empirical data reveal a distinct accuracy-speed trade-off. The Convolutional Neural Network (CNN) consistently achieved the highest classification accuracy.

Specifically, at a 64×64-pixel resolution in the RGB color space, the CNN achieved a preliminary peak accuracy of 94.00%. This substantially outperformed models relying on single-feature extractions, such as SVM (84.00%), KNN (78.10%), and ANN (76.25%).

However, this superior accuracy requires a higher computational cost. The CNN model required an average of 0.532 seconds per image, whereas simpler algorithms like KNN and SVM processed images in just 0.015 and 0.040 seconds, respectively. Because the prototype sorting line strictly prioritizes accuracy to ensure premium-grade coffee quality, and since a processing time of ~0.5 seconds is still viable for small-scale operations, the CNN architecture was selected for deployment on the physical prototype.

3.2 Prototype Sorting Line Performance (Dynamic Operation - Dataset B)

Building on the preliminary findings, the optimal CNN model was quantized into a TensorFlow Lite format and deployed onto the Raspberry Pi 5. The full physical prototype system includes a cleaning unit, a specific gravity separation unit, and the optical object detection unit. For this operational stage, the model was tasked with real-time object detection on a moving conveyor belt.

System performance was evaluated using mean Average Precision (mAP) at an IoU threshold range of 0.5 to 0.95, which effectively measures the model's ability to accurately place bounding boxes around moving cherries. As shown in Table 2, the CNN-based model achieved an mAP of 84.53% for Class 1 (Premium Cherries) and 78.92% for Class 0 (Substandard Cherries). The higher mAP for Class 1 is attributed to the highly distinctive red coloration, which provides

Table 1. Performance Comparison of Machine Learning Models for Preliminary Coffee Cherry Classification (Dataset A).

Model Architecture	Image Dimension (pixels)	Image Representation / Feature Descriptor	Maximum Accuracy (%)	Average Inference Runtime (s/image)
CNN	64 × 64	RGB (Color Space)	94.00 ^a	0.532 ^c
CNN	64 × 64	Grayscale (Intensity Representation)	85.50 ^a	0.412 ^c
CNN	128 × 128	RGB/HSV (Color Space)	88.00 ^a	1.800 ^c
CNN	256 × 256	RGB/HSV (Color Space)	87.50 ^a	8.000 ^c
ANN	64 × 64	RGB (Color Space)	76.25 ^c	0.230 ^a
ANN	64 × 64	Grayscale (Intensity Representation)	82.10 ^b	0.210 ^a
ANN	128 × 128	RGB (Color Space)	81.50 ^b	0.085 ^a
SVM	64 × 64	RGB (Color Space)	84.00 ^b	0.040 ^a
SVM	64 × 64	Grayscale (Intensity Representation)	78.10 ^c	0.015 ^a
SVM	64 × 64	HOG (Gradient-based Shape)	75.60 ^c	0.052 ^a
SVM	128 × 128	HOG (Gradient-based Shape)	73.40 ^c	0.022 ^a
KNN	64 × 64	Grayscale (Intensity Representation)	78.10 ^c	0.015 ^a
KNN	64 × 64	RGB (Color Space)	74.00 ^c	0.510 ^b
KNN	64 × 64	LBP (Texture Descriptor)	71.10 ^c	0.185 ^b

Note: Different superscript letters (a,b,c) within the same column indicate statistically significant differences between the machine learning models at the 95% confidence level ($p < 0.05$) according to One-Way ANOVA and post-hoc comparison tests. For Maximum Accuracy, higher values are superior (group 'a' is the highest). For Average Inference Runtime, lower values are superior (group 'a' is the fastest).

Table 2. Mean Average Precision (mAP) Values for Real-Time Object Detection on the Prototype Sorting Line (Dataset B)

Target Class Name	Average mAP @0.5–0.95 (%)	Qualitative Performance Evaluation
Class 0: Substandard Cherries (Unripe & Defective)	78.92%	Good
Class 1: Premium Cherries (Fully Ripe)	84.53%	Very Good

a stronger signal compared to the green-yellow hues of Class 0 that occasionally blend with the conveyor belt background.

At the system level, combining the object detection software with the electro-mechanical rejection hardware, the integrated prototype achieved an overall practical sorting accuracy of 81.73% during continuous operation. The system successfully processed approximately 120 cherries per minute, equating to a throughput capacity of roughly 2 kg per hour. While modest compared to large industrial machines, this capacity aligns well with the processing volumes of small-to medium-sized specialty coffee community enterprises in Thailand.

Discussion

This study set out to develop and evaluate a working prototype of an automated sorting line for Thai Arabica coffee cherries, and the results show that the goal was largely achieved. In the first stage, a comparative analysis of classification models revealed that the CNN stood out clearly, reaching 94.00% accuracy on 64×64 pixel RGB images, a result that left traditional approaches like SVM, KNN, and ANN well behind. While the CNN did take slightly longer per inference, its ability to learn deep visual features made it the right choice for a task that demands the precision specialty coffee grading requires.

Building on that foundation, the second stage brought the quantized CNN into a physical sorting line, complete with cleaning and specific-gravity separation units. Running continuously on a moving conveyor belt, the full system sorted cherries at around 120 per minute (roughly 2 kg

per hour) with a practical accuracy of 81.73%, reliably separating premium, fully ripe cherries (Class 1) from unripe and defective ones (Class 0). These numbers suggest the prototype is a genuinely viable tool for small-to-medium specialty coffee enterprises in Thailand.

That said, the system is not without its shortcomings. The current single-camera, top-down scanning setup leaves a real blind spot: defects on the underside of a cherry can go undetected, and the system remains sensitive to changes in ambient lighting. These are not minor issues, and they are worth addressing directly before any broader deployment is considered.

Future work should therefore focus on designing a light-controlled enclosure to stabilize imaging conditions and integrating a 360-degree dual-camera setup to eliminate visual gaps. Thorough field testing in real farm environments will also be essential to understand how the system performs in practice before taking any steps toward full commercialization.

Acknowledgements

This work was financially supported by the Faculty of Engineering, Chiang Mai University.

Reference

- Anita, S. and I. Albarda. 2020. Classification cherry's coffee using k-nearest neighbor (KNN) and artificial neural network (ANN). pp. 117-122. *In: 2020 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*, Bandung.
- Anonymous. 2024. Coffee++ Thailand project piloted to strengthen a network

- regenerative agriculture, economic and environmental resilience. (Online). Available: <https://asean-agrifood.org/coffee-thailand-project-piloted-to-strengthen-a-network-regenerative-agriculture-economic-and-environmental-resilience/> (May 26, 2026).
- Balbin, J.R., C.D. Del Valle, V.J.L.G. Lopez and R.F. Quiambao. 2020. Grading and profiling of coffee beans for international standards using integrated image processing algorithms and back-propagation neural network. pp. 1–6. *In: IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*, Manila.
- Chumprasert, W., N. Kooprasert, A. Jieumdenngam and A. Srirat. 2020. Quality coffee a solution for Thai farmers. (Online). Available: <https://www.bot.or.th/th/research-and-publications/articles-and-publications/articles/regional-articles/reg-article-2020jun02.html> (May 26, 2026).
- Euromonitor. 2023. Cafés/Bars in Thailand. (Online). Available: <https://www.euromonitor.com/cafes-bars-in-thailand/report>. (May 26, 2026).
- Fracarolli, J.A., F.F.A. Pavarin, W. Castro and J. Blasco. 2021. Computer vision applied to food and agricultural products. *Revista Ciência Agronômica* 51(5): doi: 10.5935/1806-6690.20200087.
- Haile, M. and W.H. Kang. 2019. The harvest and post-harvest management practices' impact on coffee quality. pp. 59-76. *In: D.T. Castanheira (ed.). Coffee- Production and Research*. IntechOpen, London.
- Iriondo-DeHond A., M. Iriondo-DeHond and M.D. del Castillo. 2020. Applications of compounds from coffee processing by-products. *Biomolecules* 10(9): 1219, doi: 10.3390/biom10091219.
- Klingel, T., J.I. Kremer, V.Gottstein, T.R. De Rezende, S. Schwarz, and D.W. Lachenmeier. 2020. A review of coffee by-products including leaf, flower, cherry, husk, silver skin, and spent grounds as novel foods within the European Union, *Foods* 9(5): 665, doi: 10.3390/foods9050665.
- Pei, Y., M. Lian, Y.Jiang, J. Ye, X. Han and Y. Gu. 2019. Real-time cherry color grading based on machine vision. pp.1-6. *In: IEEE International Conference on Signal, Information and Data Processing (ICSIDP)*, Chongqing.
- Peña, J.M., P.A. Gutiérrez, C. Hervás-Martínez, J. Six, R.E. Plant and F. López-Granados. 2014. Object-based image classification of summer crops with machine learning methods. *Remote Sensing* 6(6): 5019-5041.
- Santos, F.F.L., J.T.F. Rosas, R.N. Martins, G.D.M. Araújo, L.D.A. Viana and J.P. Gonçalves. 2020. Quality assessment of coffee beans through computer vision and machine learning algorithms. *Coffee Science* 15: 1-9, doi: 10.25186/v15i.1752.
- Soedibyo, D.W., U. Ahmad and I.D.M. Subrata. 2010. Design of intelligent sorting system based on image processing for green coffee. *Jurnal Keteknikaan Pertanian* 24(3): 67-74.

- Stanley-Foreman, Z. 2023. Why cherry sorting is essential to improving coffee quality. (Online). Available: <https://perfectdailygrind.com/2023/11/coffee-cherry-sorting/> (December 20, 2024).
- Techanan, A., K. Rumjuankiat, K. Boonmee, C. Chumpun, I. Panchan, H. Uairong and P. Angkasith. 2023. Genetic diversity of arabica coffee varieties from the Royal Project Foundation using genotyping-by-sequencing (GBS). *International Journal of Agricultural Technology* 19(1): 257-276.
- ULKA. 2025. Popular coffee varieties in Thailand: Arabica, Robusta, and major growing regions. (Online). Available: <https://ulka.co.th/popular-thai-coffee-varieties/> (May 26, 2026).
- Velásquez, S., A.P. Franco, N. Peña, J.C. Bohórquez and N. Gutiérrez. 2021. Classification of the maturity stage of coffee cherries using comparative feature and machine learning. *Coffee Science* 16: e161710, doi: 10.25186/.v16i.1710.
- Velásquez, S., N. Peña, J.C. Bohórquez, N. Gutierrez and G.L. Sacks. 2019. Volatile and sensory characterization of roast coffees effects of cherry maturity. *Food Chemistry* 274: 137-145.
-

ข้าววัชพืชมานจากไหน

Where did Weedy Rice Come from?

เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม^{1*} ศันสนีย์ จำจด² จรรยา มณีโชติ³ และ ต่อนภา พุสดี⁴
Benjavan Rerkasem^{1*}, Sansanee Jamjod², Chanya Maneechote³ and Tonapha Pusadee⁴

¹ ห้องปฏิบัติการทรัพยากรพันธุกรรมและธาตุอาหารพืช มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

¹ Plant Genetic Resources and Nutrition Laboratory, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

² ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

² Lanna Rice Research Centre, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

³ สมาคมวัชพืชแห่งประเทศไทย ตึกวัชพืช สำนักงานวิจัยและพัฒนาการอารักขาพืช จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

³ Weed Science Society of Thailand, Weed Science Building,

Plant Protection Research and Development Office, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

⁴ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

⁴ Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: benjavan.r@cmu.ac.th

(Received: 17 January 2026; Revised: 6 May 2026 ; Accepted: 8 May 2026)

Abstract: Weedy rice has long been known in Thailand as ‘red rice’ from deepwater rice area. Why has it just the complete set of circumstances leading to the sudden invasiveness of weedy rice in Southeast Asia. The paper begins with a timeline of weedy rice records and the spread of modern rice technology, followed by evidence of genetic interaction between cultivated, wild, and weedy rice. The impacts of photoperiod insensitivity from modern rice varieties in the local cultivated-wild-weedy rice gene pool are analysed. The influence of modern agronomic practices on the competitiveness, adaptation, and dispersal of weedy rice is reviewed, together with detrimental effects of weedy rice on rice production. The main finding is that weedy rice is likely endemic to deepwater rice areas in Southeast Asia. Its recent ecological success across the wider region is driven primarily by the introgression of photoperiod insensitivity from modern rice varieties, resulting in the removal of reproductive control by daylength in weedy rice, greatly expanding its adaptive capacity and increasing hybridization opportunities. Modern crop management practices create the paddy field environments that favour weedy rice. Modern rice technology has brought economic and social benefits to Southeast Asia, but also an unintended harm

to rice production with invasive weedy rice. Weedy rice control should benefit from a comprehensive understanding of the mechanisms driving its sudden invasiveness and spread.

Keywords: Deepwater rice, gene flow, modern rice varieties, photoperiod response, wild rice

บทคัดย่อ: ข้าววัชพืชเป็นที่รู้จักมานานในประเทศไทย ในชื่อ “ข้าวแดง” จากพื้นที่นาฉีก แต่เหตุใดจึงมีการระบาดในพื้นที่นาทั่วประเทศเพียงในคริสต์ศตวรรษที่ 21 บทความปริทัศน์นี้ทำการวิเคราะห์ต้นเหตุโดยรวมที่ได้ส่งผลให้ข้าววัชพืชได้ระบาดแพร่หลายฉับพลันทั่วไปในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเริ่มด้วยการเรียงลำดับเวลาที่มีการบันทึกหลักฐานการพบข้าววัชพืชและการแพร่กระจายของเทคโนโลยีการทำนาสมัยใหม่ จากนั้นจึงนำเสนอหลักฐานบ่งชี้ถึงปฏิสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างข้าวปลูก ข้าวป่า และข้าววัชพืช พร้อมทั้งวิเคราะห์บทบาทของความไม่ไวต่อช่วงแสงจากข้าวพันธุ์สมัยใหม่ที่ถูกถ่ายทอดเข้าสู่แหล่งพันธุกรรมร่วมของข้าวในท้องถิ่น ต่อไปจึงทบทวนอิทธิพลของกรรมวิธีการจัดการในการทำนาสมัยใหม่ต่อความสามารถในการแข่งขัน การปรับตัว และการแพร่กระจายของข้าววัชพืช และประเมินผลกระทบของข้าววัชพืชต่อการผลิตข้าว ผลการวิเคราะห์ชี้ว่า ข้าววัชพืชน่าจะเป็นพืชประจำถิ่นของพื้นที่นาฉีกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มาแต่เดิม การระบาดแพร่กระจายออกไปทั่วภูมิภาคเกิดขึ้นจากการไหลของยีนลักษณะไม่ไวต่อช่วงแสงจากข้าวพันธุ์สมัยใหม่เข้าสู่ประชากรข้าววัชพืชเป็นหลัก ส่งผลให้ช่วงแสงเฉพาะถิ่นไม่มีอิทธิพลต่อการสืบพันธุ์ของ ข้าววัชพืชอีกต่อไป และทำให้ข้าววัชพืชสามารถปรับตัวเข้าสู่พื้นที่นาชลประทานและน่าน้ำฝนได้อย่างกว้างขวาง และมีโอกาสผสมข้ามกับข้าวปลูกในพื้นที่เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกัน สภาพแวดล้อมในนาข้าวที่เอื้อต่อความได้เปรียบของข้าววัชพืช เป็นผลพวงจากกรรมวิธีการเพาะปลูกภายใต้เทคโนโลยีการทำนาสมัยใหม่ ที่เมื่อนำมาซึ่งประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสังคมต่อภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่ก็ได้ก่อให้เกิดผลกระทบโดยไม่คาดคิดต่อการผลิตข้าวจากการระบาดของนาข้าววัชพืช การควบคุมข้าววัชพืชจำเป็นต้องอยู่บนความเข้าใจอย่างรอบด้านถึงกลไกที่ขับเคลื่อนการระบาดและการแพร่กระจายของข้าววัชพืช

คำสำคัญ: ข้าวนาฉีก การไหลของยีน ข้าวพันธุ์สมัยใหม่ ความไม่ไวต่อช่วงแสง ข้าวป่า

คำนำ

ข้าววัชพืช (weedy rice, *Oryza sativa* f. *spontanea*) เป็นพืชที่ขึ้นปะปนอยู่กับข้าวปลูกในแปลงนา และมีลักษณะโดยรวมคล้ายข้าวปลูก (*O. sativa*) แต่มีลักษณะสัณฐานและคุณสมบัติบางประการที่คล้ายกับข้าวป่าสามัญ (*O. rufipogon*) ข้าววัชพืชที่ระบาดในนาข้าวก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิต ทำให้เมล็ดข้าวด้อยคุณภาพ และเพิ่มต้นทุนในการจัดการ (Chauhan, 2013; Maneechote and Jamjod, 2005; Ziska *et al.*, 2015) ข้าววัชพืชเป็นศัตรูของต้นข้าวที่กำลังจัดให้หมดไปได้อย่างมากหากปล่อยให้อยู่ในนา ข้าววัชพืชเป็นที่รู้จักมานานมากแล้วในประเทศไทยในชื่อ ข้าวดอกมะขาม (Sanitwongse, 1941) หรือข้าวแดง (Sanitwongse, 1927) ด้วยเมล็ดที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงปะปนกับข้าวปลูก

เมล็ดสีขาว ที่เป็นลักษณะจำเพาะของข้าวจากพื้นที่นาฉีก “ข้าววัชพืช” เป็นศัพท์คำใหม่ที่ได้เริ่มปรากฏขึ้นในเอกสารภาษาไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2548 เป็นต้นมา (Jamjod *et al.*, 2025) เอกสารวิชาการก่อนหน้านี้มักเรียกต้นวัชพืชในนาฉีกที่มีลักษณะของข้าวป่าผสมกับข้าวปลูกว่า “ข้าวป่า” (wild rice) (Puckridge *et al.*, 1988; Vongsaroj, 1976, 1993) การระบาดของข้าววัชพืชได้ขยายตัวอย่างรวดเร็วครอบคลุมพื้นที่นาในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ภายในทศวรรษแรก of คริสต์ศตวรรษที่ 21 (Chauhan, 2013) หลังจากการพบครั้งแรกในนาชลประทาน ในประเทศมาเลเซีย ใน พ.ศ. 2531 (Bakar *et al.*, 2000) และในประเทศไทย ในช่วง พ.ศ. 2542-2544 (Maneechote *et al.* 2004; Chatuporn *et al.*, 2006) ซึ่งต่อมาระบาดลุกลามไปทั่วประเทศ ภายในช่วงเวลาเพียง 4-5 ปี เป็นที่รู้จักแพร่หลาย

ในนาม “ข้าวดีด” และ “ข้าวหาง” (Maneechote and Jamjod, 2005)

การระบาดของข้าววัชพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งในประเทศไทย ที่มีการทำนาปลูกข้าวมานานหลายพันปี นับว่าเป็นปรากฏการณ์ค่อนข้างใหม่ เมื่อเทียบกับปัญหาข้าววัชพืชในทวีปอเมริกาที่มีประวัติการปลูกข้าวเพียงไม่กี่ร้อยปี แต่มีรายงานถึงปัญหาข้าววัชพืชมามากตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 19 (Constantin, 1960; Gressel and Valverde, 2009; Nadir *et al.*, 2017; Olsen *et al.*, 2007; Watanabe *et al.*, 2000; Ziska *et al.*, 2015) คำถามสำคัญจึงเกิดขึ้นว่า เหตุใดข้าววัชพืชจึงกลายเป็นศัตรูสำคัญในนาข้าวของภูมิภาคที่มีประวัติการทำนามายาวนาน? และข้าววัชพืชเหล่านี้มาจากไหน?

บทความปริทัศน์นี้มุ่งวิเคราะห์ปัจจัยที่มีส่วนร่วมผลักดันให้ข้าววัชพืชกลายเป็นวัชพืชสำคัญในนาข้าวภายในช่วงเวลาอันสั้น โดยเริ่มจากการนำเสนอประวัติการระบาดในพื้นที่ เปรียบเทียบกับการแพร่กระจายของเทคโนโลยีข้าวสมัยใหม่ จากนั้นจึงทบทวนหลักฐานทางพันธุศาสตร์ที่บ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างข้าวปลูก ข้าวป่า และข้าววัชพืช พร้อมทั้งประเมินบทบาท

ของลักษณะพันธุกรรมความไม่ไวต่อช่วงแสงจากพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ ที่ได้แพร่เข้าสู่แหล่งพันธุกรรมร่วมของข้าวปลูก-ข้าวป่า-ข้าววัชพืช ลงท้ายด้วยการประเมินผลกระทบของการทำนาสมัยใหม่ต่อความสามารถในการแข่งขัน การปรับตัว และการแพร่กระจายของข้าววัชพืช ตลอดจนผลกระทบของข้าววัชพืชต่อผลผลิตจากการทำนาโดยรวม

ประวัติการระบาดของข้าววัชพืชและการแพร่กระจายของเทคโนโลยีข้าวสมัยใหม่

การระบาดของข้าววัชพืชในนาชลประทานที่มีบันทึกเป็นครั้งแรกในประเทศไทย เกิดขึ้นในพื้นที่ภาคกลางใน พ.ศ. 2542 (Chatuporn *et al.*, 2006) และ พ.ศ. 2544 (Maneechote *et al.*, 2004) ทั้งที่ก่อนหน้านี้ “ข้าวแดง” (Sanitwongse, 1927) และ “ข้าวดอกมะขาม” (Sanitwongse, 1941) เป็นที่รู้จักมาช้านานในฐานะข้าวคุณภาพต่ำปนข้าวแดงจากพื้นที่น้ำลึกซึ่งมักเป็นบริเวณที่การปลูกข้าวได้รุกล้ำเข้าไปในถิ่นอาศัยของข้าวป่า (Figure 1) ดังนั้น “ข้าวป่า” ที่เคยรายงานว่าเป็นวัชพืชในพื้นที่น้ำลึกภาคกลาง (Puckridge, 1988; Vongsaroj, 1976, 1993) จึงอาจเป็นได้ทั้งข้าวป่าสามัญหรือเป็นลูกผสมระหว่างข้าวป่ากับข้าวปลูกก็ได้ ข้าววัชพืชได้ลุกลามเข้าไปในแหล่งปลูกข้าวหลักทั้งน่าน้ำฝนและ



Figure 1. A boy with some pink awned wild rice in the family's rice field in Ayutthaya, Central Thailand (A), and a rice landscape with mixed population of cultivated, wild, and weedy rice at the same location (B). Source: photos by Chanya Maneechote

นาชลประทานทั่วประเทศภายในราวช่วง พ.ศ. 2545-2550 ก่อนหน้านั้น มีรายงานการพบข้าววัชพืชในนาชลประทานครั้งแรกในคาบสมุทรมลายูเมื่อ พ.ศ. 2531 (Bakar *et al.*, 2000; Ziska *et al.*, 2015) และต่อมามีรายงานจากลาว (Prathepha, 2011) เวียดนาม (Chauhan *et al.*, 2015) กัมพูชา (Chhun *et al.*, 2020) และเกาะบอร์เนียว (Neik *et al.*, 2019) เหตุการณ์เหล่านี้ล้วนเกิดขึ้น ภายหลังจากแพร่กระจายของเทคโนโลยีข้าวสมัยใหม่ (Table 1) ที่เริ่มต้นด้วยการเผยแพร่พันธุ์ข้าวสมัยใหม่ไม่ไวต่อช่วงแสงพันธุ์แรกคือ IR8 ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Khush and Virk, 2005) พื้นที่ปลูกพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสงเหล่านี้ในประเทศไทยขยายครอบคลุมเขตชลประทานภาคกลางราว พ.ศ. 2540 ก่อนขยายต่อไปยังภาคเหนือตอนล่างและพื้นที่ชลประทานอื่น ๆ และแพร่ไปยังลาว กัมพูชา เวียดนาม และเมียนมา (Brennan and Malabayabas, 2011; Niang *et al.*, 2008) การใช้เครื่องจักรเตรียมดินแทนควายเริ่มขึ้นในภาคกลางราว พ.ศ. 2525 (Suebongsang *et al.*, 2020) และแพร่ไปทั่วภูมิภาค (Haefele and Gummert, 2016) การเกี่ยวและนวดข้าวด้วยแรงคนถูกแทนที่ด้วยรถเกี่ยวข้าวเพื่อตอบโจทย์แรงงานขาดแคลนในประเทศไทยช่วง พ.ศ. 2535-2536 (Thepent and Chamsing, 2009) และขยายไปยังเวียดนามและลาว (Fukai *et al.*, 2019; Haefele and Gummert, 2016) ส่วนการใช้สารกำจัดวัชพืชในนาข้าวมีมาตั้งแต่ทศวรรษ พ.ศ. 2500 (Ho, 1996) และภายหลังมีการทดลองยืนยันว่า สารกำจัดวัชพืชแบบเลือกทำลายสำหรับข้าวไม่สามารถกำจัดข้าววัชพืชได้ (Azmi *et al.*, 2000; Marambe *et al.*, 2000)

หลักฐานเอกสารที่บันทึกการพบข้าววัชพืชในนาชลประทานและน่าน้ำฝนพื้นที่ลุ่ม ซึ่งเป็นระบบการผลิตข้าวสำคัญของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปรากฏขึ้นภายหลังการเข้ามาของเทคโนโลยีข้าวสมัยใหม่ อย่างไรก็ตาม จากความรู้ดั้งเดิมที่เป็นที่ยอมรับกันมานานเกี่ยวกับ “ข้าวแดง” จึงมีความเป็นไปได้ว่าข้าววัชพืชเป็นส่วนหนึ่งของระบบนาข้าวน้ำลึกในภูมิภาคนี้มาตั้งแต่ก่อนหน้านั้นนานมาแล้ว

ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างข้าวปลูก ข้าวป่า และข้าววัชพืช

ข้าวป่าสามัญ เป็นพืชท้องถิ่นในพื้นที่ราบลุ่มทั่วประเทศไทย (Chang, 1976; Khush, 1997; Oka, 1988) และรู้จักกันในชื่อเฉพาะถิ่นต่าง ๆ เช่น ข้าวผี ข้าวนก และหล้าละมาน เป็นต้น ประชากรข้าวป่าธรรมชาติยังพบได้ทั่วไปในที่รกร้างใกล้พื้นที่นาจนถึงศตวรรษที่ 21 (Pusadee *et al.*, 2016) แม้ว่าการสูญเสียถิ่นอาศัยจากการขยายตัวของเมืองจะทำให้ข้าวป่าบริเวณชานเมืองหายไปจากหลายพื้นที่ เช่น ในประเทศไทยตั้งแต่ราว พ.ศ. 2515 (Chitrakon *et al.*, 1995; Oka, 1988) และต่อมาในลาว กัมพูชา เวียดนาม และเมียนมา ลักษณะการผสมข้ามของข้าวป่า ทำให้มีโอกาสผสมกับข้าวปลูก ซึ่งโดยปกติเป็นพืชผสมตัวเองเป็นหลัก หลักฐานของการผสมข้ามตามธรรมชาติระหว่างข้าวปลูกท้องถิ่นกับข้าวป่าพบได้บ่อยใน “กลุ่มต้นข้าวลูกผสม” (hybrid swarms) ที่เกิดขึ้นรอบ ๆ พื้นที่นาซึ่งมีประชากรข้าวป่าอยู่ในละแวกเดียวกัน (Kuroda *et al.*, 2006; Morishima *et al.*, 1980, 1984; Oka and Chang, 1961) มีลักษณะทางสัณฐาน พันธุกรรม และอนุพันธุกรรม เป็นเครื่องยืนยันการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างข้าวปลูกและข้าวป่า ตัวอย่างเช่น การพบทั้งลักษณะของข้าวป่า (เมล็ดหุลูร่วงก่อนเวลา เมล็ดมีหาง และการมีสีที่เปลือกและเยื่อหุ้มเมล็ด) ควบคู่กับลักษณะของข้าวปลูก (แบ่งในเมล็ดเป็นข้าวเหนียว เยื่อหุ้มเมล็ดไม่มีสี) ในประชากรเดียวกัน ที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเป็นลูกผสมระหว่างข้าวป่าและข้าวปลูก ในข้าวป่าที่ขึ้นตามธรรมชาติในพื้นที่ที่ปลูกข้าวเหนียวเป็นหลัก เช่น ในประเทศลาวและบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ ภาคเหนือของประเทศไทย (Kuroda *et al.*, 2005, 2006; Morishima *et al.*, 1984; Oka, 1988) บ่งชี้ถึงปฏิสัมพันธ์ทางพันธุกรรมกันอย่างใกล้ชิดระหว่างข้าวปลูก ข้าวป่า และข้าววัชพืชในประเทศไทย การวิเคราะห์ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลชนิดไมโครแซทเทลไลต์ (simple sequence repeats: SSR) ยืนยันว่ามีการแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรมอย่างต่อเนื่องระหว่างข้าวปลูกกับข้าวป่า และระหว่างทั้งสองกลุ่มนี้กับข้าววัชพืช (Pusadee *et al.*, 2013; Wongtamee *et al.*, 2017) การผสมข้ามระหว่างข้าวปลูกกับข้าวป่า

Table 1. Chronological sequence of weedy rice records in Thailand and other countries in Southeast Asia, and the introduction and spread of modern rice technology.

Year	Noteworthy events and records (references in brackets)
1910, 1927	Rice contaminated with red rice, a historically common feature of deepwater rice in Thailand, was known colloquially as “tamarind buds rice” (ข้าวดอกมะขาม) (Sanitwongse, 1941) and “khao daeng” (ข้าวแดง) (Sanitwongse, 1927)
1960s	Chemical weed control in paddy fields in Asia began in the mid 1960s (Ho, 1996), selective herbicides for rice proved harmless to weedy rice (Azmi <i>et al.</i> , 2000; Marambe <i>et al.</i> , 2000)
1966	First photoperiod insensitive, high yielding rice variety IR8 released (Khush and Virk, 2005)
1970s	Mechanized land preparation began in Thailand’s Central Plain in 1970s (Suebpongsang <i>et al.</i> , 2020), spreading to all Southeast Asia by 2010s (Haefele and Gummert, 2016)
1974	‘Wild rice’ identified as a weed in deepwater rice area in Thailand (Vongsaroj, 1976, 1993; Puckridge <i>et al.</i> , 1988)
1980s	Adoption of modern rice varieties took off in Thailand in 1980s, spreading over the irrigated Chao Phraya Plain by mid 1990s, to the rest of the country (Rerkasem, 2015), Indochina (Brennan and Malabayabas, 2011) and Myanmar (Niang <i>et al.</i> , 2008) in the next decades
1988	Weedy rice first observed in Malaysia in 1988, and spread over the Malaya peninsula by 2000 (Bakar <i>et al.</i> , 2000; Ziska <i>et al.</i> , 2015)
1992-1993	Wide adoption of combine harvesting in Thailand in 1992-1993 (Thepent and Chamsing, 2009), in Vietnam about 2000, and Laos in the mid 2010s (Fukai <i>et al.</i> , 2019; Haefele and Gummert, 2016)
1999, 2001	Following the first observations in irrigated rice fields in the Central Plain of Thailand in 1999 (Chatuporn <i>et al.</i> , 2006) and 2001 (Maneechote <i>et al.</i> , 2004), invasive weedy rice had spread throughout the country by 2005, covering the main lowland rainfed and irrigated rice agroecosystems, and is known colloquially as “khao deed” (ข้าวดีด) and “khao haang” (ข้าวหาง) (Maneechote and Jamjod, 2005; Prasertsak <i>et al.</i> , 2007)
2010-2020	Weedy rice observed in Laos (Prathepha, 2011), Vietnam (Chauhan <i>et al.</i> , 2015), Cambodia (Chhun <i>et al.</i> , 2020), and Borneo Island (Neik <i>et al.</i> , 2019)

เป็นปรากฏการณ์ที่พบได้บ่อยในพื้นที่ที่มี *O. rufipogon* และ *O. sativa* อยู่ร่วมกันในจินตอนใต้ (Song *et al.*, 2005) อีกทั้งยังมีหลักฐานทางอนุพันธุกรรมสนับสนุนจากการทดลองและการศึกษาการไหลของยีน (Chen *et al.*,

2004; Kuroda *et al.*, 2005; Pusadee *et al.*, 2013; Song *et al.*, 2003)

หลักฐานจากลักษณะทางสัณฐานของต้นข้าวที่มีลักษณะผสมระหว่างข้าวปลูกและข้าวป่า มักถูกใช้เป็น

ตัวบ่งชี้ว่าข้าววัชพืชเป็นลูกผสมระหว่างข้าวปลูกและข้าวป่า (Appa Rao *et al.*, 2002; Chauhan, 2013; Schiller *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ความหลากหลายทางอนุพันธุกรรมชี้ว่าข้าววัชพืชน่าจะมีต้นกำเนิดมาจากสองทาง ทางแรก เกิดขึ้นในพื้นที่นอกถิ่นอาศัยตามธรรมชาติของ *O. rufipogon* เช่น ทวีปอเมริกา และเกาหลี การหวนคืนมาของลักษณะป่าโดยเฉพาะเปลือกที่มีสีดำ เมล็ดมีหาง และเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง เป็นการถดถอยจากการเป็นพืชปลูกอันเกิดจากการกลายพันธุ์โดยธรรมชาติ (de-domestication events or feralization) (Kanapeckas *et al.*, 2016; Qui *et al.*, 2020; Vigueira *et al.*, 2020) ส่วนอีกทางหนึ่งในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นถิ่นที่อยู่ของ *O. rufipogon* ข้าววัชพืชมีต้นกำเนิดจากการผสมข้ามระหว่างข้าวปลูกและข้าวป่าที่อยู่รวมในพื้นที่เดียวกัน

การวิเคราะห์ความหลากหลายทางอนุพันธุกรรม (Li *et al.*, 2024; Sang and Ge, 2007; Song *et al.*, 2003; Song *et al.*, 2014) และการจัดลำดับทั้งจีโนม (Vigueira *et al.*, 2019) บ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมที่ใกล้ชิดกัน ระหว่างประชากรข้าวปลูก ข้าวป่า และข้าววัชพืชในแต่ละท้องถิ่น ยีนข้าวปลูกจำนวนมากที่พบในการวิเคราะห์จีโนม *O. rufipogon* หลากหลายประชากร เป็นหลักฐานยืนยันถึงประวัติศาสตร์อันยาวนานของการถ่ายทอดยีนจากข้าวปลูกไปยังข้าวป่า ซึ่งนำไปสู่ข้อสันนิษฐานว่า *O. rufipogon* ในปัจจุบันน่าจะมีความแตกต่างทางพันธุกรรมจากสายพันธุ์บรรพบุรุษก่อนยุคแรกเริ่มการปลูกข้าว (Wang *et al.*, 2017)

ตลอดช่วงเวลายาวนานของการปฏิสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและการผสมข้ามระหว่างข้าวปลูกและข้าวป่า เหตุใดลูกผสมที่เกิดขึ้นจึงเพิ่งปรากฏและแพร่กระจายเป็นข้าววัชพืชที่สร้างความเสียหายในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เมื่อไม่นานมานี้ การตอบคำถามนี้ต้องอาศัยความเข้าใจในปัจจัยที่จำกัด (the limiting factor) ต่อการแพร่กระจายและการปรับตัวของข้าววัชพืช ก่อนมีพันธุ์ข้าวสมัยใหม่เข้ามาในพื้นที่ ซึ่งจะได้อภิปรายต่อไปในหัวข้อ การตอบสนองต่อช่วงแสงและกระบวนการจัดการในการเพาะปลูกข้าว

บทบาทของการตอบสนองต่อช่วงแสง

ความไวต่อช่วงแสงเป็นลักษณะเด่นของข้าวป่าและข้าวพันธุ์พื้นเมืองในเขตร้อน ในขณะที่ความไวต่อช่วงแสงเป็นเอกลักษณ์สำคัญของข้าวพันธุ์สมัยใหม่ (Vergara and Chang, 1985; Yoshida, 1981) ดังนั้น พัฒนาการสู่ระยะสืบพันธุ์ของข้าวป่าและข้าวพันธุ์พื้นเมืองจึงอยู่ภายใต้อิทธิพลของช่วงแสง ตรงกันข้ามกับข้าวพันธุ์สมัยใหม่ที่เข้าสู่ระยะออกดอกและสร้างเมล็ดได้อย่างเป็นอิสระโดยไม่ขึ้นกับช่วงแสงเลย ก่อนมีการนำข้าวพันธุ์สมัยใหม่เข้ามาปลูกในภูมิภาคเอเชียเขตร้อน รวมทั้งประเทศไทย ความไวต่อช่วงแสงทำหน้าที่เป็นกลไกสำคัญในการควบคุมการปรับตัวเฉพาะถิ่น ของข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวป่า และลูกผสมระหว่างข้าวปลูกกับข้าวป่า ช่วงแสงในแต่ละพื้นที่จึงเป็นปัจจัยจำกัด (the limiting factor) ทั้งต่อการปรับตัวและต่อโอกาสการผสมข้ามในแต่ละท้องถิ่น เพราะเวลาการออกดอกและการสร้างเมล็ดในข้าวแต่ละพันธุ์ถูกกำหนดด้วยช่วงแสงของแต่ละพื้นที่ ในพื้นที่น่าน้ำลึกการปรับตัวของข้าวป่า และข้าวพันธุ์พื้นเมืองรวมทั้งข้าวขึ้นน้ำ ถูกจำกัดโดยความไวต่อช่วงแสงที่สอดคล้องกับฤดูกาลน้ำหลาก ทำให้หลายพันธุ์มีอายุยาวนานถึง 9 เดือน (Vergara and Chang, 1985) ดังนั้น *O. sativa* f. *spontanea* จากพื้นที่น้ำลึกในภาคกลางจึงไม่อาจมีชีวิตอยู่รอดในพื้นที่นาอื่น ๆ ที่มีฤดูปลูกสั้นเพียง 4-5 เดือน อีกทั้งไม่มีโอกาสผสมเกสรกับพันธุ์ข้าวพื้นเมืองในพื้นที่ได้เลย ข้าวป่าสามัญ (*O. rufipogon*) สามารถผสมกับข้าวพันธุ์สมัยใหม่ได้ และให้ลูกผสมที่มีความสมบูรณ์ ไม่ต่างจากการผสมกับข้าวพันธุ์พื้นเมือง (Khumto *et al.*, 2017; Niruntrayakul *et al.*, 2009; Sinthukiew *et al.*, 2005; Somkual *et al.*, 2005)

ความไวต่อช่วงแสงน่าจะเป็นลักษณะที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการระบายลงในนาและการแพร่กระจายของข้าววัชพืชมากที่สุด เมื่อการเป็นปัจจัยจำกัด (the limiting factor) ของช่วงแสงถูกปลดออก ด้วยยีนที่กำหนดความไวแสงใน IR8 เป็นพันธุ์แรก และตามด้วยการปรับใช้ลักษณะนี้อย่างต่อเนื่องในข้าวพันธุ์สมัยใหม่ ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวระดับนานาชาติและระดับประเทศทั่วเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Brennan

and Malabayabas, 2011) ความไม่ไวต่อช่วงแสง ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของข้าวพันธุ์สมัยใหม่ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยทำให้ฤดูปลูกสั้นลงและทำให้สามารถปลูกข้าวได้ตลอดทั้งปี ในพื้นที่ที่มีน้ำชลประทาน ฤดูแล้ง กล่าวคือ ทำนาได้มากกว่าหนึ่งครั้งในแปลงเดียวภายในหนึ่งปี หรือปลูกต่อเนื่องตลอดปี ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสังคมของข้าวพันธุ์สมัยใหม่ได้รับการประเมินอย่างกว้างขวาง (Pingali, 2012; Pinstруп-Andersen and Hazell, 1985) แต่ผลกระทบทางนิเวศวิทยาจากการนำลักษณะไม่ไวต่อช่วงแสงเข้าสู่แหล่งพันธุกรรมร่วมของข้าวปลูก ข้าวป่า และข้าววัชพืชกลับแทบไม่ได้รับความสนใจ ความไม่ไวต่อช่วงแสงส่งผลในการขยายขอบเขตความสามารถปรับตัว เห็นได้ชัดเจนในข้าววัชพืชทั่วประเทศไทย ที่สามารถออกดอกและติดเมล็ดได้ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน โดยมีช่วงออกดอกตั้งแต่ 43 ถึง 176 วันหลังปลูก และช่วงเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 63 ถึง 202 วัน (Prasertsak *et al.*, 2007) ตรงกันข้าม ข้าวพันธุ์พื้นเมืองผลิตได้เฉพาะในฤดูฝน และพันธุ์พื้นเมืองปรับปรุงที่นิยมปลูกส่วนใหญ่ มีช่วงดอกบานค่อนข้างคงที่อยู่วราวครึ่งหลังของเดือนตุลาคม ประมาณวันที่ 21 ตุลาคม ในพันธุ์ กข6 และ 25 ตุลาคม ในข้าวดอกมะลิ 105 (Thai Rice Knowledge Bank, 2025)

หลังจากการผสมข้ามระหว่างข้าวป่าและข้าวปลูก การแลกเปลี่ยนพันธุกรรมยังคงดำเนินต่อไปอย่างต่อเนื่อง ด้วยการผสมเกสรระหว่างข้าวปลูกและข้าววัชพืช โดยเฉพาะในข้าววัชพืชที่ยังคงสัณฐานของดอกและอุปนิสัยการผสมข้ามแบบข้าวป่า (Jamjod *et al.*, 2005; Khumto *et al.*, 2017) แม้ว่าจะมีรายงานการผสมข้ามระหว่างข้าวป่าและข้าวปลูกในหลายพื้นที่ (Langevin *et al.*, 1990; Song *et al.*, 2003) แต่โดยทั่วไปโอกาสที่ข้าววัชพืชผสมเกสรกับข้าวปลูกในนาแปลงเดียวยกย่อมมีมากกว่า การศึกษาข้าววัชพืชในน่าน้ำฝนและนาชลประทานในประเทศไทยแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่แสดงออก (phenotype) และพันธุกรรม (genotype) ของข้าววัชพืช ให้คล้ายคลึงข้าวปลูกมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามกาลเวลา (Wongtamee *et al.*, 2017) การวิเคราะห์ไมโครแซทเทลไลต์ได้แสดงให้เห็นว่า ข้าว

วัชพืชมีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมกับกับข้าวปลูกที่ขึ้นอยู่รวมในนาแปลงเดียวกัน แต่แตกต่างจากข้าวป่าที่ขึ้นอยู่ในละแวกเดียวกัน ด้วยปฏิสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของข้าววัชพืช ที่เกิดขึ้นได้กับทั้งข้าวพันธุ์สมัยใหม่ไม่ไวต่อช่วงแสงในนาชลประทาน และข้าวพื้นเมืองพันธุ์ปรับปรุงที่ไวต่อช่วงแสงในน่าน้ำฝน (เช่น ข้าวดอกมะลิ 105 และ กข6) ความใกล้ชิดทางพันธุกรรมระหว่างข้าววัชพืชกับข้าวปลูกที่ขึ้นอยู่ร่วมกันนี้ยังพบได้เช่นกันในคาบสมุทรมลายู (Song *et al.*, 2014) และบนเกาะบอร์เนียว (Neik *et al.*, 2019) นอกจากนี้ การพบลักษณะของข้าวปลูก อาทิ เยื่อหุ้มเมล็ดไม่มีสี และแบ่งในเมล็ดเป็นข้าวเหนียวในประชากรข้าวป่าธรรมชาติ เป็นหลักฐานแสดงถึงการไหลของยีนในทิศทางกลับกันจากข้าวปลูกไปสู่ข้าวป่า (Kuroda *et al.*, 2006; Oka, 1988)

ในช่วงเวลา 5 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2548 ถึง พ.ศ. 2553 ข้าววัชพืชมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะทางสัณฐานให้คล้ายกับข้าวปลูกร่วมแปลงมากยิ่งขึ้น แต่ยังคงลักษณะเมล็ดตรงก่อนแก่ มากกว่าร้อยละ 90 แบบเดียวกับข้าวป่า (Wongtamee *et al.*, 2017) เป็นที่มาของชื่อ “ข้าวดีด” ส่วนลักษณะที่ถูกกำหนดโดยกระบวนการจัดการ เช่น ความสูงต้น และช่วงอายุช่ย์ ได้เปลี่ยนใกล้เคียงกับข้าวปลูกมากขึ้น การตัดข้าววัชพืชที่มีต้นสูงทิ้งจากแปลงนำไปสู่การคัดเลือกและวิวัฒนาการของสายพันธุ์ข้าววัชพืชที่มีลำต้นเตี้ยลง (Gressel and Valverde 2009; Jamjod *et al.*, 2005) วิวัฒนาการของข้าววัชพืชภายใต้กระบวนการการเพาะปลูกข้าวจึงเป็นตัวอย่างของการเลียนแบบพืชปลูก (crop mimicry; Vavilovian mimicry) (Barrett, 1983; Ellstrand *et al.*, 1999; McElroy, 2014) ซึ่งเป็นกระบวนการทางนิเวศวิทยาที่มักพบในวัชพืช ตัวอย่างเช่น หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli*) ในนาข้าว ซึ่งมีลำต้นตั้งตรง และปรับช่วงดอกบานให้ใกล้เคียงกับข้าวปลูกในแปลง พร้อมทั้งปรับส่วนมวลชีวภาพไปสู่เมล็ดมากขึ้น ทำให้ดูคล้ายข้าวมากยิ่งขึ้น (Ye *et al.*, 2019) ข้าววัชพืชบางสายพันธุ์มีความคล้ายคลึงกับข้าวพันธุ์สมัยใหม่ในลักษณะต้นเตี้ย รวงใหญ่ และมีเมล็ดจำนวนมาก (Prasertsak *et al.*, 2007) การผลิตเมล็ดได้จำนวนมากหมายถึงความหนาแน่นของประชากร

ในรุ่นต่อไป ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในการแข่งขันกับข้าวปลูกอีกทางหนึ่ง ดังที่ได้พบในหญ้าไรย์ (*Lolium rigidum*) ในแปลงข้าวสาธิต (Rerkasem *et al.*, 1980)

การถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมกำหนดความไม่ไวต่อช่วงแสง ทำให้ข้าววัชพืชได้ปรับตัวเข้ากับฤดูปลูกของทั้งข้าวพันธุ์สมัยใหม่และข้าวพันธุ์พื้นเมือง เปิดโอกาสให้ข้าววัชพืชสามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมในนาที่หลากหลาย และผสมข้ามกับข้าวปลูกในแปลงเดียวกัน ส่งผลให้ข้าววัชพืชได้แพร่กระจายไปทั่วเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

อิทธิพลของเทคโนโลยีการทำนาสมัยใหม่

กระบวนการเกษตรกรรมในการทำนาสมัยใหม่ที่มีผลกระทบทางนิเวศวิทยาต่อข้าววัชพืช ประกอบด้วย การเตรียมดิน การทำนาหว่านแทนการดำนา การเกี่ยวและนวดข้าวด้วยรถเกี่ยวข้าว และการใช้สารกำจัดวัชพืช

1. การเตรียมแปลง

การเตรียมแปลงเพื่อปลูกข้าวด้วยควายที่ต้องไถซ้ำหลายครั้งได้ผลในการควบคุมวัชพืชได้ระดับหนึ่ง ข้าววัชพืชและวัชพืชอื่น ๆ ที่งอกขึ้นมาจะถูกทำลายไปในการไถนาครั้งต่อไป (Chauhan, 2013) ตรงกันข้าม รถไถที่มีแรงจลน์มากกว่าหลายเท่า สามารถเตรียมแปลงได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องรอให้ดินเปียกชุ่มและมักเสร็จสิ้นไปก่อนข้าววัชพืชจะทันไถงอก การนำรถไถมาใช้เตรียมแปลงเพื่อปลูกข้าวได้แพร่กระจายไปในเวลาแตกต่างกันในต่างพื้นที่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตัวอย่างเช่นการนำรถไถเข้ามาใช้ในประเทศไทยได้เริ่มขึ้นก่อนในบริเวณภาคกลางแล้วจึงกระจายไปในภูมิภาคอื่น ๆ ในเวลาต่อมา (Suebpongsang *et al.*, 2020) การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นควบคู่กับการลดลงของจำนวนควายในประเทศ ซึ่งลดลงจากราว 60 ล้านตัวในช่วง พ.ศ. 2530 เหลือไม่ถึง 20 ล้านตัวในเวลาเพียง 15 ปี (Food and Agriculture Organization, 2024) ถึง พ.ศ. 2550 การเตรียมแปลงเพื่อปลูกข้าวในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้เปลี่ยนไปใช้รถไถแทนการไถนาด้วยควายแทบทั้งหมด (Haefele and 6mert, 2016) อนึ่ง เมล็ดข้าววัชพืชที่ฝังลึกอยู่ในดินยังอาจถูกพลิกกลับขึ้นมาให้งอกได้อีก จากการที่รถไถสามารถไถลึกลงไปใต้ดิน (Zhang *et al.*, 2019)

2. การทำนาหว่านแทนการดำนา

การเปลี่ยนแปลงวิธีการปลูกข้าวจากการดำนาไปเป็นการหว่านเมล็ด มักถูกชี้ว่าเป็นต้นเหตุของการระบาดของข้าววัชพืชลงในนาในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียใต้ (Azmi and Mashhor, 1994; Chauhan, 2013, Singh *et al.*, 2013; Ziska *et al.*, 2015) การปลูกข้าวด้วยการหว่านด้วยเมล็ดตอบโจทยปัญหาแรงงานที่มีราคาแพงและมักขาดแคลนในช่วงเวลาเร่งด่วนได้เป็นอย่างดี (Cramb, 2020; Konchan and Kono, 1996) แต่การควบคุมวัชพืชในนาหว่านทำได้ค่อนข้างยาก ต้นกล้าข้าวอายุ 4-6 สัปดาห์ ย่อมมีข้อได้เปรียบในการแข่งขันกับข้าววัชพืชที่เพิ่งเริ่มงอกจากเมล็ด และข้อได้เปรียบยังคงอยู่บ้างแม้ใช้เครื่องดำนาที่ปลูกด้วยต้นกล้าอายุเพียง 2 สัปดาห์ แต่สาเหตุนี้ไม่สามารถอธิบายการระบาดของข้าววัชพืชในนาได้

3. การเกี่ยวและนวดข้าวด้วยรถเกี่ยวข้าว

รถเกี่ยวข้าวมีบทบาทต่อการแพร่กระจายของข้าววัชพืชอยู่สองทาง ทางแรก เมล็ดข้าววัชพืชที่ติดค้างอยู่ในเครื่องเกี่ยวข้าว (Gao *et al.*, 2018) ถูกนำจากแปลงหนึ่งไปยังอีกแปลงหนึ่งอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากรถเกี่ยวรับจ้างมักไม่มีเวลาหยุดทำความสะอาดเครื่องระหว่างแปลง เมล็ดข้าววัชพืชยังอาจถูกนำพาออกนอกพื้นที่ไปพร้อมกับเครื่องเกี่ยวข้าวที่เดินทางไปรับจ้างข้ามจังหวัด ทางที่สอง เกิดขึ้นเมื่อข้าวเปลือกที่ปนด้วยเมล็ดข้าววัชพืชจากเครื่องเกี่ยว ถูกนำไปใช้เป็นเมล็ดพันธุ์จากตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องเกี่ยวจากทั่วประเทศ พบว่า มากกว่าร้อยละ 80 ปนเปื้อนด้วยข้าวแดง (Prasertsak *et al.*, 2007) การปนเปื้อนด้วยเมล็ดข้าวแดงเพียง ร้อยละ 0.2 (โดยน้ำหนัก) ก็อาจทำให้เกิดข้าววัชพืชมากกว่า 10 ต้นต่อตารางเมตร เมื่อใช้หว่านด้วยอัตราเมล็ดพันธุ์ 16 กิโลกรัมต่อไร่ เมล็ดพันธุ์ที่ปนเปื้อนเช่นนี้ถือเป็นกลไกสำคัญของการระบาดของข้าวแดงในทวีปอเมริกา (Noldin, 2000) ด้วยเหตุนี้ หลายประเทศจึงมักจะมิกซ์เกนซ์ในการควบคุมคุณภาพเมล็ดข้าวอย่างเคร่งครัด ตัวอย่างเช่น ในประเทศอูรูกวัยซึ่งปลูกข้าวด้วยเมล็ดพันธุ์รับรองเกือบทั้งหมด กำหนดให้เมล็ดข้าวต้องปลอดจากข้าววัชพืชอย่างสิ้นเชิง ส่วนในรัฐออคันซอ

สหรัฐอเมริกา เมล็ดข้าวพันธุ์คัด พันธุ์หลัก และพันธุ์รับรอง ต้องผ่านการตรวจพิสูจน์ว่า ไม่ปรากฏเมล็ดข้าวแดง จากการกะเทาะเมล็ดข้าวเปลือก 4 ปอนด์ (1.8 กิโลกรัม) นอกจากนี้ การตรวจแปลงกำหนดให้แปลงผลิตเมล็ดพันธุ์มีต้นข้าววัชพืชได้ไม่เกินหนึ่งต้นต่อเอเคอร์ (0.4 เฮกตาร์) และในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์หลักและพันธุ์รับรอง ต้องไม่มีต้นข้าววัชพืชอยู่เลย (Hardke *et al.*, 2018) ส่วนในประเทศไทย ในราว พ.ศ. 2560 เกษตรกรร้อยละ 65 ยังใช้เมล็ดข้าวจากแปลงปลูกเป็นเมล็ดพันธุ์ (Napasintuwong, 2018) ขณะเดียวกัน ข้อกำหนดให้มีข้าวแดงได้ไม่เกินหนึ่งเมล็ดในเมล็ดพันธุ์หลัก 0.5 กิโลกรัม และไม่เกิน 5 เมล็ด ในเมล็ดพันธุ์รับรอง 0.5 กิโลกรัม (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2014) นับว่ามากเกินไปสำหรับเป็นจุดเริ่มต้นให้ข้าววัชพืชระบาดลงในนาได้

4. การใช้สารกำจัดวัชพืช

การใช้สารกำจัดวัชพืชเพื่อควบคุมวัชพืชในนาข้าว นับเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งของเทคโนโลยีการนาสมัยใหม่ ที่มีส่วนทำให้ข้าววัชพืชได้กลายเป็นวัชพืชสำคัญในพื้นที่นา โดยเฉพาะสารกำจัดวัชพืชแบบเลือกทำลายที่ไม่เป็นอันตรายต่อต้นข้าว ส่วนข้าววัชพืชที่มีพันธุกรรมไกลด์ไซด์ข้าววัชพืช ก็ได้รับการยืนยันว่าไม่ได้รับอันตรายจากสารกำจัดวัชพืชแบบเลือกทำลายสำหรับข้าวด้วยเช่นกัน (Azmi *et al.*, 2000; Marambe *et al.*, 2000) ข้าวเป็นพืชปลูกอีกชนิดหนึ่งที่มีเทคโนโลยีการปรับปรุงพันธุ์ ให้ทนทานต่อสารกำจัดวัชพืชจำเพาะ (herbicide resistant, HR technology) ซึ่งเปิดทางให้สามารถกำจัดพืชทุกชนิดในนาข้าวรวมทั้งข้าววัชพืชโดยยกเว้นเฉพาะต้นข้าวพันธุ์ HR (Sudianto *et al.*, 2013) อย่างไรก็ตาม พบว่า ข้าววัชพืชในนาในมาเลเซียได้มีวิวัฒนาการมีความทนทานต่อสาร imidazolinone ซึ่งใช้ควบคุมกับข้าวพันธุ์ HR ภายในเวลาเพียงไม่กี่ปี หลังจากการเริ่มใช้เทคโนโลยีนี้ใน พ.ศ. 2553 (Dilipkumar *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2006) เช่นเดียวกันในสหรัฐอเมริกา ที่ได้นำเทคโนโลยีข้าว HR มาใช้ในเวลาไล่เลี่ยกัน พบว่าต้นข้าววัชพืชที่รอดจากการทำลายโดยสาร imazethapyr ให้เมล็ดในรุ่นลูกที่มีความทนทานต่อสารนี้ถึงร้อยละ 60 อีกทั้งมีพันธุกรรมใกล้เคียงกับข้าวปลูกพันธุ์ HR มากกว่า

ข้าววัชพืชจากเมื่อครั้งที่ยังไม่มีการนำพันธุ์ HR เข้ามาปลูก (Burgos *et al.*, 2006, 2014) ประสบการณ์จากข้าวทนต่อสารกำจัดวัชพืช (HR rice) ซึ่งถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการดัดแปลงพันธุกรรมของข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้วยพันธุ์วิศวกรรม ในพื้นที่ที่มีข้าวป่าสามัญแพร่หลาย และมีข้าววัชพืชซึ่งเป็นลูกผสมระหว่างข้าวป่ากับข้าวปลูกอยู่ทั่วไปในพื้นที่นาแบบในประเทศไทย

ความสามารถของข้าววัชพืชในการปรับตัวต่อระบบการทำนาสมัยใหม่ ยืนยันได้จากกระบาดลงในนาและการแพร่ขยายอย่างรวดเร็ว จากแปลงหนึ่งไปยังอีกแปลงหนึ่ง และกระจายไปทั่วประเทศ หลังจากที่ถูกพบเป็นครั้งแรกในนาเพียงสามกระทง ในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2544 ในพื้นที่ทำนาปีละสองครั้ง ในจังหวัดกาญจนบุรี ข้าววัชพืชได้กระจายไปทั่วหมู่บ้านภายใน 5 ฤดูปลูก (Figure 2) แล้วลุกลามไปยังหมู่บ้านใกล้เคียง และขยายออกทั่วประเทศภายในช่วงเวลาเพียงไม่กี่ปี (Jamjod *et al.*, 2025) ใน พ.ศ. 2547 ประเทศไทยมีข้าววัชพืชระบาดอยู่ในทุกเขตพื้นที่ทำนาหลัก ทั้งน่านน้ำฝนปลูกพันธุ์ข้าวไวต์ต่อช่วงแสง (พันธุ์พื้นเมืองปรับปรุง) นาชลประทาน ปลูกข้าวพันธุ์สมัยใหม่ไม่ไวต์ต่อช่วงแสง ตลอดจนพื้นที่น่าน้ำลึก ทั้งในระบบนาดำและนาหว่าน (Prasertsak *et al.*, 2007) ส่วนในมาเลเซียวัชพืชในนาข้าวหลากหลายชนิดที่ประกอบด้วยทั้งพืชใบกว้างและใบแคบ ได้ถูกทดแทนด้วยข้าววัชพืชภายในช่วงเวลาเพียงสิบปี (Azmi and Mashhor 1994; Ziska *et al.* 2015)

ข้าววัชพืชอาจแพร่กระจายได้โดยมิได้เกี่ยวข้องกับการทำนาโดยตรง เช่น เมื่อมีการนำเมล็ดข้าววัชพืชเข้ามาเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ ในพื้นที่นาภาคกลางที่มีการเลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งอย่างแพร่หลาย (Saijuntha *et al.*, 2013; Wattanasuntorn, 2015) ด้วยมีเกษตรกรรายงานว่า ข้าววัชพืชเริ่มปรากฏขึ้นหลังจากการนำฝูงเป็ดไล่ทุ่งมาขังในพื้นที่ เป็ดเหล่านี้ซึ่งมีจำนวนฝูงละหลายพันตัว สามารถช่วยกำจัดเมล็ดข้าววัชพืชและวัชพืชชนิดอื่นที่ร่วงตกค้างอยู่ในนา รวมถึงหอยเชอรี่ (*Pomacea* sp.) และแมลงศัตรูอื่น ในแปลงนาขังน่านอกฤดูปลูกได้เป็นอย่างดี แต่ข้าวคุณภาพต่ำที่นำมาเป็นอาหารเสริมเลี้ยงเป็ดที่มีมักจะประกอบด้วยเมล็ดข้าววัชพืชเป็นส่วนใหญ่จึงกลายเป็นเส้นทางหนึ่งในการนำข้าววัชพืชเข้ามาในพื้นที่

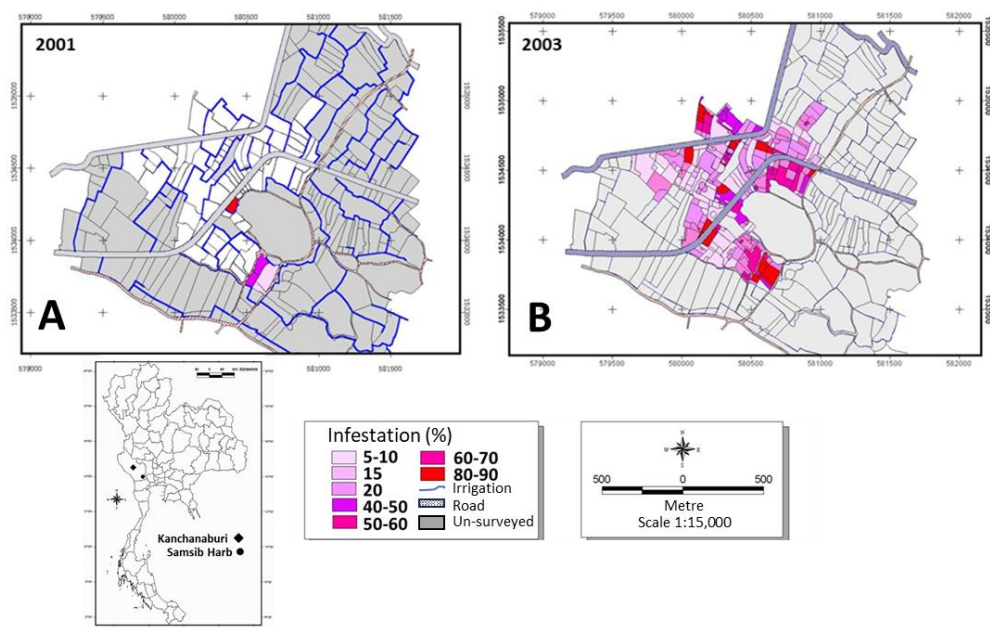


Figure 2. Weedy rice infestation in Samsib Harb village, Kanchanaburi province, in dry season 2001 (A) compared with the level in dry season 2003, the 5th subsequent cropping season (B, with un-marked irrigation channels) Source: maps by Ariya Phaokrueng

ข้าววัชพืชเป็นปัญหาที่เกษตรกรจำเป็นต้องเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันไม่ให้นันลูกหลานแพร่พันธุ์จากเพียง 2-3 ต้น หรือจากเมล็ดที่ฝังอยู่ในดิน ไปสู่ระดับที่สามารถก่อความเสียหายร้ายแรงต่อผลผลิตจากการทำนาปลูกข้าวได้ภายในเพียงไม่กี่ฤดูปลูก

ผลกระทบต่อผลผลิตจากการทำนา

ข้าววัชพืชมีผลกระทบต่อผลผลิตจากการทำนา โดยการแข่งขันแย่งทรัพยากร เป็นอุปสรรคในการสร้างผลผลิต และลดมูลค่าทางเศรษฐกิจของผลผลิตด้วยเมล็ดด้อยคุณภาพ การจัดการเพื่อควบคุมการระบาดของข้าววัชพืชยังมีส่วนในการเพิ่มต้นทุนการผลิตด้วย

1. การลดผลผลิตข้าว

การระบาดของข้าววัชพืชในแปลง สามารถส่งผลให้มวลชีวภาพรวมและการผลิตเมล็ดในข้าวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (Burgos *et al.*, 2006; Jindalouang *et al.*, 2018) ซึ่งบ่งชี้ถึงความได้เปรียบทางชีววิทยาของประชากรข้าวปลูกผสมข้าววัชพืช แต่ผลผลิตข้าวกลับลดลงเมื่อระดับของการระบาด (จำนวนรวงข้าววัชพืช คิดเป็นสัดส่วนต่อจำนวนรวงทั้งหมด) เพิ่มขึ้น (Figure 3)

ด้วยผลกระทบของการแก่งแย่งจากข้าววัชพืช ต่อการเจริญเติบโตและการสร้างเมล็ดของข้าวปลูก ผ่นวกกับการสูญเสียจากเมล็ดข้าววัชพืชที่ไถ่ร่วงหล่นไปก่อนการเก็บเกี่ยว (Maneechote *et al.*, 2004; Ziska *et al.*, 2015) ในบางครั้งผลผลิตข้าวอาจสูญเสียไปทั้งหมดที่อัตราการระบาดเพียงร้อยละ 30 เมื่อข้าววัชพืชต้นสูงโคนล้มทับต้นข้าวปลูกก่อนหรือระหว่างช่วงสร้างเมล็ด ข้อได้เปรียบของข้าววัชพืชในการแข่งขันกับข้าวปลูก อาจเกิดจากความสามารถดูดซับธาตุอาหารที่สูงกว่า (Estorninos *et al.*, 2002; Jindalouang *et al.*, 2018) ตัวอย่างเช่นในสหรัฐอเมริกาข้าวแดงชนิดเปลือกสีฟางสามารถดูดซับธาตุไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าข้าวพันธุ์ Drew (Burgos *et al.* 2006) ทั้งนี้ ผลกระทบของข้าววัชพืชต่อผลผลิตข้าวปลูกมักแตกต่างกันตามพันธุ์ข้าวและสายพันธุ์ข้าววัชพืช (Burgos *et al.*, 2006; Estorninos *et al.*, 2005; Jindalouang *et al.*, 2018; Kwon *et al.*, 1991).

2. ผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ด

คุณภาพข้าวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการคัดเลือกข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์สมัยใหม่ (Prom-u-

thai and Rerkasem, 2020) ในการประเมินและคัดเลือกพันธุ์ในการปลูกข้าวทั้งเพื่อบริโภคและเชิงพาณิชย์ การยอมรับของผู้บริโภคต่อคุณภาพเมล็ดข้าวมักจะมี ความสำคัญกว่าผลผลิตหรือความต้านโรค เยื่อหุ้มเมล็ดที่มี สีแดงเป็นลักษณะจำเพาะของข้าวป่า ส่วนเยื่อหุ้มเมล็ด ที่ไม่มีสีเป็นลักษณะทางพันธุกรรมที่เกิดจากการกลายพันธุ์ ที่ถูกคัดเลือกในกระบวนการวิวัฒนาการสู่การเป็นข้าว ปลูก (Sweeney *et al.*, 2007) ข้าวแดงนับว่าเป็นสิ่ง ปนเปื้อนในข้าวกล้องและข้าวสาร โดยมาตรฐานคุณภาพ ข้าวในประเทศไทยกำหนดให้ มีข้าวแดงได้ไม่เกินร้อยละ 0.5 ในข้าวสารชั้นข้าวขาว 100 เปอร์เซ็นต์ และไม่เกิน ร้อยละ 1 ในข้าวกล้อง 100 เปอร์เซ็นต์ (Ministry of Commerce, 2016) สำหรับข้าวเปลือก ปริมาณข้าวแดง ที่ยอมรับได้มักขึ้นอยู่กับโรงสีที่ต้องคำนวณต้นทุนและผล กำไรจากการสีข้าวเปลือกให้เป็นข้าวสาร โดยการกำจัด ข้าวแดงด้วยการเพิ่มระยะเวลาการขัดสี หรือการคัดเมล็ด ข้าวแดงออกด้วยเครื่องคัดแยกด้วยแสง การเพิ่มเวลาขัด สีมีผลในการเพิ่มต้นทุนและลดผลผลิตการสีข้าว ตัวอย่างเช่น ในข้าวเมล็ดยาวเรียว การขัดสีข้าวกล้องให้

เป็นข้าวสารตามปกติ 30 วินาที ทำให้น้ำหนักลดลงร้อยละ 12 และลดลงเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 18 เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 45 วินาที และร้อยละ 26 หากทำการขัดสีนาน 1 นาที (Prom-u-thai *et al.*, 2007) นอกจากนี้ การขัดสีนานขึ้น ยังมีผลด้านราคาเพราะทำให้ได้ข้าวตันน้อยลง เมล็ดข้าว หักเป็นปลายข้าวมากขึ้น

ในทวีปอเมริการวมทั้งสหรัฐอเมริกา ข้าว วิจัยมักถูกเรียกว่า “ข้าวแดง” (Noldin, 2000) แต่ใน เอเชียตะวันออกเฉียงใต้นอกจากเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง ข้าววิจัยยังมีลักษณะอื่น ๆ ของข้าวป่าที่เห็นได้ชัดด้วย เช่น เมล็ดมีหาง ข้าวเปลือกมีสีดำหรือสีน้ำตาล และ ลักษณะคุณภาพเมล็ดที่ผิดแปลกไปจากข้าวปลูก (Figure 4) คุณภาพข้าวพันธุ์หลักจึงยังอาจเสื่อมถอยจากการปนเปื้อน ด้วยเมล็ดข้าววิจัยที่ดูคล้ายกับข้าวปลูกด้วยเยื่อหุ้มที่ไม่ มีสี แต่ยังมีลักษณะทางคุณภาพเมล็ดอื่นคลาดเคลื่อนไป จากข้าวพันธุ์หลัก ขนาดเมล็ดที่วัดด้วยความยาวและ ความกว้างเป็นลักษณะเฉพาะของข้าวแต่ละพันธุ์ (Khush and Virk, 2005; Thai Rice Knowledge Bank, 2025) ที่สามารถใช้เป็นเกณฑ์ประเมินความบริสุทธิ์ของพันธุ์ใน

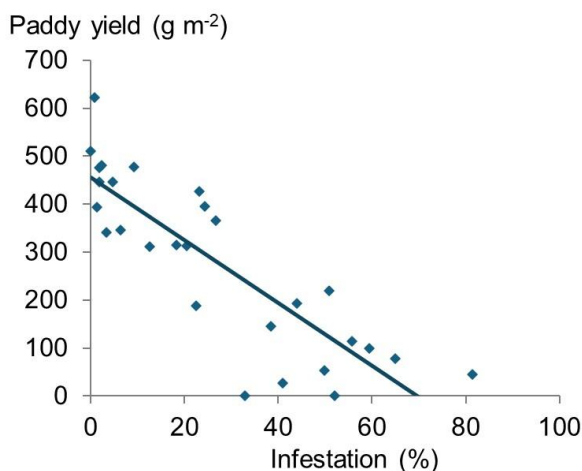


Figure 3. Correlation between paddy yield and weedy rice infestation in an intensive double rice cropping system at two neighboring villages of Samsib Harb and Koke Trabong in Kanchanaburi, Thailand in the early 2000s. The line is the linear regression [$y = -6.5x + 454.8$, $r = -0.85$ ($P < 0.001$)]. Source: redrawn with data from Maneechote *et al.* (2004) and Jamjod *et al.* (2005).

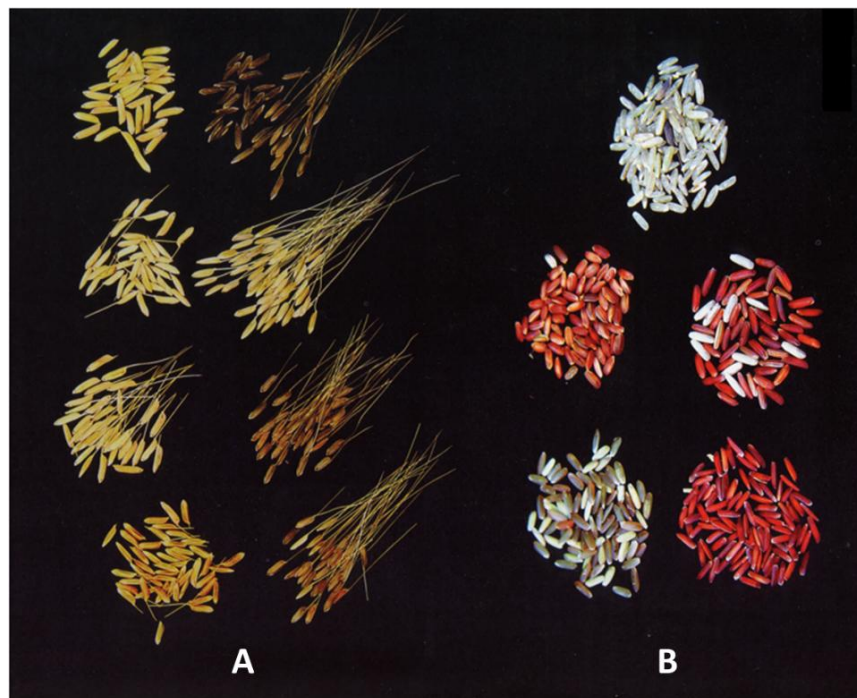


Figure 4. Weedy rice seed with hull, showing variation in hull coloring and awning (A), and without hull, showing variation in pericarp pigmentation and kernel size (B). Source: photo by Chanya Maneechote.

ตัวอย่างข้าวเปลือกได้ (International Rice Research Institute, 2023) ข้าววัชพืชในประเทศไทยส่วนใหญ่มีเมล็ดสั้นกว่าและเรียวน้อยกว่าข้าวพันธุ์หลัก (Prasertsak *et al.*, 2007) ประเทศไทยเป็นพื้นที่หนึ่งที่มีการควบคุมคุณภาพข้าวอย่างเคร่งครัดเริ่มตั้งแต่ในตลาดข้าวเปลือก ดังนั้นข้าวพันธุ์หลัก เช่น ขาวดอกมะลิ 105 กข6 และ กขอื่น ๆ จึงอาจถูกตัดราคาจากการมีเมล็ดไม่ถูกต้องตรงตามขนาดประจำพันธุ์ปะปนอยู่มากเกินไป

3. การเพิ่มต้นทุนการผลิต

การกำจัดควบคุมวัชพืชทำได้หลายวิธี ตั้งแต่การถอนหรือตัดต้นออกและการถางพรวนดิน ใช้สารกำจัดวัชพืช ปลุกด้วยเมล็ดสะอาด และปรับเปลี่ยนระบบการเพาะปลูกโดยการทิ้งช่วงการปลูกข้าวด้วยพืชไร่อื่น ตลอดจนการจัดการวัชพืชแบบผสมผสาน (Chauhan, 2013; Maneechote, 2009) ซึ่งมีผลในการเพิ่มต้นทุนการผลิตและลดผลผลิตแทบทั้งสิ้น การปลูกด้วยเมล็ดสะอาด การกำจัดวัชพืชก่อนระยะดอกบาน

(โดยการตัดออกทั้งต้นหรือลอบด้วยสารกำจัดวัชพืช) และทำความสะอาดเครื่องเกี่ยวระหว่างแปลง พบว่าล้วนแต่ให้ผลดีในการลดการระบาดของข้าววัชพืชในแปลงนาได้ (Maneechote *et al.*, 2005) อย่างไรก็ตามการกำจัดข้าววัชพืชต้นสูงออกจะส่งผลให้ประชากรข้าววัชพืชมีลักษณะคล้ายข้าวปลูกในแปลงมากขึ้น จากวิวัฒนาการที่ทำให้ต้นเตี้ยลง ลักษณะที่ได้รับการถ่ายทอดมาจากข้าวป่า เช่น เมล็ดที่มีระยะพักตัวและความสามารถงอกขึ้นมาจากใต้ดินได้ค่อนข้างลึก (Nadir *et al.*, 2017; Oard *et al.*, 2000 ; Prasertsak and Khongchoo, 2004) ทำให้ข้าววัชพืชสามารถมีชีวิตอยู่รอดในนาได้เป็นเวลายาวนาน

ในช่วงเวลาเพียงไม่กี่ทศวรรษของการทำนาสมัยใหม่ ข้าววัชพืชได้กลายเป็นวัชพืชสำคัญในพื้นที่นาทั่วประเทศไทย และ ก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจอย่างรุนแรง ทั้งจากการลดลงของผลผลิตข้าว การเสื่อมคุณภาพเมล็ดข้าว และต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น ข้าววัชพืชมีความสามารถในการอยู่รอดสูง สามารถกลับมาตั้งตัวได้

อย่างรวดเร็วแม้เหลือเพียงต้นเดียวหรือสองต้น หรือจาก คลังเมล็ดในดิน จึงจำเป็นต้องมีการเฝ้าระวังและควบคุม ใกล้เคียงอย่างต่อเนื่องเพื่อมิให้มันกลับมาระบาดได้อีก

สรุป

บทความปริทัศน์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ ปัจจัยทั้งหมดที่มีบทบาท ในการทำให้ข้าววัชพืชกลายเป็น พืชสำคัญ อย่างฉับพลัน และเพื่อชี้ให้เห็นบทบาทสำคัญของปฏิสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างข้าวปลูก ข้าวป่า และข้าววัชพืช ผลการวิเคราะห์ได้บ่งชี้ว่า ข้าววัชพืชจะเป็นพืชในท้องถิ่นของพื้นที่นาที่น้ำลึกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ควบคู่ไปกับบรรพบุรุษป่าของข้าววัชพืช คือข้าว ป่าสามัญ (*Oryza rufipogon*) มานานแล้ว ลักษณะไม่ ไวต่อช่วงแสง (photoperiod insensitivity) เป็นกุญแจ สำคัญที่สร้างความสำเร็จทางนิเวศวิทยาของข้าววัชพืช ให้ขยายออกไปทั่วเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เมื่อยืนความไม่ ไวต่อช่วงแสงจากข้าวพันธุ์สมัยใหม่ถูกถ่ายทอดเข้าสู่แหล่ง พันธุกรรมร่วมของข้าวปลูก ข้าวป่า และข้าววัชพืชใน ท้องถิ่น การสืบพันธุ์ของข้าววัชพืชจึงมิได้ถูกกำหนด ควบคุมโดยช่วงแสงเฉพาะถิ่นอีกต่อไป ทำให้ข้าววัชพืช ขยายการปรับตัวออกไปในพื้นที่นาสำคัญของประเทศ ทั้งนาข้าวและนาชลประทาน ขณะเดียวกันการเขต กรรมภายใต้เทคโนโลยีการทำนาสมัยใหม่ ตั้งแต่การ-เตรียมดิน การทำนาหว่านแทนการทำนาดำ การเก็บเกี่ยว และนวดข้าวด้วยรถเกี่ยว จนถึงการใช้สารกำจัดวัชพืช ล้วนมีส่วนส่งเสริมให้ข้าววัชพืชได้ระบาดเป็นวงกว้าง ออกไป โดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมในนาข้าวให้เอื้อต่อ ข้าววัชพืชมากขึ้น ให้ได้เปรียบในการแข่งขัน ขยาย ศักยภาพในการปรับตัว และเพิ่มประสิทธิภาพในการ-แพร่กระจาย

แม้การทำนาสมัยใหม่จะนำมาซึ่งประโยชน์ ทางสังคมและเศรษฐกิจอย่างมหาศาลต่อผู้คนในเอเชีย ตะวันออกเฉียงใต้ แต่ก็แลกมากับต้นทุนแฝงในรูปของ ความเสียหายผลิตผลการทำนาจากข้าววัชพืช ผลกระทบ ของลักษณะไม่ไวต่อช่วงแสงต่อการเพิ่มศักยภาพใน การปรับตัวและการแพร่กระจายของข้าววัชพืชภายใต้ ระบบการทำนาสมัยใหม่ รวมทั้งการที่ยืนต้นทนสาร

กำจัดวัชพืชถูกผนึกเข้าไปในประชากรข้าววัชพืชอย่าง รวดเร็ว เป็นเครื่องเตือนว่า ผลกระทบจากการปรับปรุง พันธุ์ข้าวด้วยพันธุวิศวกรรมไม่ควรถูกมองอย่างผิวเผินหรือ คำนวณจากผลได้ระยะสั้นเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะใน ภูมิภาคที่มี *O. rufipogon* และ *O. sativa* f. *spontanea* เป็นพืชประจำถิ่น เช่น เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวล้านนา และคณะ เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการสนับสนุนการ ดำเนินการโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

- Azmi, M., M.Z. Abdullah, B. Mislamah and B.B. Baki. 2000. Management of weedy rice (*Oryza sativa* L.): the Malaysian experience. pp. 91-96. In: B.B. Baki, D.V. Chin and M. Mortimer (eds) Wild and Weedy Rice in Rice Ecosystems in Asia – A Review, International Rice Research Institute, Los Baños.
- Azmi, M. and M. Mashhor. 1994. Weed succession over several seasons of direct seeded rice in Seberang Perai, Malaysia. pp. 221-224. In: A. Rajan and Y. Ibrahim (eds.). Proceedings of Plant Protection in the Tropics. Malaysia Plant Protection Society, Kuala Lumpur.
- Appa Rao, S., C. Bounphanousay, J.M. Schiller and M.T. Jackson. 2002. Collection, classification, and conservation of cultivated and wild rices of the Lao PDR. Genetic Resource and Crop Evolution 49: 75-81.
- Bakar, B.B., M.A. Bakar and A.B. Man. 2000. Weedy rice (*Oryza sativa* L.) in Peninsular

- Malaysia. pp. 51-54. *In*: B.B. Baki, D.V. Chin and M. Mortimer (eds) Wild and Weedy Rice in Rice Ecosystems in Asia – a review, International Rice Research Institute, Los Baños.
- Barrett, S.H. 1983. Crop mimicry in weeds. *Economic Botany* 37(3): 255-282.
- Brennan, J.P. and A. Malabayabas. 2011. International Rice Research Institute's contribution to rice varietal yield improvement in South-East Asia. *ACIAR Impact Assessment Series Report No. 74*. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. 114 p.
- Burgos, N.R., R.J. Norman, D.R. Gealy and H. Black. 2006. Competitive N uptake between rice and weedy rice. *Field Crops Research* 99(2-3): 96-105.
- Burgos, N.R., V. Singh, T.M. Tseng, H. Black, N.D. Young, Z. Huang, K.E. Hyma, D.R. Gealy and A.L. Caicedo. 2014. The impact of herbicide-resistant rice technology on phenotypic diversity and population structure of United States weedy rice. *Plant Physiology* 166(3): 1208-1220.
- Chang, T.T. 1976. The origin, evolution, cultivation, dissemination, and diversification of Asian and African rices. *Euphytica* 25: 425-441.
- Chatuporn, S., A. Prasertsak and A. Intrman. 2006. Integrate management of red rice in wet-seeded rice production. *Thai Agricultural Research Journal* 24(1): 83-96.
- Chauhan, B.S. 2013. Management Strategies for Weedy Rice in Asia. International Rice Research Institute, Los Baños. 24 p.
- Chauhan, B.S., O.S. Namuco, L.O.L. Ocampo, T.N. Son, T.A. Thu, N.N. Nam, L.N. Phuong and A.A. Bajwa. 2015. Weedy rice (*Oryza sativa* f. *spontanea*) problems and management in wet direct-seeded rice (*O. sativa* L.) in the Mekong Delta of Vietnam. *Crop Protection* 78: 40-47.
- Chen, L.J., D.S. Lee, Z.P. Song, K.S. Suh and B.R. Lu. 2004. Gene flow from cultivated rice to its weedy and wild relatives. *Annals of Botany* 93(1): 67-73.
- Chhun, S., V. Kumar, J.M. Martin, P. Srean and B.A.R. Hadi. 2020. Weed management practices of smallholder rice farmers in Northwest Cambodia. *Crop Protection* 135(2): 104793, doi: 10.1016/j.cropro.2019.04.017.
- Chitrakon, S., C. Vutiyano and P. Pusuwan. 1995. Geographical distribution, habitat conditions and character variations of wild rice in Thailand. *Thai Agricultural Research Journal* 13(2): 125-135. (in Thai)
- Constantin, M.J. 1960. Characteristics of red rice in Louisiana. Ph.D. Dissertation. Louisiana State University, Baton Rouge. 94 p.
- Cramb, R. 2020. The evolution of rice farming in the Lower Mekong Basin. pp. 3-34. *In*: R. Cramb (ed.). *White Gold: the Commercialisation of Rice Farming in the Lower Mekong Basin*. Springer Nature, Singapore.
- Dilipkumar, M., N.R. Burgos, T.S. Chuah and S. Ismail. 2018. Cross-resistance to imazapic and imazapyr in a weedy rice (*Oryza sativa*) biotype found in Malaysia. *Planta Daninha* 36: e018182239, doi:10.1590/S0100-83582018360100058.
- Ellstrand, N.C., H.C. Prentice and J.F. Hancock. 1999. Gene flow and introgression from

- domesticated plants into their wild relatives. *Annual Review of Ecological Systems* 30: 539-563.
- Estorninos, Jr. L.E., D.R. Gealy, E.E. Gbur, R.E. Talbert and M.R. McClelland. 2005. Rice and red rice interference. II. Rice response to population densities of three red rice (*Oryza sativa*) ecotypes. *Weed Science* 53(5): 683-689.
- Estorninos, Jr. L.E., D.R. Gealy and R.E. Talbert. 2002. Growth response of rice (*Oryza sativa*) and red rice (*O. sativa*) in a replacement series study. *Weed Technol* 16(2): 401-406.
- Food and Agriculture Organization 2024. FAOSTAT. (Online). Available: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (March 6, 2024)
- Fukai, S., P. Xangsayasane, D. Manikham and J. Mitchell. 2019. Research strategies for mechanised production of rice in transition from subsistence to commercial agriculture: a case study from Khammouan in Lao PDR. *Plant Production Science* 22(1): 1-11.
- Gao, P., Z. Zhang, G. Sun, H. Yu and S. Qiang. 2018. The within-field and between-field dispersal of weedy rice by combine harvesters. *Agronomy for Sustainable Development* 38: 55 doi: 10.1007/s13593-018-0518-2.
- Gressel, J., and B.E. Valverde. 2009. A strategy to provide long-term control of weedy rice while mitigating herbicide resistance transgene flow, and its potential use for other crops with related weeds. *Pest Management Science* 65(7): 723-731.
- Haefele, S., and M. Gummert. 2016. Trajectories in lowland rice-based cropping systems in mainland Southeast Asia. pp. 73-109. *In*: R.A. Cramb, G.D. Gray, S.M. Gummert, R.D.B. Lefroy, R.A. Newby, W. Stur and P. Warr (eds.). *Trajectories of Rice-based Farming Systems in Mainland Southeast Asia*. ACIAR Monograph MN177. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- Hardke, J., K. Moldenhauer, X. Sha. 2018. Rice cultivars and seed production. pp.21-28. Chapter 3: Rice cultivars and seed production. *In*: J.T. Hardke (ed.). *Arkansas Rice Production Handbook*. Cooperative Extension Service, University of Arkansas, Fayetteville.
- International Rice Research Institute. 2023. Measuring varietal purity. Rice Knowledge Bank. (Online). Available: <http://www.knowledgebank.iri.org/training/fact-sheets/postharvest-management/rice-quality-fact-sheet-category/measuring-varietal-purity-fact-sheet> (March 15, 2023).
- Jamjod, S., C. Maneechote and B. Rerkasem. 2005. Role of gene flow on invasion of weedy rice. pp. 63-71. *In*: C. Maneechote and S. Jamjod (eds.). *Proceedings of Weedy Rice Symposium*, Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)
- Jindalouang, R., C. Maneechote, C. Prom-u-thai, B. Rerkasem and S. Jamjod. 2018. Growth and nutrients competition between weedy rice and crop rice in a replacement series study. *International*

- Journal of Agriculture and Biology 20: 784-790.
- Kanapeckas, K.L., C.C. Vigueira, A. Ortiz, K.A. Gettler, N.R. Burgos, A.J. Fischer and A.L. Lawton-Rauh. 2016. Escape to ferality: the endoferal weedy rice from crop rice through de-domestication. Plos One 11(9): e0162676, doi: 10.1371/journal.pone.0162676.
- Khumto, S., T. Pusadee, K.M. Olsen and S. Jamjod. 2017 . Genetic relationships between anther and stigma traits revealed by QTL analysis in two rice advanced-generation backcross populations. Euphytica 214: 5, doi: 10.1007/s10681-017-2091-1.
- Khush, G.S. 1997. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. Plant Molecular Biology 35(1-2): 25-34.
- Khush, G.S. and P.S. Virk. 2005. IR Varieties and their Impact. International Rice Research Institute, Los Baños. 163 p.
- Konchan, S. and Y. Kono. 1996. Spread of direct seeded lowland rice in Northeast Thailand: farmers' adaptation to economic growth. Journal of Southeast Asian Studies 33(4): 523-546.
- Kuroda, Y., S. Appa Rao, C. Bounphanousay, K. Kongphanh, A. Iwata, K. Tanaka and Y.I. Sato. 2006. Diversity of wild and weedy rice in Laos. pp. 215-234. In: J.M. Schiller, M.B. Chanphengxay, B. Linquist and S. Appa Rao (eds.). Rice in Laos. International Rice Research Institute, Los Baños.
- Kuroda, Y., Y.I. Sato, C. Bounphanousay, Y. Komo and K. Tanaka. 2005. Gene flow from cultivated rice (*Oryza sativa* L.) to wild *Oryza* species (*O. rufipogon* Griff. And *O. nivara* Sharma and Shastry) on the Vientiane plain of Laos. Euphytica 142(1): 75-83.
- Kwon, S.L., Jr. R.J. Smith and R.E. Talbert, R.E. 1991. Interference of red rice (*Oryza sativa*) densities in rice (*O. sativa*). Weed Science 39(2): 169-174.
- Langevin, S.A., C. Clay and J.B. Grace 1990. The incidence and effects of hybridization between cultivated rice and its related weed red rice (*Oryza sativa* L.). Evolution 44(4): 1000-1008, doi.org/10.2307/2409561.
- Li, L.F., T. Pusadee, M.J. Wedger, Y.L. Li, M.R. Li, Y.L. Lau, S.J. Yap, S. Jamjod, B. Rerkasem, Y. Hao, B.K. Song. and K.M. Olsen. 2024. Porous borders at the wild-crop interface promote weed adaptation in Southeast Asia. Nature Communications 15: 1182, doi: 10.1038/s41467-024-45447-0.
- Maneechote, C. 2009. Weedy rice, problem and solutions. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. 29 p. (in Thai)
- Maneechote, C. and S. Jamjod. 2005. Current situation of weedy rice in Thailand. pp. 1-14. In: C. Maneechote and S. Jamjod (eds.). Proceedings of Weedy Rice Symposium, Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)
- Maneechote, C., S. Jamjod and B. Rerkasem. 2004. Invasion of weedy rice in rice fields in Thailand: problems and management. International Rice Research Notes 29(2): 20-22.

- Maneechote, C., S. Samanwong, S. Jamjod, A. Paokrueng, B. Rerkasem and K. Rerkasem. 2005. Integrated management of weedy rice. pp.115-128. *In*: C. Maneechote and S. Jamjod (eds.). Proceedings of Weedy Rice Symposium, Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)
- Marambe, B. and L. Amarasinghe. 2000. Weedy rice in Sri Lanka. pp. 79-82. *In*: B.B. Baki, D.V. Chin and M. Mortimer (eds.). Wild and Weedy Rice in Rice Ecosystems in Asia – A Review. International Rice Research Institute, Los Baños.
- McElroy, J.S. 2014. Vavilovian mimicry: Nikolai Vavilov and his little-known impact on weed science. *Weed Science* 62(2): 207-216, doi: 10.1614/WS-D-13-00122.1.
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2014. Agricultural product standard: good agricultural practices for rice seed. Royal Gazette 131 (special 200e). (Online). Available: <https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2557/E/200/6.PDF> (June 24, 2024) (in Thai)
- Morishima, H., Y. Sano and H.I. Oka. 1980. Observations on wild and cultivated rices and companion weeds in the hilly areas in Nepal, India and Thailand. Report of study-tour of tropical Asia, 1979. Report of the National Institute of Genetics, Misima. 82 p.
- Morishima, H., Y. Shimamoto, Y. Sano and Y.I. Sato. 1984. Observations on wild and cultivated rices In Thailand, for ecological-genetic study. Report of study-tour in 1983. Report of the National Institute of Genetics, Misima. 97 p.
- Nadir, S., H.B. Xiong, Q. Zhu, X.L. Zhang, H.Y. Xu, J. Li, W. Dongchen, D. Henry, X.Q. Guo, S. Khan, H. Suh, D.S. Lee and L.J. Chen. 2017. Weedy rice in sustainable rice production. *Agronomy for Sustainable Development* 37(5): 46, doi:10.1007/s13593-017-0456-4.
- Napasintuwong, O. 2018. Rice seed system in Thailand. Agricultural and Resource Economics (ARE) Working Paper #2561/2. Faculty of Economics, Kasetsart University, Bangkok. 12 p.
- Neik, T.X., J.Y. Chai, S.Y. Tan, M.P.S. Sudo, Y. Cui, J. Jayaraj, S.S. Teo, K.M. Olsen and B.K. Song. 2019. When west meets east: the origins and spread of weedy rice between continental and island Southeast Asia. *Genes Genomes Genetics* 9(9): 2941-2950.
- Niang, T.A.A., A.J. Kingsbury, A. Buerkert and M.R. Finckh. 2008. A survey of Myanmar rice production and constraints. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* 109(2): 151-168.
- Niruntrayakul, S., B. Rerkasem and S. Jamjod. 2009. Crossability between cultivated rice (*Oryza sativa*) and common wild rice (*O. rufipogon*) and characterization of F₁ and F₂ populations. *Science Asia* 35(2): 161-169.
- Noldin, J.A. 2000. Red rice status and management in the Americas. pp. 20-24. *In*: B.B. Baki, D.V. Chin and M. Mortimer. (eds.). Wild and Weedy Rice in Rice Ecosystems in Asia – a review.

- International Rice Research Institute, Los Baños.
- Oard, J., M.A. Cohn, S. Linscombe, D. Gealy and K. Gravois. 2000. Field evaluation of seed production, shattering, and dormancy in hybrid populations of transgenic rice (*Oryza sativa*) and the weed, red rice (*Oryza sativa*). *Plant Science* 157(1): 13-22.
- Oka, H.I. 1988. Origin of Cultivated Rice. Japan Scientific Societies Press, Tokyo. 254 p.
- Olsen, K.M., A.L. Caicedo and Y. Jia. 2007. Evolutionary genomics of weedy rice in the USA. *Journal of Integrated Plant Biology* 49(6): 81-816.
- Pingali, P.L. 2012. Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 109(31): 12302-12308.
- Pinstrup-Andersen, P. and P.B.R. Hazell. 1985. The impact of the green revolution and prospects for the future. *Food Reviews International* 1(1): doi: 10.1080/87559128509540765.
- Prasertsak, A. and A. Kongchoo. 2004. Waterlogging effects on survival of rice and some red rice seed. *Thai Agricultural Research Journal* 22(3): 188-204. (in Thai)
- Prasertsak, A., A. Kongchoo, S. Tangwisuthichit, S. Chatuporn, A. Inman, C. Nuankaew, O. Wongkasem, P. Kenleum and P. Jutamat. 2007. Collection and database management of red weedy rice characteristics. *Thai Agricultural Research Journal* 25(1): 18-30. (in Thai)
- Prathepha, P. 2011. Microsatellite analysis of weedy rice (*Oryza sativa* f. *spontanea*) from Thailand and Lao PDR. *Australian Journal of Crop Science* 5(1): 49-54.
- Prom-u-Thai, C. and B. Rerkasem. 2020. Rice quality improvement. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 40:28, doi:10.1007/s13593-020-00633-4.
- Prom-u-thai, C., C. Sanchai, B. Rerkasem, S. Jamjod, S. Fukai, I.D. Godwin and L. Huang. 2007. The effect of grain morphology on degree of milling and iron loss in rice. *Cereal Chemistry* 84(4): 384-388.
- Puckridge, D.W., L. Chankasem, P. Vongsaroj, P. Thongbai and S. Chinawong. 1988. Effect of tillage and sowing methods on control of wild rice. pp. 593-598. *In: Proceedings of the 1987 International Deepwater Rice Workshop*. International Rice Research Institute, Manila.
- Pusadee, T., B. Rerkasem, S. Jamjod and B.A. Schaal. 2016. Life-history traits, and geographical divergence in wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) gene pool in Indochina Peninsula region. *Annals of Applied Biology* 168(1): 52-65.
- Pusadee, T., B.A. Schaal, B. Rerkasem and S. Jamjod. 2013. Population structure of *Oryza sativa* primary gene pool in Thailand. *Genetic Resource and Crop Evolution* 60: 335-353.
- Qui, J., L. Jia, D. Wu, X. Weng, L. Chen, J. Sun, M. Chen, L. Mao, B. Jiang, C. Ye, G.M. Turra, L. Guo, G. Ye, Q.H. Zhu, T. Imaizumi, B.K. Song, L. Scarabel, A. Merotto, K.M.

- Olsen and L. Fan. 2020. Diverse genetic mechanisms underlie worldwide convergent rice feralization. *Genome Biology* 21(1): 70, doi: 10.1186/s13059-020-01980-x.
- Rerkasem, K., W.R. Stern and N.A. Goodchild. 1980. Associated growth of wheat and annual ryegrass. 1. Effect of varying total density and proportion in mixtures of wheat and annual ryegrass. *Australian Journal of Agricultural Research* 31(4): 649-658.
- Saijuntha, W., Duenngai, K. and C. Tantrawatpan. 2013. Zoonotic echinostome infections in free-grazing ducks in Thailand. *Korean Journal of Parasitology* 51(6): 663-667.
- Singh, K., V. Kumar, Y.S. Saharawat, M. Gathala, J.K. Ladha and B.S. Chauhan. 2013. Weedy rice: an emerging threat for direct-seeded rice production systems in India. *Journal of Rice Research* 1(1): 106, doi: 10.4172/jrr.1000106.
- Sang, T. and S. Ge. 2007. Genetics and phylogenetics of rice domestication. *Current Opinion in Genetic Development* 17(6): 533-538.
- Sanitwongse, S. 1941. History of the Ministry of Agriculture. 2nd ed. A commemorative volume published on the occasion of the funeral rites of Major General Chao Phraya Wongsanupraphat, MR Sathan Sanitwongse. Sponpipatthanakorn Publishing, Pranakorn. 327 p. (in Thai)
- Sanitwongse, S. 1927. The Rice of Siam. A commemorative volume published on the occasion of the funeral rites of Major MR Suvabhan Sanitwongse. Sponpipatthanakorn Publishing, Pranakorn. 56 p.
- Schiller, J.M., A. Hatsadong and K. Dounsila. 2006. A history of rice in Laos. pp. 9-28. *In*: J.M. Schiller, M.B. Chanphengxay, B. Linquist and S. Appa Rao (eds.). *Rice in Laos*. International Rice Research Institute, Los Baños.
- Sinthukiew, T., A. Prommin, B. Rerkasem and S. Jamjod. 2005. Characterization of F₁ and F₂ between cultivated rice and common wild rice. pp. 25-33. *In*: C. Maneechote and S. Jamjod (eds.). *Proceedings of Weedy Rice Symposium*. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)
- Somkual, N., S. Jamjod and B. Rerkasem. 2005. Yield and yield component of F₁ hybrids between crop x wild rice and crop x weedy rice. pp. 145-149. *In*: C. Maneechote and S. Jamjod (eds.), *Proceedings of Weedy Rice Symposium*. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)
- Song, B.K., T.S. Chuah, S.M. Tam and K.M. Olsen. 2014. Malaysian weedy rice shows its true stripes: Wild *Oryza* and elite rice cultivars shape agricultural weed evolution in Southeast Asia. *Molecular Ecology* 23(20): 5003-5017.
- Song, Z., B. Li, J. Chen and B.R. Lu. 2005. Genetic diversity and conservation of common wild rice (*Oryza rufipogon*) in China. *Plant Species Biology* 20(2): 83-92.
- Song, Z.P., B.R. Lu, Y.G. Zhu and J.K. Chen. 2003. Gene flow from cultivated rice to the wild species *Oryza rufipogon* under experimental field conditions. *New Phytology* 157(3): 657-665.

- Sudianto, E., B.K. Song, T.X. Neik, N.E. Saldain, R.C. Scott and N.R. Burgos. 2013. Clearfield® rice: Its development, success, and key challenges on a global perspective. Crop Protection 49: 40-51.
- Suebpongsang, P., B. Ekasingh and R. Cramb. 2020. Commercialisation of rice farming in Northeast Thailand. pp. 39-67. In: R. Cramb (ed.). White Gold: The Commercialisation of Rice Farming in the Lower Mekong Basin. Springer Nature, Singapore.
- Sweeney, M.T., M.J. Thomson, Y.G. Cho, Y.J. Park, S.H. Williamson, C.D. Bustamante and S.R. McCouch. 2007. Global dissemination of a single mutation conferring white pericarp in rice. Plos Genetics 3(8): 1418-1424.
- Thepent, V. and A. Chamsing. 2009. Agricultural mechanization development in Thailand. Paper presented at the 5th Session of the Technical Committee of APCAE, 14-16 October 2009, Los Banos. 13 p.
- Ministry of Commerce. 2016. Thai jasmine rice as a standard product and the standard for Thai jasmine rice (Edition 3). Ministry of Commerce announcement. Royal Gazette 133(s 243d), p 5. (in Thai)
- Thai Rice Knowledge Bank. 2025. Rice varieties. Thailand Rice Knowledge Bank, Division of Rice Research and Development. (Online). Available: <http://www.ricethailand.go.th/rkb3/Varieties.htm> (March 9, 2025) (in Thai)
- Vergara, B.S. and T.T. Chang. 1985. The Flowering Response of the Rice Plant to Photoperiod. International Rice Research Institute, Los Baños. 67 p.
- Vigueira, P.A., K.M. Olsen, C.R. Wagner, Z.B. Chittick and C.C. Vigueira. 2020. Weedy rice from South Korea arose from two distinct de-domestication events. Frontiers in Agronomy 2: 602612, doi: 10.3389/fagro.2020.602612.
- Vigueira, C.C., X. Qi, B.K. Song, L.F. Li, A.L. Caicedo, Y. Jia and K.M. Olsen. 2019. Call of the wild rice: *Oryza rufipogon* shapes weedy rice evolution in Southeast Asia. Evolutionary Applications 12(1): 93-104.
- Vongsaroj, P. 1976. Wild rice at Prachinburi. Journal of Weed Science Society of Thailand 1(2): 20-23. (In Thai)
- Vongsaroj, P. 1993. Integrated management of paddy weeds in Thailand. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region. (Online) . Available: <http://www.agnet.org/library/eb/367a/> (Sep 5, 2024)
- Wang, H., F.G. Vieira, J.E. Crawford, C. Chu and R. Nielsen. 2017. Asian wild rice is a hybrid swarm with extensive gene flow and feralization from domesticated rice. Genome Research 27(6): 1029-1038.
- Watanabe, H., D.A. Vaughan and N. Tomooka. 2000. Weedy rice complexes: case studies from Malaysia, Vietnam, and Surinam. pp. 25-34. In: B.B. Baki, D.V. Chin and M. Mortimer (eds.). Wild and Weedy Rice in Rice Ecosystems in Asia – a review, International Rice Research Institute, Los Baños.
- Wattanasuntorn, P. 2015. Ecological risk assessment of pesticide residues in paddy field ecosystem in Chainat province: a case study of grazing ducks. National Institute of Development Administration, Bangkok. 168 p.

-
- Wongtamee, A., C. Maneechote, T. Pusadee, B. Rerkasem and S. Jamjod. 2017. The dynamics of spatial and temporal population genetic structure of weedy rice (*Oryza sativa* f. *spontanea* Baker). *Genetic Resource and Crop Evolution* 64: 23-39.
- Ye, C.Y., W. Tang, D. Wu, L. Jia, J. Qiu, M. Chen, L. Mao, F. Lin, H. Xu, X.Yu, Y. Lu, Y. Wang, K.M. Olsen, M.P. Timko and L. Fan. 2019. Genomic evidence of human selection on Vavilovian mimicry. *Nature Ecology and Evolution* 3(10): 1474-1482.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute, Los Baños. 269 p.
- Zhang, Z., P. Gao, W. Dai, X. Song, F. Hu and S. Qiang. 2019. Effect of tillage and burial depth and density of seed on viability and seedling emergence of weedy rice. *Journal of Integrated Agriculture* 18(8): 1914-1923.
- Zhang, W., S.D. Linscombe, E. Webster, S. Tan and J. Oard. 2006. Risk assessment of the transfer of imazethapyr herbicide tolerance from Clearfield rice to red rice (*Oryza sativa*). *Euphytica* 152: 75-86.
- Ziska, L.H., D.R. Gealy, N. Burgos, A.L. Caicedo, J. Gressel, A.L. Lawton-Rauh, L.S. Avila, G. Theisen, J. Norsworth, A. Ferrero, F. Vidotto, D.E. Johnson, F.G. Ferreira, E. Marchesan, V. Menezes, M.A. Cohn, S. Linscombe, L. Carmona, R. Tang and A. Merotto. 2015. Chapter three - weedy (red) rice: an emerging constraint to global rice production. *Advances in Agronomy* 129: 181-228.
-

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ (ต่อ)

- 1.6 กรณีผู้แต่งเดียวกัน แต่ปีพิมพ์ต่างกัน ให้เรียงลำดับตามปีพิมพ์
- ตัวอย่าง (Tangtaweewipat et al. 2009; Tangtaweewipat et al. 2018)
- 1.7 กรณีอ้างอิงเป็นภาษาอื่น เช่น ภาษาไทย ต้องแปลเป็นภาษาอังกฤษ และเขียน ปีพ.ศ. เป็นปี ค.ศ.
- 1.8 กรณีเป็นหน่วยงาน ได้แก่ หน่วยงานราชการ สมาคม สถาบัน สำนักงาน ฯลฯ ให้ใช้ชื่อหน่วยงานเต็มในการอ้างอิงทั้งบทความ ตัวอย่าง (Department of Agricultural Extension, 1995)...
- 1.9 กรณีมีผู้แต่งที่ทั้งบุคคลและเป็นหน่วยงาน ให้ใส่ชื่อผู้แต่งตามด้วยหน่วยงาน และใช้ (๖) ค้นคว้าชื่อผู้แต่งและหน่วยงาน

2. การเขียนเอกสารอ้างอิง มีรูปแบบการเขียนมีดังนี้

วารสาร (Journals) อ้างอิงวารสารที่มีความทันสมัยและเป็นปัจจุบันมากที่สุด

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

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.

ในกรณีที่เป็นการวารสารออนไลน์ 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.

เรื่องย่อในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องเขียน และมีบรรณาธิการ

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

TH: Krainikh, 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. ชื่อเรื่องย่อ. 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: Shutsirung, 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. Rourmchaiapikun 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 พร้อมแนบบทฟอร์มนำเสนอบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร (<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmw/information/authors>) โดยนำเสนอผ่านทาง online เท่านั้น ที่ <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmw/index>

การพิจารณาบทความ

- 1) ต้นฉบับที่ไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับของวารสาร จะไม่ได้รับการพิจารณา
- 2) บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสาร 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://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmw/about/submissions>)

Journal of Agricultural Research and Communications

A Technical Journal of Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

Volume 42, Issue 2 May-August 2026

Effects of Nutrient-Enhanced Fermented Cassava Pulp on Feed Intake, Rumen Fermentation, Milk Production, and Blood Metabolites in Dairy Cows	
Chaiwat Arjin, Korawan Sringarm, Paramintra Vinitchaikul, Molarat Sangkate, Saowaluck Yammuen-Art, Patchara Tasuksai, Junlaphat Jaikanta, Kannika Puttaso, Nitthon Nantharuean and Patipan Hnokaew.....	69
Effects of Plasma Solution on Quality and Shelf Life of Longan Fruit	
Wattanawipa Sankon and Tanachai Pankasemsuk.....	85
Development and Quality of ‘R1’ Red Raspberry Fruit Grown at Pang Da Royal Agricultural Station, Chiang Mai Province	
Rawipon Taikhong.....	97
Prototype Development of Sorting System for Coffee Cherries Using Computer Vision	
Rattapol Pornprasit, Phongprapan Kantakaew, Kitiyaporn Takam and Wassanai Wattanutchariya.....	111
Review Article:	
Where did Weedy Rice Come from?	
Benjavan Rerkasem, Sansanee Jamjod, Chanya Maneechote and Tonapha Pusadee.....	123