



วารสารเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURE

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 39 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2566

การผลิตเอนไซม์และฤทธิ์ต้านเชื้อราของแบคทีเรียปฏิบัณช์ <i>Streptomyces cavourensis</i> BUU135	
อภิญญา บุญเขียน วิทวัส แจ้งเอี่ยม โยธิน ดีโรสง และ มารุต ตั้งวัฒนาศุสิพร.....	117
ผลของสารสกัดสารร่ายทะเลสีน้ำตาลร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเติบโตของผักคะน้า	
จันทนิภา มะณีมา สุทิดา ชัยกุล และ หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์.....	129
ผลของการเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านต่อปริมาณการกินได้	
การย่อยได้ของโภชนะ ผลผลิต และองค์ประกอบของนํ้ามนในโคให้นม	
ดวงฤทัย สวรรค์ทอง วุฒิกกร สระแก้ว สุกัญญา พูลทจิตร อติชาติ ทองนํ้า และ ชลลอง วชิราภากร.....	141
การตอบสนองของข้าวต่อการใช้ปุ๋ยซิลิคอนและผลต่อความเป็นประโยชน์	
ของซิลิคอนในดินพระนครศรีอยุธยา ประเทศไทย	
สายชล สุขญาณกิจ โสภิดา สุขญาณกิจ มัชฌิมา พันธุ์เอี่ยม และ ธนวรรณ พาณิพัฒน์.....	155
การเปรียบเทียบเทคนิควิธีเบิลสเปกโทรสโกปีและอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี	
เพื่อวัดความเป็นประโยชน์ของซิลิคอนในดินปลูกอ้อยที่เป็นดินเหนียว	
กรรณา พุ่มทรง เสาวนุช ถาวรพฤษ และ วรชาติ วิศวพิพัฒน์.....	169
การตรวจสอบอาการเนื้อโพรงในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง	
ด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	
จุฑามาส สงวนทรัพย์ พิมพ์ใจ สีหะนาม ฉันทลักษณ์ ดิยายน สมศักดิ์ ธรรมโชติ และ พลกฤษณ์ มณีวระ.....	183
ผลของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารต่อการเติบโตและ	
คุณภาพดอกของทิวลิปที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์	
วีระศักดิ์ วิษาเป้ง ชัยอาทิตย์ อินคำ กนกวรรณ ปัญจะมา และ ไสระยา ร่วมรังษี.....	197
ผลของการตัดแต่งกิ่งต่อการเติบโตด้านทรงพุ่มและผลผลิตของมะเดื่อฝรั่งพันธุ์แบล็คแจ๊ค	
กฤษณรัฐ พิมพ์ลา ประธาน เรียงลาด และ ศิวดล แจ่มจำรัส.....	209
การผลิตไวน์เหลืองจากสับปะรดผสมน้ำสกัดเห็ดถังเช่าสีทอง	
ณัฐพงษ์ สิงห์ภูงา และ รัตนะ ยศเมธากุล.....	219
ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของ	
เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง ตำบลปอแดง อำเภอนบพ จังหวัดขอนแก่น	
ปวันรัตน์ หวานนอก และ ปิยานนทน์ หาพุทธา.....	233

ISSN 0857-0841

TCI กลุ่มที่ 1

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

เรื่องที่ตีพิมพ์

1. เป็นบทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการทางด้านเกษตรศาสตร์ และสาขาที่เกี่ยวข้อง
2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

การเตรียมต้นฉบับ

1. ภาษา เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ

ต้นฉบับบทความภาษาอังกฤษโปรดแนบเอกสารรับรองการพิสูจน์อักษรโดยเจ้าของภาษาหรือสถาบันภาษา (Proofreading by Native English Speaker or English Institute)

2. การพิมพ์

- 1) พิมพ์หน้าเดียวบนกระดาษขนาด A4 พิมพ์แนวตั้ง (portrait orientation) ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์ เวิร์ด (Microsoft Word for Windows) ตัวอักษรใช้ Cordia New โดยทั่วไปใช้ระยะบรรทัดปกติคือ 1 เท่า หรือ Single กำหนดระยะขอบทั้ง 4 ด้าน 1 นิ้ว (2.5 เซนติเมตร) ความยาวต้นฉบับไม่เกิน 10 - 12 หน้า (รวมเอกสารอ้างอิง)
- 2) ชื่อเรื่องให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 18 points พิมพ์ตัวหนา (bold) และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ สำหรับชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ กำหนดให้อักษรตัวแรกของคำให้พิมพ์ด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ (capital letter)
- 3) ชื่อผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 15 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
- 4) ที่อยู่และที่อยู่อิเล็กทรอนิกส์ของผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 12 points พิมพ์ตัวเอียงธรรมดา (normal italic) และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
- 5) บทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 points พิมพ์ตัวธรรมดา (normal) ยกเว้นเฉพาะคำ บทคัดย่อ และ Abstract ให้พิมพ์ตัวหนา และจัดชิดซ้าย
- 6) เนื้อหาให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 points พิมพ์ตัวธรรมดา (normal)
- 7) หัวข้อหลัก ได้แก่ คำนำ อุปกรณ์และวิธีการ ผลการทดลองและวิจารณ์ สรุปเอกสารอ้างอิง ให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
- 8) หัวข้อย่อย ให้พิมพ์ตัวหนาและจัดชิดซ้าย
- 9) คำอธิบายตารางและภาพให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 points พิมพ์ตัวหนา โดยคำอธิบายตารางให้พิมพ์เนื้อหาตารางและจัดชิดซ้าย ส่วนคำอธิบายภาพให้พิมพ์ได้ภาพและจัดกึ่งกลางหน้า และคำอธิบายตารางและภาพถ้ามีมากกว่าหนึ่งบรรทัดให้เริ่มต้นพิมพ์บรรทัดถัดมาตรงกับข้อความของบรรทัดแรก
- 10) หากมีชื่อวิทยาศาสตร์ปรากฏในบทความ ให้เขียนตามหลักเกณฑ์การเขียนชื่อวิทยาศาสตร์ ในครั้งแรกที่ปรากฏชื่อนี้ให้สะกดเต็ม เช่น *Meloidogyne incognita* และหลังจากนั้นถ้ามีการระบุชื่อนี้ซ้ำให้ย่อชื่อสกุล โดยเขียนเป็น *M. incognita*
- 11) คำว่า *et al.* และ *P* (P-value) ให้พิมพ์เอน

ข้อแนะนำการใช้ภาษา

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

การเรียงลำดับหัวข้อ ให้เรียงตามลำดับดังนี้

1. ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น ชัดเจน และต้องสื่อเป้าหมายหลักของการศึกษาวิจัย ระบุชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาไทยให้พิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาอังกฤษให้พิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาอังกฤษก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาไทย
2. ชื่อผู้เขียน ใช้ชื่อผู้เขียนเต็มและระบุชื่อผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับไว้ที่ท้ายนามสกุลของผู้เขียนที่ติดต่อ (corresponding author)
3. ที่อยู่ หรือสังกัด ระบุที่อยู่หรือสังกัดทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หากที่อยู่หรือสังกัดมีหลายแห่ง ให้พิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่หรือสังกัดแห่งแรกก่อนแล้วตามด้วย

ภาษาอังกฤษ จากนั้นพิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่หรือสังกัดแห่งที่สองแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ ผู้เขียนมีหลายคนและมีที่อยู่หรือสังกัดแตกต่างกัน ให้ใช้เลขด้วยยก (superscript) ที่ต่างกัน กำกับไว้ที่ท้ายนามสกุลของผู้เขียนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ผู้เขียนคนเดียว หรือหลายคนแต่มีที่อยู่หรือสังกัดเดียวกัน ไม่ต้องใช้เลขด้วยยก (superscript) กำกับที่ท้ายนามสกุลของผู้เขียน ผู้เขียนเป็นนักศึกษา ให้ระบุที่อยู่หรือสังกัดตามหลักสูตรของนักศึกษา บรรทัดถัดจากที่อยู่ ให้พิมพ์ที่อยู่อีเมล (email address) ของผู้เขียนที่ติดต่อ (corresponding author)

4. บทคัดย่อ (Abstract) ควรเป็นเนื้อหาที่สั้น ชัดเจนและเข้าใจง่าย รวมเหตุผลในการศึกษาวิจัย อุปกรณ์วิธีการ 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) ให้อธิบายละเอียดของวัสดุเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ ในการทดลอง ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ และแบบจำลองการศึกษาวิจัยที่ชัดเจนและสมบูรณ์

- 5.3 ผลการทดลองและวิจารณ์ หรือ ผลการศึกษาและวิจารณ์ (Results and Discussion) ให้บรรยายผลการศึกษาวิจัย พร้อมเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางหรือภาพประกอบได้ โดยตารางหรือภาพ รวมทั้งคำอธิบายให้จัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ถ้ามีตารางหรือภาพในบทความ ให้อ้างตารางหรือภาพนั้นในเนื้อหาด้วยโดยใช้เป็นภาษาอังกฤษ เช่น Table หรือ Figure สำหรับกรณีวิจารณ์ ควรเชื่อมโยงกับผลการศึกษาว่าสอดคล้องกับสมมุติฐาน หรือแตกต่างจากผลงานวิจัยที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่อย่างไรและด้วยเหตุใด โดยมีพื้นฐานการอ้างอิงที่เชื่อถือได้

- 5.4 สรุป (Conclusion) เป็นการสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย อาจมีข้อเสนอแนะ หรือระบุอุปสรรคและแผนงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป

- 5.5 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) อาจมีหรือไม่ก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ช่วยเหลือในงานวิจัย แต่ไม่ได้เป็นผู้ร่วมงานวิจัย

- 5.6 เอกสารอ้างอิง (References) ให้เรียงเอกสารตามตัวอักษรอังกฤษ

หลักการอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง

สืบเนื่องจากวารสารเกษตรมีความประสงค์ที่จะพัฒนาคุณภาพวารสารเพื่อปรับเข้าสู่ฐานข้อมูล ACI (ASEAN Citation Index) ซึ่งมีข้อกำหนดในการจัดทำเอกสารอ้างอิง (reference) โดยต้องจัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ทั้งในเนื้อเรื่องและท้ายบทความ โดยหลักการอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง มีดังนี้

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

- 1.1 ผู้เขียนมี 1 คน ตัวอย่าง Kubo (2003) รายงานว่า.....หรือ.....(Kubo, 2003)
- 1.2 ผู้เขียนมี 2 คน ให้ใช้คำว่า and คั่นกลาง ตัวอย่าง Muthita and Kuanprasert (2004) รายงานว่า.....หรือ.....(Muthita and Kuanprasert, 2004)
- 1.3 ผู้เขียนมีมากกว่า 3 คน ให้ใช้ชื่อคนแรกและตามด้วยคำว่า *et al.* ตัวอย่าง Bukhari *et al.* (2011) รายงานว่า.....หรือ.....(Bukhari *et al.*, 2015)
- 1.4 กรณีมีหลายรายงานอ้างอิงในเรื่องเดียวกัน ให้เรียงลำดับตามตัวอักษรภาษาอังกฤษ และใช้เครื่องหมายอัฒภาค (;) คั่นกลาง ตัวอย่าง (Bukhari *et al.* (2011); Kubo (2003); Muthita and Kuanprasert (2004))

- 1.5 กรณีผู้แต่งเดียวกัน และปีพิมพ์เดียวกัน ให้เพิ่มตัวอักษร a b c ต่อท้ายปี ตัวอย่าง Tangtaweewipat *et al.* (2011a).....Tangtaweewipat *et al.* (2011b).....
- 1.6 กรณีผู้แต่งเดียวกัน แต่ปีพิมพ์ต่างกัน ให้เรียงลำดับตามปีพิมพ์ ตัวอย่าง (Tangtaweewipat *et al.* 2009; Tangtaweewipat *et al.* 2018)

(ดูคำแนะนำการเขียนเอกสารอ้างอิง การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ และการพิจารณาบทความได้ที่ปกหลังด้านใน)

วารสารเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURE

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 รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ	Consultants	Dean, Faculty of Agriculture; Associate Dean for Research and Academic Services
บรรณาธิการ	รศ.ดร. ณัฐา โพธาภรณ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editor	Nuttha Potapohn, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
รองบรรณาธิการ	ผศ.ดร. ชูชาติ สันธทรัพย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Vice Editor	Choochad Santasup, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
กองบรรณาธิการ ฝ่ายวิชาการ	ผศ.ดร. บุศรา ลิ่มนรินทร์กุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. จีรวรรณ กิจชัยเจริญ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รศ.ดร. ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. ต่อนภา ผุสดี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. ฉันทลักษณ์ ติยายอน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. พิมพ์ใจ สีหะนาม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. เยาวลักษณ์ จันทรียง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. อรุมา เรืองวงษ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.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., Assoc. Prof. Chiang Mai University Tonapa Pusadee, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Chantalak Tiyyon, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Pimjai Seehanam, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Yaowaluk Chanbang, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University On-Uma Ruangwong, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Saowaluck Yammuen-art, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Mintra Seel-audom, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Montri Sanwangsri, Ph.D. Chiang Mai University

รศ.ดร. พิษญา พูลลาภ
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. รุจ ศิริสุนทรลักษณ์
ข้าราชการเกษียณอายุ
รศ.ดร. ไสว บุรณพานิชพันธุ์
ข้าราชการเกษียณอายุ
ศ.ดร. จริญญา จันทลักขณา
ข้าราชการเกษียณอายุ
ศ. ญาณวิทย์ ดร. เมธาวรรณพัฒน์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร. อังศุมาลย์ จันทราปัติย์
ข้าราชการเกษียณอายุ
ศ.ดร. สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร
ข้าราชการเกษียณอายุ
ศ.ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รศ.ดร. เสวียน เปรมประสิทธิ์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร. วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ
ข้าราชการเกษียณอายุ
รศ.ดร. เพชรรัตน์ ธรรมเบญจพล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ. บำเพ็ญ เขียวหวาน
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช
รศ.ดร. เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน
ข้าราชการเกษียณอายุ
รศ.ดร. ธีรนุช เจริญกิจ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร. ปฎิภาณ สุทธิกุลบุตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร. เพ็ญพร เจนการกิจ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร. ไชยวรรณ วัฒนจันทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร. เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
กองบรรณาธิการ
ฝ่ายการจัดการ
นางลาลิตยา นุ่มมีศรี
นายมานพ เปี้ยพรรณ
นางสาววันวิสา บุตรอินทร์

Pichaya Poonlarp, Ph.D., Assoc. Prof.
Chiang Mai University
Ruth Sirisunyaluck, Ph.D., Assoc. Prof.
Retired government official
Sawai Buranapanichpan, Ph.D., Assoc. Prof.
Retired government official
Charan Chantalakhana, Ph.D., Prof.
Retired government official
Metha Wanapat, Ph.D., Prof.
Khon Kaen University
Angsumarn Chandrapatya, Ph.D., Prof.
Khon Kaen University
Suchila Techawongstien, D.Agr., Prof.
Retired government official
Tawadchai Suppadit, Ph.D., Prof.
National Institute of Development Administration
Savent Pampasit, Ph.D., Assoc. Prof.
Naresuan University
Weerathep Pongprasert, Ph.D., Assoc. Prof.
Retired government official
Petcharat Thummabenjapone, Ph.D., Assoc. Prof.
Khon Kaen University
Bumpen Keowan, M.S., Assoc. Prof.
Sukhothai Thammathirat Open University
Kriangsak Mengumphan, Ph.D., Assoc. Prof.
Retired government official
Theeranuch Jaroenkit, Ph.D., Assoc. Prof.
Maejo University
Pathipan Sutigoolabud, Ph.D., Assist. Prof.
Maejo University
Penporn Janekarnkij, Ph.D., Assist. Prof.
Kasetsart University
Chaiyawan Wattanachant, Ph.D., Assist. Prof.
Prince of Songkla University
Saowakon Wattanachant, Ph.D., Assist. Prof.
Prince of Songkla University
Editorial Board
(Management)
Lalitaya Nummisri
Manop Pearpun
Wanvisa Butin

บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน วารสารเกษตรฉบับนี้เป็นวารสารเกษตรปีที่ 39 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม 2566 ในฉบับนี้ประกอบด้วยบทความทางวิชาการที่มีต้นฉบับเป็นภาษาไทย จำนวน 8 เรื่อง ภาษาอังกฤษ จำนวน 2 เรื่อง ประกอบด้วย สาขาโรคพืช 1 เรื่อง สาขาเทคโนโลยีการเกษตร 1 เรื่อง สาขาสัตวศาสตร์ 1 เรื่อง สาขาปฐพีศาสตร์ 2 เรื่อง สาขาพืชสวน 3 เรื่อง สาขาการผลิตและนวัตกรรมการอาหาร 1 เรื่อง และส่งเสริมและเผยแพร่การเกษตร 1 เรื่อง

ทางวารสารเกษตร เปิดรับบทความวิชาการทางเกษตร วิทยาศาสตร์เกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง ผู้ที่สนใจส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารเกษตร สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/index> หรือสามารถติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่ E-mail : agjournal22@gmail.com ขอให้ทุกท่านรักษาสุขภาพ ส่งผลงานวิจัยมาตีพิมพ์กันนะคะ และพบกันฉบับหน้าค่ะ

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐา โพธารมณ์

บรรณาธิการวารสารเกษตร

การผลิตเอนไซม์และฤทธิ์ต้านเชื้อราของแบคทีเรียปฏิปักษ์

Streptomyces cavourensis BUU135

Enzyme Production and Antifungal Activity of Antagonistic Bacterium *Streptomyces cavourensis* BUU135

อภิญา บุญเทียน^{1,2} วิทวัส แจ้งเอี่ยม¹ โยธิน ดีโสง² และ มารุต ตั้งวัฒนาชูลีพร^{2*}
Apinya Bunkhean^{1,2}, Witawat Jangiam¹, Yothin Teethaisong² and Marut Tangwattanachuleeporn^{2*}

¹สาขาวิศวกรรมชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ. ชลบุรี 20131

¹Bioengineering Program, Faculty of Engineering, Burapha University, Chon Buri 20131, Thailand

²สาขาวิทยาศาสตร์การแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ. ชลบุรี 20131

²Medical Sciences Program, Faculty of Allied Health Sciences, Burapha University, Chon Buri 20131, Thailand

*Corresponding author: Email: marutt@go.buu.ac.th

(Received: 1 February 2023; Accepted: 25 April 2023)

Abstract: *Streptomyces* spp. can produce an excellent source of secondary metabolites including antibiotics. This study aimed to evaluate *Streptomyces cavourensis* BUU135's extracellular enzyme production and its anti-fungal activities using a dual culture assay. The *S. cavourensis* BUU135 was found capable of phosphate solubilizing and producing cellulase, amylase, urease, chitinase, protease, catalase and siderophore. Furthermore, *S. cavourensis* showed anti fungal activity against *Phytophthora palmivora*, *Fusarium decemcellulare* and *Lasiodiplodia theobromae* (percent of inhibitions of 44.3, 41.5 and 61.1, respectively). These results indicate that *S. cavourensis* is a great producer of secondary metabolites that act on other microorganisms especially fungi, exercising its role as biological control. *S. cavourensis* can effectively control various soilborne fungal diseases of plants.

Keywords: *Streptomyces cavourensis*, extracellular metabolites, anti-phytopathogenic fungal activity

บทคัดย่อ: *Streptomyces* spp. สามารถผลิตสารเมแทบอลิซึมทุติยภูมิและสารปฏิชีวนะหลายชนิด นำไปสู่วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อทดสอบความสามารถของ *Streptomyces cavourensis* BUU135 ในการผลิต extracellular enzyme และประเมินความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา จากผลการศึกษาพบว่า *S. cavourensis* สามารถละลายฟอสเฟต และผลิตเอนไซม์เซลลูเลส อะไมเลส ยูรีเอส โคติเนส โปรตีเอส แคทาเลส และไซเดอร์โฟฟอร์ได้ นอกจากนี้ *S. cavourensis* ยังสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราก่อโรคพืช ได้แก่ *Phytophthora palmivora*, *Fusarium decemcellulare* และ *Lasiodiplodia theobromae* (การยับยั้ง 44.3, 41.5 และ 61.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) จากผลการศึกษาเหล่านี้บ่งชี้ได้ว่า *S. cavourensis* เป็นผู้ผลิตสารเมแทบอลิซึมทุติยภูมิที่ออกฤทธิ์ต่อจุลินทรีย์ชนิดอื่น โดยเฉพาะเชื้อราได้เป็นอย่างดี และมีแนวโน้มในการใช้เพื่อควบคุมโรคพืชในดินได้หลากหลาย

คำสำคัญ: *Streptomyces cavourensis* สารเมแทบอลิซึมที่ผลิตสู่นอกเซลล์ ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราก่อโรคพืช

คำนำ

แบคทีเรียกลุ่ม *Streptomyces* spp. มีความสำคัญในการเป็นผู้ผลิตสารปฏิชีวนะ ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่น อย่างไรก็ตาม *Streptomyces* แต่ละสายพันธุ์สามารถสังเคราะห์สารประกอบ สารเมแทบอลิซึม และเอนไซม์ที่มีโครงสร้างทางเคมีได้หลากหลาย (Hwang *et al.*, 2014; Quinn *et al.*, 2020) กลไกการทำงานของสารออกฤทธิ์ยับยั้งมีประสิทธิภาพที่ต่างกันออกไป (Lacey and Rutledge, 2022; Le *et al.*, 2021)

Streptomyces spp. มีประสิทธิภาพในการใช้ควบคุมโรคพืช สามารถยับยั้งการงอกของเส้นใยและสปอร์เชื้อราก่อโรคพืช (Pacios-Michelena *et al.*, 2021) บางสายพันธุ์เจริญได้อย่างรวดเร็ว ทนทาน มีการสร้างสปอร์สามารถยึดครองพื้นที่ และแย่งใช้แหล่งคาร์บอนหรือหลีกเลี่ยงจากเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ดี (Ghanem *et al.*, 2022) โดย *Streptomyces* เพียงสายพันธุ์เดียวมีประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อราก่อโรคพืชได้มากกว่า 3 ชนิด (Kaur *et al.*, 2019) และยังเป็นแหล่งผลิตสารทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่สำคัญ อาทิ เอนไซม์ที่ส่งผลให้ฟอสเฟตอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ หรือสร้างเอนไซม์เซลลูเลส ตลอคเจนโปรตีเอส เป็นต้น (González *et al.*, 2022) โดยเฉพาะ *Streptomyces cavourensis* ได้รับการศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ (genome sequence) ซึ่ง Nguyen *et al.* (2018) เผยว่า *S. cavourensis* YBQ59

ที่แยกได้จากรากของต้นอบเชย (*Cinnamomum cassia* Presl) ในประเทศเวียดนาม มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและเชื้อราได้ อาทิ bafilomycin D, nonactic acid, prelactone B และ 5,11-epoxy-10-cadinanol สำหรับรายงานการศึกษาในประเทศไทย Tangwattanachuleeporn *et al.* (2021) ได้ศึกษาอนุชีววิทยา ของ *S. cavourensis* BUU135 ซึ่งแยกได้จากดินในพื้นที่สวนผลไม้เขตร้อน จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย พบว่า มีหน้าที่เกี่ยวข้องต่อการผลิตสารปฏิชีวนะ อาทิ nebramycin 5' เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมุ่งศึกษาความสามารถในการสร้างเอนไซม์ออกสู่นอกเซลล์ (extracellular enzyme) และความสามารถในการต้านเชื้อรา (antifungal activity) ได้แก่ *Phytophthora palmivora*, *Fusarium decemcellulare* และ *Lasiodiplodia theobromae* ของเชื้อ *S. cavourensis* BUU135 ที่แยกได้จากดินในพื้นที่สวนผลไม้เขตร้อน จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย การศึกษาในครั้งนี้สามารถสนับสนุนการคัดเลือกสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ ที่มีคุณสมบัติในการสร้างสาร extracellular enzyme และสามารถควบคุมการเจริญของเชื้อราได้อย่างจำเพาะ เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ป้องกันหรือกำจัดโรคพืชทางการเกษตรได้ในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์ปฏิบั๊กซ์และเชื้อราก่อโรค

โคโลนีบริสุทธิ์ของเชื้อ *S. cavourensis* BUU135 (Tangwattanachuleeporn *et al.*, 2021) ได้รับการอนุเคราะห์จากคณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ซึ่งแยกได้จากดิน ในพื้นที่สวนผลไม้เขตร้อน จังหวัดจันทบุรี และนำไปกระตุ้นบนอาหาร International Streptomyces Project medium no. 2 (ISP2) ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน ก่อนนำไปศึกษาคุณสมบัติในการสร้างเอนไซม์ และความสามารถในการยับยั้งการเจริญของโรคพืชต่อไป (Singh *et al.*, 2006)

เชื้อราตัวแทนในการศึกษาค้างนี้ ได้แก่ *P. palmivora*, *F. decemcellulare* และ *L. theobromae* ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากคณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยแยกได้จากโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียน ในอำเภอแกลง จังหวัดระยอง จากนั้นเลี้ยงเชื้อราบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) เป็นระยะเวลา 7 วัน ก่อนนำไปทำการศึกษา

ศึกษาความสามารถในการละลายฟอสเฟต

นำชิ้นส่วนของเชื้อ *S. cavourensis* BUU135 ที่เจาะด้วย cork borer เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร วางลงบนอาหาร Pikovsakaya's agar (PVA) จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บ่มเป็นระยะเวลา 7 - 14 วัน หาก *S. cavourensis* สามารถละลายสารอนินทรีย์ฟอสเฟตได้ จะพบ clear zone รอบโคโลนีที่เชื้อเจริญ รายงานผลการทดสอบเป็น positive และหากไม่พบ clear zone รายงานผลเป็น negative ดำเนินการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ (Pragya *et al.*, 2012)

ศึกษาความสามารถในการสร้างเอนไซม์เซลลูเลส

นำชิ้นส่วนที่มีการเจริญของ *S. cavourensis* BUU135 ซึ่งเจาะด้วย cork borer เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร วางลงบนอาหาร carboxy methyl cellulose agar (CMC) จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บ่มเป็นระยะเวลา 7-14 วัน การอ่านผลใช้

Congo red visualization method โดยเตรียมสารละลาย Congo red เข้มข้น 1 มิลลิกรัม ต่อน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ 1 มิลลิลิตร จากนั้นหยดสารละลาย Congo red ลงบนผิวหน้าอาหารให้ทั่วจาน ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ล้างด้วยสารละลาย NaCl เข้มข้น 1 M นาน 15 นาที บริเวณที่เซลลูโลสถูกย่อยสลาย จะไม่ติดสี Congo red และปรากฏ clear zone รายงานผลการทดสอบเป็น positive และหากไม่พบ clear zone รายงานผลเป็น negative ดำเนินการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ (Pragya *et al.*, 2012)

ศึกษาความสามารถในการสร้างเอนไซม์อะไมเลส

นำชิ้นส่วนที่มีการเจริญของ *S. cavourensis* BUU135 ซึ่งเจาะด้วย cork borer เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร วางลงบนอาหาร starch agar จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 - 14 วัน การสร้างเอนไซม์อะไมเลสสังเกตได้จาก clear zone รอบโคโลนีเมื่อหยดสารละลายไอโอดีน รายงานผลการทดสอบเป็น positive และหากไม่พบ clear zone รายงานผลเป็น negative ดำเนินการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ (Kafilzadeh and Dehdari, 2015)

ศึกษาความสามารถในการสร้างเอนไซม์ยูรีเอส

นำชิ้นส่วนที่มีการเจริญของ *S. cavourensis* BUU135 ซึ่งเจาะด้วย cork borer เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร วางลงบนอาหาร urea base agar ที่เติม urea เข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7-14 วัน ความสามารถของเชื้อในการสร้างเอนไซม์ยูรีเอส สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของอาหารจากสีส้ม ไปเป็นสีชมพู รายงานผลการทดสอบเป็น positive และหากสีของอาหารไม่มีการเปลี่ยนแปลง รายงานผลเป็น negative ดำเนินการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ (Morou-Bermudez and Burne, 2000)

ศึกษาความสามารถในการสร้างเอนไซม์ไคไนเนส

นำชิ้นส่วนที่มีการเจริญของ *S. cavourensis* BUU135 ซึ่งเจาะด้วย cork borer เส้นผ่านศูนย์กลาง

0.6 เซนติเมตร วางลงบนอาหาร GYM Streptomyces medium ที่เติม colloidal chitin 1 เปอร์เซ็นต์ และ bromocresol purple 0.015 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารเท่ากับ 4.7 จากนั้นป้อนที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในที่ปราศจากแสง เป็นระยะเวลา 7-14 วัน หากเชื้อสามารถย่อยโคตินได้จะปรากฏวงสีม่วงรอบโคติน รายงานผลการทดสอบเป็น positive และหากสีของอาหารไม่มีการเปลี่ยนแปลง รายงานผลเป็น negative ดำเนินการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ (Agrawal and Kotasthane, 2012)

ศึกษาความสามารถในการสร้างเอนไซม์โปรติเอส

นำชิ้นวุ้นที่มีการเจริญของ *S. cavourensis* BUU135 ซึ่งเจาะด้วย cork borer เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร วางลงบนอาหาร skim milk agar จากนั้นป้อนที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในที่ปราศจากแสง เป็นระยะเวลา 7 - 14 วัน หากเชื้อสามารถย่อยโปรตีนได้จะปรากฏ clear zone รอบโคติน รายงานผลการทดสอบเป็น positive และหากไม่พบ clear zone รายงานผลเป็น negative ดำเนินการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ (Alnahdi, 2012)

ศึกษาความสามารถในการสร้างเอนไซม์แคตาเลส

ขีดเชื้อ *S. cavourensis* BUU135 บนอาหาร ISP2 ด้วยเทคนิค cross streak จากนั้นป้อนที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง หยดสารละลาย H_2O_2 เข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ หากเชื้อมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์แคตาเลส พบว่ามีฟองแก๊สเกิดขึ้นทันที รายงานผลการทดสอบเป็น positive และหากไม่มีการปรากฏของฟองแก๊ส รายงานผลเป็น negative ดำเนินการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ (Manullang and Chuang, 2020)

ศึกษาความสามารถในการสร้างสารไฮเดรอร์ฟอรั

นำชิ้นวุ้นที่มีการเจริญของ *S. cavourensis* BUU135 ซึ่งเจาะด้วย cork borer เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร วางลงบนอาหาร Chrome Azurol S (CAS) agar จากนั้นนำไปป้อนที่อุณหภูมิ 28 องศา-

เซลเซียส ในที่ปราศจากแสง เป็นระยะเวลา 7 - 14 วัน หากเชื้อมีการสร้างสารไฮเดรอร์ฟอรั จะเกิด clear zone สีลัมบริเวณรอบโคติน รายงานผลการทดสอบเป็น positive และหากไม่พบ clear zone สีลัม รายงานผลเป็น negative ดำเนินการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ (Sultana et al., 2021)

ศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. palmivora*, *F. decemcellulare* และ *L. theobromae*

ศึกษาแนวโน้มในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราก่อโรคด้วยวิธี dual culture บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA โดยทำการขีดเชื้อ *S. cavourensis* BUU135 ลงบนผิวหน้าอาหารด้านหนึ่งห่างจากขอบเพลท 2 เซนติเมตร นำไปป้อนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้ *S. cavourensis* BUU135 มีการปรับตัวและผลิตสารสำคัญ จากนั้นใช้ cork borer เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร ตัดบริเวณ hyphal tip ของเชื้อรา *P. palmivora*, *F. decemcellulare* และ *L. theobromae* ที่มีอายุ 7 วัน จากนั้นนำชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยวางอีกด้านของเพลท ห่างจากขอบเพลทเป็นระยะ 2 เซนติเมตร นำไปป้อนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน ชุดควบคุม คือ ชิ้นวุ้นของเชื้อราบริสุทธิ์ที่วางบนอาหาร PDA เท่านั้น ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ เมื่อชุดควบคุมเจริญเต็มเพลทอาหารเลี้ยงเชื้อ จึงทำการวัดขนาดรัศมีของโคลินของเชื้อร่าก่อโรคเพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (Ghanem et al., 2022)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากผลการศึกษาความสามารถของ *S. cavourensis* BUU135 ในการละลายฟอสเฟตเบื้องต้น เป็นระยะเวลา 14 วัน ปรากฏ clear zone รอบโคลินที่เชื้อเจริญ (Table 1, Figure 1a) เป็นผลมาจากการหุติยภูมิที่มีฤทธิ์เป็นกรดอินทรีย์ (organic acid) ชนิดต่าง ๆ อาทิ กรดออกซาลิก (oxalic acid) กรดมาลิก (malic acid) กรดกลูโคนิก (gluconic acid) กรดซิตริก (citric acid) กรดซัคซินิก (succinic acid) และเอนไซม์

ฟอสฟาเทส (phosphatase) เป็นต้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนรูปอนินทรีย์ฟอสเฟตซึ่งเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปไดและโมโนเบสิกฟอสเฟต (HPO_4^{2-} และ H_2PO_4^-) ที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ (Pradhan *et al.*, 2017)

สำหรับการทดสอบการสร้างเอนไซม์เซลลูเลสพบว่า บริเวณโดยรอบของเชื้อ *S. cavourensii* BUU135 ขณะเจริญบนอาหาร CMC agar เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ปรากฏ clear zone เมื่อตรวจด้วย Congo red visualization method (Table 1, Figure 1b) ซึ่งเกิดจากการสร้างเอนไซม์เซลลูเลสรวมไปถึงเอนไซม์อื่น ๆ เช่น β -1,4-endoglucanase, cellobiohydrolase และ β -glucosidase ทำให้เซลลูโลสถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลกลูโคส เป็นต้น (Wilson, 2009)

จากนั้นได้ศึกษาความสามารถในการสร้างเอนไซม์อะไมเลส เป็นระยะเวลา 7 วัน จึงตรวจวัดการย่อยสลายแป้งด้วยสารละลายไอโอดีน พบว่า มีการปรากฏของ clear zone บริเวณโดยรอบโคโลนี (Table 1, Figure 1c) กระบวนการย่อยแป้งให้มีโมเลกุลที่เล็กลงได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลกลูโคส เพื่อให้เชื้อสามารถนำไปใช้สร้างพลังงานแก่เซลล์ได้ (Nimisha *et al.*, 2019)

เมื่อศึกษาความสามารถในการสร้างเอนไซม์ยูเรียเอสพบว่า เชื้อ *S. cavourensii* BUU135 สามารถเปลี่ยนสีของอาหาร urea base agar ที่เติม urea เข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ ให้เป็นสีชมพูได้ ภายในระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยสีของอาหารจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพูจากบริเวณรอบโคโลนี จนกระทั่งกลายเป็นสีชมพูทั้งหมดภายในระยะเวลาการบ่ม 7 วัน (Table 1, Figure 1d)

จากการศึกษาคุณสมบัติในการสร้าง extracellular enzyme เหล่านี้ อาทิ การย่อยสลายเซลลูโลส การย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์อะไมเลส และการผลิตเอนไซม์ยูเรียเอส สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sheik *et al.* (2020) ซึ่งศึกษา *S. cavourensii* DW102 ให้ผลการทดสอบดังกล่าวเป็นบวกทั้งหมด

นอกจากนี้ การทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไคตินเนสเบื้องต้น พบว่า อาหารเลี้ยงเชื้อเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีม่วง โดยเริ่มจากบริเวณรอบโคโลนีจนกระทั่งเป็นสีม่วงทั่วทั้งเพลท (Table 1,

Figure 1e) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee *et al.* (2012) รายงานว่า *S. cavourensii* SY224 สามารถผลิต lytic enzymes อาทิ ไคตินเนส ได้มากกว่า 5 ยูนิตต่อมิลลิลิตรภายในระยะเวลา 9 วัน โดยมีการผลิตสูงสุดในวันที่ 3 เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหาร modified nutrient (MN) เติม 0.1 เปอร์เซ็นต์ไคติน นอกจากนี้ Malviya *et al.* (2018) รายงานว่า *S. cavourensii* NEA5 ที่แยกได้จากพื้นที่แปลงเกษตรที่มีการเผาไร่เลื่อนลอย ในประเทศอินเดีย มีการผลิตเอนไซม์ไคตินเนสสูงสุด 0.138 ± 0.006 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 6 และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเอนไซม์ไคตินเนสเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้ *S. cavourensii* NEA5 มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อราก่อโรค อาทิ *Rhizoctonia solani* และ *Cladosporium* sp. ได้ เนื่องจากไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่พบมากในธรรมชาติ รวมถึงเป็นองค์ประกอบหลักในโครงสร้างผนังเซลล์ของเชื้อรา

การทดสอบความสามารถในการสร้างเอนไซม์โปรติเอส พบว่า เมื่อเลี้ยง *S. cavourensii* BUU135 ลงบนอาหาร skim milk agar เป็นระยะเวลา 14 วัน เกิด clear zone บริเวณโดยรอบโคโลนี (Table 1, Figure 1f) แสดงถึงความสามารถของเชื้อในการย่อยสลายโปรตีน ซึ่งสอดคล้องกับวิจัยของ Sirikun and Thaochan (2018) รายงานว่าแอคติโนมัยซีส์จำนวน 8 ไอโซเลท ซึ่งแยกได้จากดินบริเวณรอบรากต้นพืชในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้แก่ PSUAc001, PSUAc009, PSUAc014, PSUAc015, PSUAc016, PSUAc017, PSUAc032 และ PSUAc034 สามารถสร้างเอนไซม์โปรติเอสภายในระยะเวลา 7 วัน โดยมีค่าดัชนีการสร้างเอนไซม์อยู่ระหว่าง 2.06 - 3.42 และสำหรับการทดสอบเอนไซม์แคตาเลส เมื่อหยดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงบนโคโลนีของ *S. cavourensii* BUU135 พบว่า เกิดฟองอากาศขึ้นในทันที (Table 1, Figure 1g) สามารถบ่งชี้ได้ว่าเชื้อมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์แคตาเลส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sheik *et al.* (2020) รายงานว่า *S. cavourensii* DW102 ที่แยกได้จากดินของประเทศซาอุดีอาระเบียมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์แคตาเลสเช่นเดียวกัน

Table 1. Test of extracellular enzyme production by *Streptomyces cavourensis* BUU135

Test	Substrate	Production
Phosphate solubilization	Tricalcium phosphate	Positive
Cellulase	Cellulose	Positive
Amylase	Starch	Positive
Urease	Urea	Positive
Chitinase	Chitin	Positive
Protease	Casein	Positive
Catalase	Hydrogen peroxide	Positive
Siderophore	Ferric iron	Positive

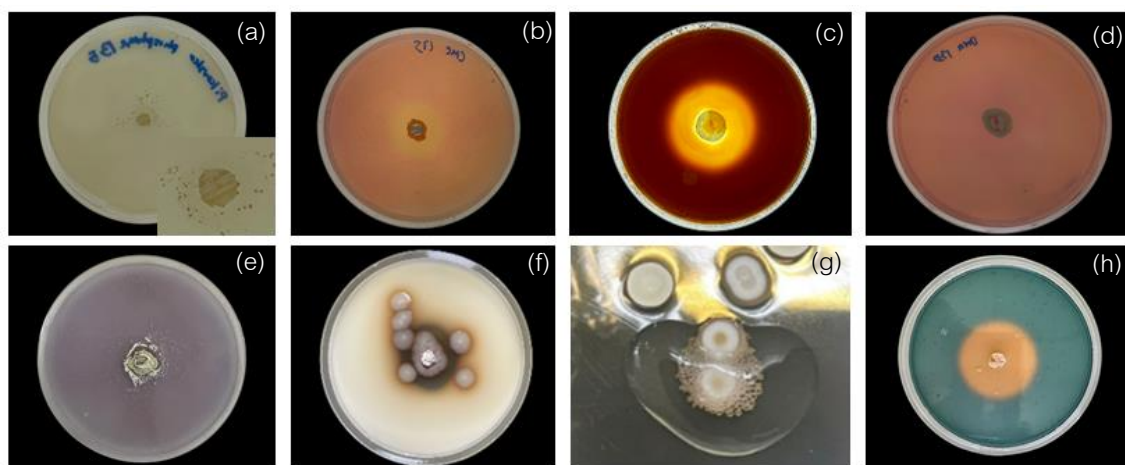


Figure 1. Extracellular enzymes production of active *Streptomyces cavourensis* BUU135, (a) Clear zone of phosphate solubilization on Pikovskaya' s agar plates, (b) Cellulolytic activity on CMC agar plates, (c) Activity of the extra-cellular α -amylase enzyme on starch agar plate, (d) Urease expression, (e) Chitinolytic activity on GYM *Streptomyces* medium + colloidal chitin 1 % + bromocresol purple 0.015 %, (f) Proteolytic exhibit clear halos zone around the colonies, (g) Degrade hydrogen peroxide into water and hydrogen creating bubbles, (h) The appearance of orange clear zones on CAS agar suggests the activity of siderophore production

ต่อมาได้ทำการศึกษาคุณสมบัติในการสร้างสารไซโตโรฟอรัฟ พบว่า บริเวณโดยรอบชั้นวุ้นที่มีการเจริญของ *S. cavourensis* BUU135 บนอาหาร CAS agar ซึ่งมีสีน้ำเงิน เปลี่ยนเป็นสีส้ม ภายในระยะเวลา 7 วัน (Table 1, Figure 1h) สอดคล้องกับการศึกษาของ Yodpanan and Thapanapongworakul (2019) พบว่า เชื้อแอคติโนมัยซีสเอนโดไฟต์ที่เป็น

ปฏิปักษ์ต่อเชื้อรา *Phytophthora nicotianae* ที่แยกได้จากพื้นที่ปลูกเสาวรส อำเภอแม่วง จังหวัดเชียงใหม่ สามารถสร้างไซโตโรฟอรัฟได้เช่นเดียวกัน โดยเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ที่ผลิตสารไซโตโรฟอรัฟเหล่านี้สามารถยับยั้งธาตุเหล็กในธรรมชาติมาใช้ได้ดีกว่าเชื้อสาเหตุโรคพืช ทำให้เชื้อก่อโรคไม่สามารถเข้าทำลายพืชได้

คุณสมบัติในการสร้างสารเมแทบอลิต์หรือเอนไซม์หลากหลายชนิดออกสู่นอกเซลล์ได้ อาจเป็นสาเหตุประการหนึ่งที่ทำให้เชื้อ *S. cavourensis* BUU135 สามารถอาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมทั่วโลก อาทิ บริเวณป่าชายเลน (Shrivastava *et al.*, 2015) พื้นที่ชายฝั่งมหาสมุทร (Su *et al.*, 2013) ดินในพื้นที่การเกษตร รวมถึงพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมีอย่างต่อเนื่อง และพื้นที่เกษตรอินทรีย์ (Siddharth *et al.*, 2020) หรือแม้กระทั่งค้นพบในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Kaaniche *et al.*, 2020) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีประโยชน์ต่อการส่งเสริมการเจริญของพืชเป็นอย่างดี ดังนั้นเชื้อ *S. cavourensis* จึงควรได้รับการศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคพืชต่อไป

สำหรับผลการศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. palmivora*, *F. decemcellulare* และ *L. theobromae* ด้วยวิธี dual culture บนอาหาร PDA สามารถประเมินแนวโน้มประสิทธิภาพในการเป็นเชื้อปฏิปักษ์เบื้องต้นได้ ซึ่งพบว่า *S. cavourensis* มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง *P. palmivora* เท่ากับ 44.3 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2a, b) เมื่อทำการทดสอบการยับยั้งต่อเชื้อ *F. decemcellulare* มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 41.5 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2c, d) และ *S. cavourensis* มี

เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง *L. theobromae* เท่ากับ 61.1 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2e, f) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสูงสุด โดยไม่มีการสัมผัสกันระหว่างเส้นใยของเชื้อราก่อโรคและเชื้อ *S. cavourensis* BUU135 โดย Gottlieb (1967) ได้กล่าวว่า *S. cavourensis* สามารถผลิตสารปฏิชีวนะชื่อว่า flavensomycin สำหรับยับยั้งการเจริญของเชื้อรา โดยใช้ความเข้มข้นเพียง 5-100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร Fróes *et al.* (2012) รายงานว่าเอนไซม์ที่ *Streptomyces* สร้างขึ้นนั้นมีฤทธิ์ย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อรา (cell wall degrading enzymes) อาทิ β -1,3-glucanase และ chitinase ส่งผลให้เส้นใยเชื้อราถูกย่อย หักงอและยุบตัวลง จนไม่สามารถเจริญต่อได้ เนื่องจากโครงสร้างที่สำคัญของเซลล์เชื้อรา คือ chitins และ glucans นอกจากนี้ การศึกษาของ Tanatip and Kunasakdakul (2017) พบว่า พบเชื้อ-แอคติโนมัยซิสเอนโดไฟต์ไอโซเลท DUC2, CINv1, FRA19, CINc1 และ POL2 ส่งผลให้เส้นใยของเชื้อรา *Phytophthora cactorum* มีลักษณะบิดเบี้ยว ส่วนปลายเส้นใยวมพอง คาดว่าเกิดจากการสร้างเอนไซม์ β -glucanase ที่เชื้อหลั่งสู่ภายนอกเซลล์ ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวสามารถย่อยสลายกุกแคนซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เชื้อราก่อโรคได้

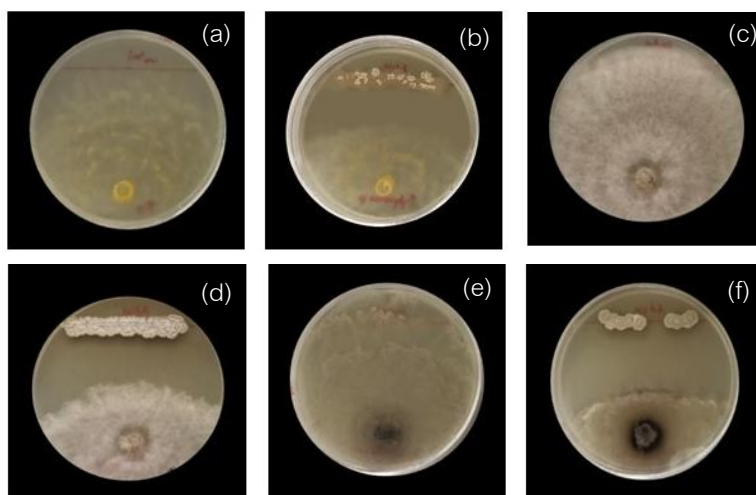


Figure 2. Dual culture between *Streptomyces cavourensis* BUU135 and plant pathogens, (a) *Phytophthora palmivora* (control), (b) *S. cavourensis* antagonistic to *P. palmivora*, (c) *Fusarium decemcellulare* (control), (d) *S. cavourensis* antagonistic to *F. decemcellulare*, (e) *Lasiodiplodia theobromae* (control), (f) *S. cavourensis* antagonistic to *L. theobromae*

สรุป

S. cavourensis BUU135 ซึ่งแยกได้จากดินในพื้นที่สวนผลไม้เขตร้อน จังหวัดจันทบุรี มีความสามารถในการผลิต extracellular enzyme มากถึง 8 ชนิด นอกจากนี้ *S. cavourensis* BUU135 สามารถใช้ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา ได้แก่ *P. palmivora*, *F. decemcellulare* และ *L. theobromae* ในห้องปฏิบัติการได้ภายในระยะเวลา 7 วัน อย่างไรก็ตาม สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ *S. cavourensis* BUU135 ซึ่งส่งผลยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา จำเป็นต้องศึกษาปริมาณความเข้มข้น ระยะเวลาการออกฤทธิ์สูงสุด ตลอดจนชนิดของสารที่ออกฤทธิ์ เพื่อนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ควบคุมเชื้อรา นำไปสู่การใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อ *S. cavourensis* BUU135 เชื้อราก่อโรคพืชจำนวนสามสายพันธุ์ *P. palmivora*, *F. decemcellulare* และ *L. theobromae* รวมถึงให้การสนับสนุนสถานที่ทำการทดลอง อุปกรณ์และอาหารเลี้ยงเชื้อ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนผู้ช่วยวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ประกาศเลขที่ 031/2563 กระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Agrawal, T. and A.S. Kotasthane. 2012. Chitinolytic assay of indigenous *Trichoderma* isolates collected from different geographical locations of Chhattisgarh in Central India. SpringerPlus 1(1): 73, doi: 10.1186/2193-1801-1-73.
- Alnahdi, H.S. 2012. Isolation and screening of extracellular proteases produced by new

Isolated *Bacillus* sp. Journal of Applied Pharmaceutical Science 2(9): 71-74.

- Fróes, A., A. Macrae, J. Rosa, M. Franco, R. Souza, R. Soares and R. Coelho. 2012. Selection of a *Streptomyces* strain able to produce cell wall degrading enzymes and active against *Sclerotinia sclerotiorum*. The Journal of Microbiology 50(5): 798-806.
- Ghanem, G.A.M., D.A.S. Gebily, M.M. Ragab, A.M. Ali, N.E.D. Soliman and T.H. Abd El-Moity. 2022. Efficacy of antifungal substances of three *Streptomyces* spp. against different plant pathogenic fungi. Egyptian Journal of Biological Pest Control 32: 112, doi: 10.1186/s41938-022-00612-9.
- González, V., M.J. Vargas-Straube, W.O. Beys-da-Silva, L. Santi, P. Valencia, F. Beltrametti and B. Cámara. 2022. Enzyme bioprospection of marine-derived actinobacteria from the Chilean coast and new insight in the mechanism of keratin degradation in *Streptomyces* sp. G11C. Marine Drugs 18(11): 537, doi: 10.3390/md18110537.
- Gottlieb, D. 1967. Flavensomycin. pp. 617-620. In: D. Gottlieb and P.D. Shaw (eds.). Antibiotics Volume 1: Mechanism of Action. Springer-Verlag, Berlin.
- Hwang, K.-S., H.U. Kim, P. Charusanti, B.Ø. Palsson and S.Y. Lee. 2014. Systems biology and biotechnology of *Streptomyces* species for the production of secondary metabolites. Biotechnology Advances 32(2): 255-268.
- Kaaniche, F., A. Hamed, L. Elleuch, A. Chakchouk-Mtibaa, S. Smaoui, I. Karray-Rebai, I. Koubaa, G. Arcile, N. Allouche and L. Mellouli. 2020. Purification and

- characterization of seven bioactive compounds from the newly isolated *Streptomyces cavourensis* TN638 strain via solid-state fermentation. Microbial Pathogenesis 142: 104106, doi: 10.1016/j.micpath.2020.104106.
- Kafilzadeh, F. and F. Dehdari. 2015. Amylase activity of aquatic actinomycetes isolated from the sediments of mangrove forests in south of Iran. The Egyptian Journal of Aquatic Research 41(2): 197-201.
- Kaur, T., R. Rani and R.K. Manhas. 2019. Biocontrol and plant growth promoting potential of phylogenetically new *Streptomyces* sp. MR14 of rhizospheric origin. AMB Express 9(1): 125, doi: 10.1186/s13568-019-0849-7.
- Lacey, H.J. and P.J. Rutledge. 2022. Recently discovered secondary metabolites from *Streptomyces* species. Molecules 27(3): 887, doi: 10.3390/molecules27030887.
- Le, K.D., J. Kim, H.T. Nguyen, N.H. Yu, A.R. Park, C.W. Lee and J-C. Kim. 2021. *Streptomyces* sp. JCK-6131 protects plants against bacterial and fungal diseases via two mechanisms. Frontiers in Plant Science 12: 726266, doi: 10.3389/fpls.2021.726266.
- Lee, S.Y., H. Tindwa, Y.S. Lee, K.W. Naing, S.H. Hong, Y. Nam and K.Y. Kim. 2012. Biocontrol of anthracnose in pepper using chitinase, β -1,3 glucanase, and 2-furancarboxaldehyde produced by *Streptomyces cavourensis* SY224. Journal of Microbiology and Biotechnology 22(10): 1359-1366.
- Malviya, M.K., P. Trivedi and A. Pandey. 2018. Chitinase and glucanase activities of antagonistic *Streptomyces* spp. isolated from fired plots under shifting cultivation in northeast India. Journal of Advanced Research in Biotechnology 3(1): 1-7.
- Manullang, W. and H. Chuang. 2020. *Streptomyces* sp. mitigates abiotic stress response and promotes plant growth. Journal of Plant Protection Research 60(3): 263-274.
- Morou-Bermudez, E. and R.A. Burne. 2000. Analysis of urease expression in *Actinomyces naeslundii* WVU45. Infection and Immunity 68(12): 6670-6676.
- Nguyen, H.Q., N.T.-H. Vu, H.H. Chu, S.K. Chu, H. Hoang, T.T. Tran, C. Nguyen, L.T.-M. Dinh, H.T.-T. Trinh and T.Q. Phi. 2018. Draft genome sequence of *Streptomyces cavourensis* YBQ59, an endophytic producer of antibiotics bafilomycin D, nonactic acid, prelactone B, and 5,11-epoxy-10-cadinanol. Microbiology Resource Announcements 7(11): 201056-18, doi: 10.1128/MRA.01056-18.
- Nimisha, P., S. Moksha and A.K. Gangawane. 2019. Amylase activity of starch degrading bacteria isolated from soil. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 8(4): 659-671.
- Pacios-Michelena, S., C.N. Aguilar González, O.B. Alvarez-Perez, R. Rodriguez-Herrera, M. Chávez-González, R. Arredondo Valdés, J.A. Ascacio Valdés, M. Govea Salas and A. Ilyina. 2021. Application of *Streptomyces* antimicrobial compounds for the control of phytopathogens. Frontiers in Sustainable Food Systems 5: 696518, doi: 10.3389/fsufs.2021.696518.

- Pradhan, A., A. Pahari, S. Mohapatra and B.B. Mishra. 2017. Phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture: Genetic mechanism and application. pp. 81-97. *In*: T. Adhya, B. Mishra, K. Annapurna, D. Verma and U. Kumar (eds.). *Advances in Soil Microbiology: Recent Trends and Future Prospects*. Springer, Singapore.
- Pragya, R., A. Yasmin and J. Anshula. 2012. An insight into agricultural properties of actinomycetes. *International Journal of Research in Biosciences* 1(1): 7-12.
- Quinn, G.A., A.M. Banat, A.M. Abdelhameed and I.M. Banat. 2020. *Streptomyces* from traditional medicine: Sources of new innovations in antibiotic discovery. *Journal of Medical Microbiology* 69(8): 1040-1048.
- Sheik, G.B., A.A. Alhumaidy, A.I.A. Abdel Raheim, Z.A. Alzeyadi and M.I. AlGhonaim. 2020. Taxonomic characterizations of soil *Streptomyces cavourensis* DW102 and its activity against fungal pathogens. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* 12(4): 462-467.
- Shrivastava, P., R. Kumar, M.S. Yandigeri, N. Malviya and D.K. Arora. 2015. Isolation and characterization of *Streptomyces* with plant growth promoting potential from mangrove ecosystem. *Polish Journal of Microbiology* 64(4): 339-349.
- Siddharth, S., R.R. Vittal, J. Wink and M. Steinert. 2020. Diversity and bioactive potential of actinobacteria from unexplored regions of Western Ghats, India. *Microorganisms* 8(2): 225, doi: 10.3390/microorganisms 8020225.
- Singh, L.S., I. Baruah and T.C. Bora. 2006. Actinomycetes of Loktak habitat: Isolation and screening for antimicrobial activities. *Biotechnology* 5(2): 217-221.
- Sirikun, B. and N. Thaochan. 2018. Chitinase and protease production from indigenous insecticidal actinomycetes varieties. *Khon Kaen Agriculture Journal* 46(Suppl.1): 739-744. (in Thai)
- Su, S.-S., L. Tian, G. Chen, Z.-Q. Li, W.-F. Xu and Y.-H. Pei. 2013. Two new compounds from the metabolites of a marine-derived actinomycete *Streptomyces cavourensis* YY01-17. *Journal of Asian Natural Products Research* 15(3): 265-269.
- Sultana, S., S. Alam and M.M. Karim. 2021. Screening of siderophore-producing salt-tolerant rhizobacteria suitable for supporting plant growth in saline soils with iron limitation. *Journal of Agriculture and Food Research* 4: 100150, doi: 10.1016/j.jafr.2021.100150.
- Tanatip, C. and K. Kunasakdakul. 2017. Paper type bioproduct of endophytic actinomycetes for controlling bakanae disease of Riceberry rice in seedling stage. *Journal of Agriculture* 34(1): 67-75. (in Thai)
- Tangwattanachuleeporn, M., P. Ruangsuj, W. Yamprayooswat, S. Sittihan, W. Jumpathong and M. Yasawong. 2021. Genome sequence of *Streptomyces cavourensis* BUU135, isolated from soil from a tropical fruit farm in Thailand. *Microbiology Resource Announcements* 10: 19, doi: 10.1128/MRA.01428-20.
- Wilson, D.B. 2009. Cellulases. pp. 252-258. *In*: M. Schaechter (ed.). *Encyclopedia of Microbiology*. Elsevier/Academic Press, Amsterdam.

Yodpanan, P. and P. Thapanapongworakul. 2019.
Selection of endophytic actinomycetes
against *Phytophthora nicotianae* causing
leaf blight and fruit rot of passion fruit.
Khon Kaen Agriculture Journal 47 (Suppl.
1): 1633-1638. (in Thai)

ผลของสารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลร่วมกับ ปุ๋ยทางใบต่อการเติบโตของผักคะน้า

Effects of Brown Seaweed Extract in Combination with Foliar Fertilizer on Growth of Chinese Kale

จันทนิภา มะณีมา* สุธิตา ชัยกุล และ หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์
Chanthanipa Maneema*, Sutisa Chaikul and Yadrung Suwannarat

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จ. จันทบุรี 22000
Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000, Thailand

*Corresponding author: Email: chanthanipama@gmail.com

(Received: 21 October 2022; Accepted: 3 March 2023)

Abstract: The aim of this research was to study the effect of brown seaweed extract in combination with foliar fertilizer on the growth of Chinese kale. The pot experiment was conducted using CRD, consisting of 8 treatments with 3 replications. The treatments were as followed: T1, water (control); T2, foliar fertilizer of 15-15-15 at 1 %; T3, seaweed extract at 1 %; T4, seaweed extract at 2 %; T5, seaweed extract at 3 %; T6, seaweed extract at 1 % + foliar fertilizer of 15-15-15 at 1 %; T7, seaweed extract at 2 % + foliar fertilizer of 15-15-15 at 1 % and; T8, seaweed extract at 3 % + foliar fertilizer of 15-15-15 at 1 %. The height, stem circumference, leaf greenness and leaf number were measured at 38, 45 and 52 days after transplanting (DAT). The fresh weight, dry weight and concentration of N, P and K of Chinese kale were collected at harvest (53 DAT). The result showed that spraying of brown seaweed extract at 2 % + foliar fertilizer of 15-15-15 at 1 % (T7) showed both trend and significant effect on the growth and weight of Chinese kale over the other treatments ($P \leq 0.05$). These results suggested that brown seaweed extract could be used as a plant stimulant for the growth of Chinese kale. The appropriate rate for Chinese kale production was to spray brown seaweed extract at 2% and foliar fertilizer of 15-15-15 at 1%.

Keywords: Brown seaweed extract, Chinese kale, Foliar fertilizer

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลร่วมกับปุ๋ยทางใบเพื่อใช้เป็นสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักคะน้าทำการทดลองในกระถาง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 8 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ ได้แก่ T1, น้ำเปล่า (control); T2, ปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์; T3, สารสกัดสาหร่ายทะเล 1 เปอร์เซ็นต์; T4, สารสกัดสาหร่ายทะเล 2 เปอร์เซ็นต์; T5, สารสกัดสาหร่ายทะเล 3 เปอร์เซ็นต์; T6, สารสกัดสาหร่ายทะเล 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์; T7, สารสกัดสาหร่ายทะเล 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ และ; T8, สารสกัดสาหร่ายทะเล 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ บันทึกข้อมูลความสูง เส้นรอบวงลำต้น ค่าความเขียวใบ และจำนวนใบ เมื่อต้นคะน้ามีอายุ 38, 45 และ 52 วันนับจากวันย้ายปลูก บันทึกน้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น ปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมของต้นคะน้าในวันที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 53 วัน ผลการทดลองพบว่า การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเล 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ แสดงทั้งแนวโน้มและแสดงการเจริญเติบโตและน้ำหนักต้นที่ดีกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ($P \leq 0.05$) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสามารถนำมาใช้เป็นสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของคะน้าได้ โดยอัตราการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลร่วมกับปุ๋ยทางใบที่เหมาะสม คือ การใช้สารสกัดสาหร่ายทะเล 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: สารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล คะน้า ปุ๋ยทางใบ

คำนำ

คะน้าเป็นผักเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยจากการรายงานพบว่า ในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกคะน้า 55,723 ไร่ กระจายอยู่ในพื้นที่ปลูก 72 จังหวัด และมีการส่งออกคะน้า 84,136 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นมูลค่า 3,333,077 บาทต่อปี (Department of Agricultural Extension, 2016) เป็นผักที่ผู้บริโภคนิยมรับประทานมากในปัจจุบันเนื่องจากหาซื้อง่ายและสามารถหาซื้อบริโภคได้ตลอดทั้งปี ดังนั้นสำหรับเกษตรกรที่ปลูกคะน้าเพื่อให้ได้ผลผลิตตลอดทั้งปีอาจจำเป็นต้องใช้สารส่งเสริมการเจริญเติบโตชนิดต่าง ๆ ทั้งที่มาจากการสังเคราะห์ทางเคมี และที่ได้มาจากธรรมชาติ ซึ่งในปัจจุบัน เกษตรกรผู้ผลิตพืชผักหลายชนิดนิยมใช้สารสกัดจากสาหร่ายทะเลชนิดต่าง ๆ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อช่วยทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและได้ผลผลิตที่ดีมากขึ้น โดยทั่วไปการใช้ปุ๋ยทางดินของคะน้าจะนิยมใส่ปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจนสูงเนื่องจากคะน้าเป็นผักกินใบและลำต้นจึงนิยมใส่ปุ๋ยสูตร 12-8-8 ในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (Department of Agricultural Extension, 2008) อย่างไรก็ตาม

เกษตรกรบางส่วนก็นิยมฉีดพ่นปุ๋ยเคมีทางใบให้กับคะน้าด้วยในกรณีที่ต้องการให้ธาตุอาหารแก่พืชซึ่งได้ผลรวดเร็วเมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยทางดิน (Osotsapar *et al.*, 2014)

สาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (brown seaweed) ซึ่งจัดอยู่ในดิวิชัน Phaeophyta สามารถพบได้มากทั้งในชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและอันดามัน มีผู้ศึกษาและนำสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลมาใช้ในการขยายพันธุ์ทางเกษตรมากกว่าสาหร่ายชนิดอื่น (Battacharyya *et al.*, 2015) สาหร่ายทะเลสีน้ำตาลชนิด *Sargassum crassifolium* ถูกนำมาสกัดเพื่อใช้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ซึ่งพบปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในสารสกัดสาหร่าย เท่ากับ 400, 9 และ 1,520 ppm (Sutharsan *et al.*, 2014) ปัจจุบันมีผู้นำสาหร่ายทะเลมาใช้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตในวงกว้าง เนื่องจากสารสกัดจากสาหร่ายทะเลช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้หลายรูปแบบ ได้แก่ แรงการแตกตา แรงการแตกใบอ่อน แรงการออกราก เพิ่มความต้านทานโรค และกระตุ้นการออกดอก (Osotsapar, 2014) นอกจากนั้น ยังช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยทำให้ดินมีความสามารถในการอุ้ม

น้ำได้ดีมากขึ้น โดยการปรับปรุงโครงสร้างของดิน
สาหร่ายทะเลสีน้ำตาล มีสารในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์อยู่
มาก เช่น แอลจีเนต (alginate) ฟุคอยแดน (fucoxanthins)
ซึ่งเมื่อจับกับโลหะในดิน จะช่วยทำหน้าที่โดยการเพิ่ม
การดูดซับน้ำและเชื่อมอนุภาคดินให้จับกลุ่มเป็นเม็ด
ดิน (Khan *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยหลาย
ชิ้นที่ระบุว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลแต่เพียงอย่าง
เดียวไม่สามารถทำให้ต้นพืชแสดงการตอบสนองต่อ
การใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลได้ แต่เมื่อใช้สารสกัด
สาหร่ายทะเลร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสม
ทำให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารได้ดีมากยิ่งขึ้น (Halpern *et al.*,
2015) นอกจากนี้ งานวิจัยของ Jayasinghe *et al.* (2016)
ที่ศึกษาผลของสารสกัดสาหร่ายทะเล *Ulva lactuca*,
Sargassum wightii, *Kappaphycus alvarezii* และ
Gracilaria verrucosa ต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญ-
เติบโตของพริกหยวก พบว่า การใช้สารสกัดสาหร่าย
ทะเล 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับอัตราปุ๋ยเคมีที่แนะนำ ทำ
ให้พริกหยวกมีน้ำหนักแห้งของราก จำนวนใบ จำนวน
ดอก จำนวนฝัก และความยาวฝัก เพิ่มขึ้นอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น ในการศึกษาในครั้งนี้
คณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำสาหร่ายทะเลสี
น้ำตาล (*Sargassum* sp.) จากพื้นที่ติดกับชายทะเล
ธรรมชาติ ที่สามารถพบได้ง่ายและจัดว่าเป็นวัตถุ
ดินต้นทุนต่ำจากจังหวัดจันทบุรี มาใช้ประโยชน์ทาง
การเกษตร โดยนำมาสกัดแล้วใช้เป็นสารส่งเสริม
การเจริญเติบโตของผักคะน้า

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเลและการเตรียม ตัวอย่างสาหร่ายทะเล

เก็บ ตัวอย่างสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล
(*Sargassum* sp.) (Figure 1) จากบริเวณหาดอ่าวบาง
ตาบอบบางกะไชย อำเภอแหลมงสิงห์ จังหวัดจันทบุรี
ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ในการเก็บสาหร่ายชนิดนี้
ใช้อุปกรณ์เกี่ยวขึ้นมาจากผิวน้ำ เก็บสาหร่ายทะเลสด
มาจำนวน 46 กิโลกรัม ล้างสาหร่ายทะเลด้วยน้ำจืด
ให้สะอาด และคัดแยกเอาเศษสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ติด
มากับสาหร่ายทะเลออกให้หมด ตากสาหร่ายทะเล
สีน้ำตาลกลางแดดให้แห้งประมาณ 3 วัน จากนั้นนำ
ไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60
องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำสาหร่าย
ทะเลสีน้ำตาลมาบดเป็นผง (ประมาณ 100 เมช) ให้
ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด

การสกัดสาหร่ายทะเล

นำผงสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลที่บดได้มาแช่ใน
น้ำกลั่น (อัตราส่วนสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลต่อน้ำ 1 : 10
น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นนำสารผสมมาแช่ในอ่างน้ำ
ควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 60 องศา-
เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วนำมา
กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารสกัดสาหร่ายทะเล
ที่กรองได้บรรจุลงในขวดแก้วสีชาและเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น
ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Sasikala *et al.*, 2016)



Figure 1. Brown seaweed (*sargassum* sp.)

การวิเคราะห์สารคลอโรฟิลล์ในพืชและปริมาณธาตุอาหารพืชในสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล

นำผงสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลและสารสกัดสาหร่ายทะเลที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารคลอโรฟิลล์ในพืช ได้แก่ ปริมาณ Free Indole-3-acetic acid (free IAA) ด้วยวิธี HPLC-RF (Naphrom and Sringarm, 2009) และนำสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลยังได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Kjeldhal method (Bremner and Mulvaney, 1982) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยวิธี mixed acid digestion ด้วยกรด HNO_3 : HClO_4 (Attanandana and Chancharoensuk, 1999) และวิเคราะห์หาปริมาณด้วยวิธี yellow molybdate method (Attanandana and Chancharoensuk, 1999) และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดโดยวิธี mixed acid digestion และวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Jackson and Mahmood, 1994)

การวางแผนการทดลอง

การศึกษาค้นคว้าผลของความเข้มข้นของสารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า วางแผนการทดลองแบบ complete randomized design จำนวน 8 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ได้แก่ 1) พ่นน้ำเปล่า (control) 100 มิลลิลิตร 2) ปุ๋ยทางใบสูตร 15 - 15 - 15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ (ปุ๋ยทางใบ 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 99 มิลลิลิตร) 3) สารสกัดสาหร่ายทะเล 1 เปอร์เซ็นต์ (สารสกัดสาหร่ายทะเล 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 99 มิลลิลิตร) 4) สารสกัดสาหร่ายทะเล 2 เปอร์เซ็นต์ (สารสกัดสาหร่ายทะเล 2 มิลลิลิตรต่อน้ำ 98 มิลลิลิตร) 5) สารสกัดสาหร่ายทะเล 3 เปอร์เซ็นต์ (สารสกัดสาหร่ายทะเล 3 มิลลิลิตรต่อน้ำ 97 มิลลิลิตร) 6) สารสกัดสาหร่ายทะเล 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15 - 15 - 15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ (สารสกัดสาหร่ายทะเล 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 99 มิลลิลิตร ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 99 มิลลิลิตร) 7) สารสกัดสาหร่ายทะเล 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15 - 15 - 15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ (สารสกัดสาหร่ายทะเล 2 มิลลิลิตรต่อน้ำ 98 มิลลิลิตร ร่วมกับ

ปุ๋ยทางใบอัตรา 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 99 มิลลิลิตร 8) สารสกัดสาหร่ายทะเล 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15 - 15 - 15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ (สารสกัดสาหร่ายทะเล 3 มิลลิลิตรต่อน้ำ 97 มิลลิลิตร ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 99 มิลลิลิตร)

ปลูกต้นกล้าคะน้าโดยใช้ดินและขุยมะพร้าวในอัตราส่วน 3 : 1 จำนวน 10 กิโลกรัม ในกระถางทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ใช้ต้นกล้าที่มีอายุ 20 วัน ต้นสูงประมาณ 10 เซนติเมตร (จำนวน 2 ต้นต่อกระถาง) ใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลร่วมกับน้ำเป็นปริมาตรรวม 100 มิลลิลิตรต่อกระถาง ตามกรรมวิธีที่ระบุข้างต้น ในช่วงเช้าพ่นร่วมกับสารจับใบที่ความเข้มข้น 0.01 เปอร์เซ็นต์ และพ่นกรรมวิธีทดลองจำนวน 10 ครั้ง โดยพ่นวันเว้นวัน ในการพ่นใช้กระบอกฉีดน้ำแบบพ่นฝอยในการพ่นสารสกัดและปุ๋ยทางใบ ให้น้ำตั้งแต่หลังการปลูกทุกวัน วันละ 2 ครั้ง เช้า - เย็น ด้วยวิธีรดด้วยบัวรดน้ำ ใช้น้ำจำนวน 250 มิลลิลิตรต่อกระถางต่อครั้ง โดยให้น้ำรวมทั้งหมด 500 มิลลิลิตรต่อกระถางต่อวัน (รวมปริมาณน้ำในกรรมวิธีที่พ่นทางใบ) ใส่ปุ๋ยทางดินสูตร 12 - 8 - 8 ในอัตรา 2.5 กรัมต่อกระถาง ในช่วงเวลาที่แนะนำโดยกรมส่งเสริมการเกษตร (Department of Agricultural Extension, 2008)

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นพืช ได้แก่ ความสูง เส้นรอบวงลำต้น ค่าความเขียวใบด้วยเครื่อง Chlorophyll meter ยี่ห้อ KONICA MINOLTA รุ่น SPAD-502 Plus โดยวัดในตำแหน่งของใบที่ 1 หรือ 2 นับจากโคนขึ้นไป โดยวัดในตำแหน่งเดิมทุกครั้งที่ได้เก็บข้อมูล และจำนวนใบ ทุก 7 วัน ที่อายุ 31, 38, 45 และ 52 วัน บันทึกน้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของต้นคะน้าที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 53 วัน วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธี โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรม Sirichai statistics 7.0

ผลการศึกษา

ความเข้มข้นของธาตุอาหารและปริมาณออกซินอิสระในสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารของสาหร่ายทะเลในรูปผงแห้งพบปริมาณไนโตรเจน 0.91 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัส 0.11 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียม 7.82 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณธาตุอาหารของสารสกัดสาหร่ายทะเลพบปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.06 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบปริมาณฟอสฟอรัส และพบปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 0.57 เปอร์เซ็นต์ (Table 1)

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณออกซินอิสระของสาหร่ายทะเลในรูปผงแห้ง พบปริมาณออกซินอิสระ 3.486 ppm ในขณะที่สารสกัดสาหร่ายทะเลพบปริมาณออกซินอิสระในปริมาณค่อนข้างต่ำ เท่ากับ 0.016 ppm (Table 1)

จากการทดลองเพื่อประเมินผลของสารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้าในกระถาง พบว่า ความสูงของลำต้นทุกช่วงอายุไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จึงไม่ได้แสดงข้อมูลผลการทดลอง อย่างไรก็ตาม ความสูงของคะน้าในช่วงที่เก็บเกี่ยวได้อยู่ในช่วงความสูงปกติของคะน้าชนิดนี้ ในขณะที่การเจริญเติบโตด้านอื่นพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกรรมวิธี ดังนี้

เส้นรอบวงลำต้น

การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลอัตราต่าง ๆ เพียงอย่างเดียว และการพ่นร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15 - 15 - 15 ไม่ทำให้เส้นรอบวงลำต้น

ของต้นคะน้าที่อายุ 38 วัน แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) (Table 2) อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อต้นคะน้ามีอายุ 45 วัน การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15 - 15 - 15 (กรรมวิธีที่ 7) ทำให้ต้นคะน้ามีเส้นรอบวงลำต้นมากกว่าการพ่นด้วยน้ำเปล่า ปุ๋ยทางใบสูตร 15 - 15 - 15 สารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ (กรรมวิธีที่ 1, 2, 3 และ 4) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และเมื่อต้นคะน้ามีอายุ 52 วัน การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15 - 15 - 15 (กรรมวิธีที่ 7) ทำให้ต้นคะน้ามีเส้นรอบวงลำต้นมากกว่าการพ่นด้วยสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 1, 2 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15 - 15 - 15 (กรรมวิธีที่ 3, 4 และ 6) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15 - 15 - 15 (กรรมวิธีที่ 7) นี้ไม่ทำให้เส้นรอบวงลำต้นของต้นคะน้าแตกต่างจากการใช้น้ำเปล่า (กรรมวิธีที่ 1) ($P \geq 0.05$)

ค่าความเขียวใบ

การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลอัตราต่าง ๆ เพียงอย่างเดียว และการพ่นร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15 - 15 - 15 ไม่ทำให้ค่าความเขียวใบของต้นคะน้าที่อายุ 38 และ 45 วัน แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) (Table 2) อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อต้นคะน้ามีอายุ 52 วัน การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15 - 15 - 15 (กรรมวิธีที่ 7) ทำให้ต้นคะน้ามีค่าความเขียวใบมากกว่าการพ่นด้วย น้ำเปล่า สารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ (กรรมวิธีที่ 1, 3, 4 และ 5) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Table 1. Nutrient concentrations and free IAA of brown seaweed powder and extract

Seaweed type	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)	Free IAA (ppm)
Brown seaweed powder	0.91	0.11	7.82	3.486
Brown seaweed extract	0.06	-	0.57	0.016

Table 2. Stem circumference and leaf greenness of Chinese kale at 38, 45 and 52 days after transplanting

Treatment	Stem circumference (cm)			Leaf greenness (SPAD value)		
	38 DAT	45 DAT	52 DAT	38 DAT	45 DAT	52 DAT
1) Control	1.26	1.68 c	2.78 abcd	58.7	51.2	51.5 cd
2) 15- 15- 15 at 1%	1.25	1.78 bc	3.10 abc	64.0	67.8	57.1 abc
3) SWE at 1%	1.20	1.71 c	2.36 d	44.4	48.2	50.3 d
4) SWE at 2%	1.20	1.53 c	2.53 cd	63.7	46.7	51.8 bcd
5) SWE at 3%	1.23	1.91 abc	2.78 abcd	51.7	61.2	50.7 d
6) SWE at 1% + 15-15-15 at 1%	1.26	2.01 abc	2.70 bcd	62.5	54.3	57.5 ab
7) SWE at 2% + 15-15-15 at 1%	1.33	2.41 a	3.40 a	77.9	64.3	59.4 a
8) SWE at 3% + 15-15-15 at 1%	1.25	2.26 ab	3.30 ab	56.8	68.3	56.6 abc
F-test	ns	*	*	ns	ns	*
CV (%)	5.8	14.6	12.2	26.1	26.4	5.7

Means in each column followed by different lower-case letters indicate significant differences using Duncan's multiple range test (DMRT) at 5 % probability level

ns = non-significant

* Significant at 0.05 probability level

SWE = Seaweed extract

จำนวนใบ

การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลอัตราต่าง ๆ เพียงอย่างเดียวและการพ่นร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15- 15- 15 พบว่า ต้นคะน้าที่มีอายุ 38 วัน การพ่นน้ำเปล่า ปุ๋ยทางใบ สารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ และสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15- 15- 15 (กรรมวิธีที่ 1, 2, 3, 7 และ 8) ทำให้ต้นคะน้ามีจำนวนใบมากกว่าการพ่นด้วยสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15- 15- 15 (กรรมวิธีที่ 6) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 3) เมื่อต้นคะน้ามีอายุ 45 วัน การพ่นน้ำเปล่า ปุ๋ยทางใบสูตร 15- 15- 15 สารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 1 และ 3 เปอร์เซ็นต์ และสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15- 15- 15 (กรรมวิธีที่ 1, 2, 3, 5, 6, 7 และ 8) ทำให้ต้นคะน้ามีจำนวนใบมากกว่าการพ่นด้วยสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ (กรรมวิธีที่ 4) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อต้นคะน้ามีอายุ 52 วัน การพ่นสารสกัด

สาหร่ายทะเลอัตรา 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15- 15- 15 (กรรมวิธีที่ 7 และ 8) ทำให้ต้นคะน้ามีจำนวนใบมากกว่าการพ่นด้วยสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ (กรรมวิธีที่ 3, 4 และ 5) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15- 15- 15 (กรรมวิธีที่ 7 และ 8) นี้ไม่ทำให้จำนวนใบของต้นคะน้าแตกต่างจากการใช้น้ำเปล่า (กรรมวิธีที่ 1) ($P \geq 0.05$)

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15- 15- 15 (กรรมวิธีที่ 7) ทำให้ต้นคะน้ามีน้ำหนักสดมากกว่าการพ่นด้วยน้ำเปล่า ปุ๋ยทางใบสูตร 15- 15- 15 สารสกัดสาหร่ายทะเล 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ และสารสกัดสาหร่ายทะเล 1 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15- 15- 15 (กรรมวิธีที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 8) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 3)

Table 3. Leaf number of Chinese kale at 38, 45 and 52 days after transplanting and fresh weight and dry weight of Chinese kale at 53 days after transplanting

Treatment	Leaf number			Fresh weight (g/pot)	Dry weight (g/pot)
	38 DAT	45 DAT	52 DAT	53 DAT	
1) Control	6.6 a	9.3 a	10.8 abc	43.90 b	5.24 b
2) 15 - 15 - 15 at 1%	6.6 a	9.3 a	11.3 ab	50.78 b	5.86 b
3) SWE at 1%	6.3 a	8.6 a	9.8 c	30.03 b	3.98 b
4) SWE at 2%	6.0 ab	6.5 b	10.0 bc	30.12 b	4.11 b
5) SWE at 3%	6.1 ab	8.3 a	9.5 c	39.36 b	4.97 b
6) SWE at 1% + 15-15-15 at 1%	5.5 b	8.3 a	10.5 abc	39.34 b	4.95 b
7) SWE at 2% + 15-15-15 at 1%	6.6 a	9.3 a	11.8 a	73.35 a	8.29 a
8) SWE at 3% + 15-15-15 at 1%	6.6 a	9.3 a	11.6 a	51.63 b	6.28 ab
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	6.8	11.9	7.3	24.8	22.5

Means in each column followed by different lower-case letters indicate significant differences using Duncan's multiple range test (DMRT) at 5 % probability level

* Significant at 0.05 probability level

SWE = Seaweed extract

การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 (กรรมวิธีที่ 7) ทำให้ต้นคะน้ามีน้ำหนักแห้งมากกว่าการพ่นด้วยน้ำเปล่า ปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 สารสกัดสาหร่ายทะเล 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ และสารสกัดสาหร่ายทะเล 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 (กรรมวิธีที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 3)

ปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในต้นคะน้า

การพ่นปุ๋ยเคมี และสารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 (กรรมวิธีที่ 2, 6, 7 และ 8) ทำให้ต้นคะน้ามีปริมาณของไนโตรเจนมากกว่าการพ่นด้วยน้ำเปล่า สารสกัดสาหร่ายทะเล 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ (กรรมวิธีที่ 1, 3, 4 และ 5) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 4)

การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 (กรรมวิธีที่ 7) มีแนวโน้มที่จะทำให้ต้นคะน้ามีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากการพ่นด้วยสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 (กรรมวิธีที่ 6) ($P \geq 0.05$) รองลงมาคือการพ่นด้วยปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 (กรรมวิธีที่ 2) และการพ่นด้วยสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 (กรรมวิธีที่ 8) ตามด้วยกรรมวิธีที่ใช้ น้ำเปล่า สารสกัดสาหร่ายทะเล 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ (กรรมวิธีที่ 1, 3, 4 และ 5) (Table 4)

การพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลอัตราต่าง ๆ เพียงอย่างเดียวและการพ่นร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 ไม่ส่งผลต่อปริมาณโพแทสเซียมของต้นคะน้าที่อายุ 53 วัน ($P \geq 0.05$) (Table 4)

Table 4. Nutrient concentrations of Chinese kale at 53 days after transplanting

Treatment	%Total N	%Total P	%Total K
1) Control	3.15 b	0.35 c	4.97
2) 15-15-15 at 1%	4.39 a	0.63 b	4.87
3) SWE at 1%	2.85 b	0.38 c	4.37
4) SWE at 2%	3.04 b	0.35 c	4.69
5) SWE at 3%	3.27 b	0.45 c	5.20
6) SWE at 1%+ 15-15-15) at 1%	4.06 a	0.75 ab	4.63
7) SWE at 2%+ 15-15-15 at 1%	4.34 a	0.77 a	4.95
8) SWE at 3% + 15-15-15 at 1%	4.37 a	0.63 b	4.65
F-test	*	*	ns
CV (%)	7.6	13.4	9.7

Means in each column followed by different lower-case letters indicate significant differences using Duncan's multiple range test (DMRT) at 5 % probability level

ns = non-significant

* Significant at 0.05 probability level

SWE = Seaweed extract

วิจารณ์

จากผลการทดลองการพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลอัตราต่าง ๆ เพียงอย่างเดียวและการพ่นร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 พบว่า เมื่อพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลร่วมกับการใช้ปุ๋ยทางใบแก่ต้นคะน้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ต้นคะน้าแสดงทั้งแนวโน้มและแสดงการเจริญเติบโตและน้ำหนักต้นที่มากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ต้นคะน้าได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีที่ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมจากปุ๋ยทางใบและปุ๋ยทางดินและยังได้รับสารที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตจากสารสกัดสาหร่ายทะเลจึงทำให้ต้นคะน้ามีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ต้นคะน้ามีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและปริมาณ

ฟอสฟอรัสมากกว่าการใช้ปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลช่วยส่งเสริมทำให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารได้มากขึ้นจนแสดงการตอบสนองออกมาในรูปแบบของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นคะน้าที่ดีกว่าการใช้ปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 แต่เพียงอย่างเดียวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thongra-ar *et al.* (2017) ที่ศึกษาการใช้สารสกัดจากสาหร่ายทะเลสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยน้ำว้าปากช่อง 50 จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบว่า การพ่นสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 21-21-21 อัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ทำให้ต้นกล้วยน้ำว้ามีการเจริญเติบโตมากกว่าการพ่นด้วยปุ๋ยทางใบอย่างเดียวทุกอัตรา โดย Thongra-ar *et al.* (2017) ได้อธิบายว่า อาจเป็นผลมาจากการที่ต้นกล้วยน้ำว้าที่ทำการทดลองได้รับปริมาณธาตุอาหาร กรดอะมิโน และสารคลอโรฟิลล์ในปริมาณและความเข้มข้นที่เหมาะสมจึงทำให้ต้นกล้วยน้ำว้ามีการ-

เจริญเติบโตที่ดี และจากการทดลองในครั้งนี้พบว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้คะน้ามีใบเขียวมากกว่าการพ่นด้วยน้ำเปล่า ซึ่งมาจากสารสกัดจากสาหร่ายทะเลมีสารอินทรีย์ในกลุ่มออสโมไลต์ คือ บีเทนและสารคล้ายบีเทน ช่วยให้ใบพืชมีสีเขียวขึ้นเนื่องจากบีเทนในสารสกัดสาหร่ายทะเลช่วยลดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ (Blunden *et al.*, 1996) นอกจากนี้ เป็นไปได้ว่าการดอมีโนที่มีอยู่ในสารสกัดสาหร่ายทะเลช่วยให้คะน้าเกิดการดูดธาตุอาหารต่าง ๆ ได้มากขึ้น โดยกรดอะมิโนมีความสามารถในการทำงานที่คล้ายกับสารคีเลตทำให้การดูดใช้ธาตุอาหารเข้าสู่ต้นพืชได้ง่ายขึ้น (Spinelli *et al.*, 2010) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jayasinghe *et al.* (2016) ที่ศึกษาผลของสารสกัดสาหร่ายทะเลชนิด *Ulva lactuca*, *Sargassum wightii*, *Kappaphycus alvarezii* และ *Gracilaria verrucosa* ต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของพริก ซึ่งจากการศึกษาพบว่า สารสกัดสาหร่ายทะเลมีประสิทธิภาพในการเพิ่มการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้งของต้นและราก จำนวนใบ จำนวนดอก จำนวนผลและผลผลิตของพริก โดยได้สรุปว่าสารสกัดสาหร่ายทะเลมีประสิทธิภาพในการเร่งการเจริญเติบโตของพืชเมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี มากกว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลเพียงอย่างเดียว และพบว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเล 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับอัตราปุ๋ยเคมีที่แนะนำ ทำให้พริกมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด นอกจากนี้ ผลการศึกษายังรายงานว่าสารสกัดจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล *S. wightii* มีประสิทธิภาพมากกว่าสารสกัดจากสาหร่ายทะเลชนิดอื่น

นอกจากนี้ ผลการทดลองในครั้งนี้ยังพบว่า ต้นคะน้าที่ได้รับสารสกัดสาหร่ายทะเลร่วมกับปุ๋ยทางใบโดยเฉพาะอย่างยิ่งการพ่นสารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ นั้น ทำให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในต้นคะน้ามากกว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลแต่เพียงอย่างเดียว (เมื่อใช้สาหร่ายทะเลในอัตราเดียวกัน) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากสารสกัดสาหร่ายทะเลทำหน้าที่เป็นสาร

ส่งเสริมการเจริญเติบโต ดังนั้น เมื่อใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลแต่เพียงอย่างเดียวจึงไม่ทำให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม ในขณะที่เมื่อใช้ปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในต้นคะน้ามากกว่ากรรมวิธีควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยหลาย ๆ ชิ้นที่พบว่า การใช้สารสกัดจากสาหร่ายทะเลแต่เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะทำให้พืชแสดงการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาได้ เมื่อทำการทดสอบในภาคสนาม (Khan *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตาม สารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าเป็นอัตราที่เหมาะสมจากผลการทดลองในครั้งนี้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Sutharsan *et al.* (2014) ที่พบว่า อัตราสารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (*S. crassifolium*) ที่เหมาะสมสำหรับมะเขือเทศ คือ สารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลอัตรา 20 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ น่าจะมาจากปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่พบน้อยมาก (0.04 %N, 0.0009 %P, 0.15 %K) และไม่ได้ทดสอบปุ๋ยทางใบร่วมกับสารสกัดสาหร่ายทะเล ดังนั้น สารสกัดสาหร่ายทะเลที่แนะนำจากงานวิจัยนี้จึงใช้ในอัตราที่น้อยกว่างานวิจัยของ Sutharsan *et al.* (2014) หลายเท่า

ทั้งนี้ เป็นที่น่าสังเกตว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเล 3 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักการเจริญเติบโตของต้นคะน้าและน้ำหนักสดของต้นคะน้าน้อยกว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความเข้มข้นของสารสกัดสาหร่ายทะเลในอัตราสูงนั้น มีปริมาณฮอร์โมนบางชนิดที่มากเกินไปความต้องการของคะน้า จนไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช (Jarassamrit, 1998) ซึ่ง Sukho *et al.* (2017) ศึกษาฮอร์โมนพืชสังเคราะห์จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ NAA, GA₃ และ Brassin-like substance และพบว่า การใช้ NAA ในอัตราสูงทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของเงาะพันธุ์โรงเรียนได้เช่นกัน ทั้งนี้

IAA (indol-3-acetic acid) เป็นสารที่ผลิตขึ้นภายในพืช ส่วน NAA (naphthalene acetic acid) เป็นสารประกอบสังเคราะห์ขึ้นมาและนิยมใช้แทนออกซินธรรมชาติ ซึ่งสารในกลุ่มออกซินมีคุณสมบัติเป็นสารเร่งการเจริญเติบโต มีผลกระตุ้นการขยายขนาดของเซลล์ การยืดตัวของเซลล์ และยังมีผลกระตุ้นการเกิดราก รวมถึงมีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตในส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยหากใช้ออกซินในระดับความเข้มข้นที่สูงมาก ๆ จะมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตทุกส่วนของพืช (Tongumpai, 1994) ในขณะที่ Thongra-ar *et al.* (2021) ศึกษาผลการใช้สารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอม พบว่า การพ่นสารสกัดสาหร่ายความเข้มข้นที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักสดของต้น และจำนวนใบให้แก่ผักกาดหอมได้ดีกว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายที่ระดับความเข้มข้น 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้อธิบายไว้ว่าอาจเนื่องมาจากสารสกัดสาหร่าย 20 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารคลอโรฟิลล์ในปริมาณที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักกาดหอม เมื่อใช้สารสกัดสาหร่ายที่มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตที่ลดลง นอกจากนี้ งานวิจัยดังกล่าวยังพบอีกว่าการใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอัตรา 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีทางดิน ช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีตามอัตราที่แนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินได้ 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นที่น่าสังเกตว่างานวิจัยของ Thongra-ar *et al.* (2021) พบปริมาณออกซินอิสระในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเท่ากับ 0.025 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณออกซินอิสระในสารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลที่พบในการทดลองนี้เท่ากับ 0.016 มิลลิกรัมต่อลิตร ถือว่ามีปริมาณออกซินอิสระใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากงานวิจัยของ Thongra-ar *et al.* (2021) ทดสอบผลของสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับการใช้ปุ๋ยทางดิน ดังนั้น แม้มีปริมาณออกซินอิสระที่ใกล้เคียงกันแต่ปัจจัยอื่น ๆ แตกต่างกัน จึงทำให้อัตราการใช้สารสกัดสาหร่ายจึงแตกต่างกันด้วย นอกจากนี้ Niyamanon *et al.* (2002) ศึกษาการใช้ปุ๋ยจากสาหร่ายทะเล *S. polycystum* และ *Padina*

australis Hauck เพื่อเพิ่มผลผลิตกะหล่ำดอก ซึ่งพบว่า การใช้ปุ๋ยจากสาหร่ายทะเลในปริมาณ 30 กรัมต่อลิตร ทำให้กะหล่ำดอกเจริญเติบโตช้าและให้ผลผลิตที่ต่ำกว่า การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับสาหร่ายทะเลอัตรา 10 และ 20 กรัมต่อลิตร โดย Niyamanon *et al.* (2002) ได้อธิบายไว้ว่า อาจเป็นผลมาจากความเข้มข้นของปุ๋ยที่มีมากเกินไป ทำให้น้ำในเซลล์รากซึมผ่านออกจากเซลล์และทำให้การดูดซึมอาหารของรากไม่สมดุล

จากผลการทดลองพบว่า การใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ต้นคะน้ามีการเจริญเติบโตและน้ำหนักของต้นคะน้าดีกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้ใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลและปุ๋ยทางใบ ดังนั้น ผลการทดลองนี้จึงถือเป็นแนวทางหนึ่งที่เกษตรกรสามารถนำสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบต้นทุนต่ำจากจังหวัดจันทบุรีมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ ทั้งนี้ ควรใช้ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้เป็นอย่างดีเมื่อพืชได้รับธาตุอาหารในระดับที่เพียงพอและเหมาะสม

สรุป

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสามารถนำมาใช้เป็นสารส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ โดยอัตราการใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 ที่เหมาะสม คือ การใช้สารสกัดสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลอัตรา 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบสูตร 15-15-15 อัตรา 1 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ปีงบประมาณ 2564 ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Attanandana, T. and C. Chancharoensuk. 1999. Exercises and Laboratory Manual for Soil and Plant Analysis. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Battacharyya, D., M.Z. Babgohari, P. Rathor and B. Prithviraj. 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 39-48.
- Blunden, G., T. Jenkins and Y.-W. Liu. 1996. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. *Journal of Applied Phycology* 8: 535-543.
- Bremner, J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. pp. 595-624. *In*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Department of Agricultural Extension. 2008. Cruciferous vegetables (kale, cauliflower). Instruction manual. Bureau of Agricultural Commodities Promotion and Management, Bangkok. 39 p. (in Thai)
- Department of Agricultural Extension. 2016. Information on exporting fresh exotic vegetables. (Online). Available: <http://www.doa.go.th/ard/File-Upload/export/5.4.2/Vegetable59.pdf> (September 10, 2020). (in Thai)
- Halpern, M., A. Bar-Tal, M. Ofek, D. Minz, T. Muller and U. Yermiyahu. 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. pp. 141-174. *In*: D.L. Sparks (ed.). *Advances in Agronomy*. Academic Press. Delaware.
- Jackson, K.W. and T.M. Mahmood. 1994. Atomic absorption, atomic emission, and flame emission spectrometry. *Analytical Chemistry* 66(12): 252-279.
- Jarassamrit, N. 1998. Hormones and Plant Growth Regulators. Rua Khiao, Bangkok. 124 p. (in Thai)
- Jayasinghe, P.S., V. Pahalawattaarachchi and K.K.D.S. Ranaweera. 2016. Effect of seaweed liquid fertilizer on plant growth of *Capsicum annum*. *Discovery* 52(244): 723-734.
- Khan, W., U. Rayirath, S. Subramanian, M. Jithesh, P. Rayorath, M. Hodges, A. Critchley, J. Craigie, J. Norrie and B. Prithviraj. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation* 28(4): 386-399.
- Naphrom, D. and K. Sringarm. 2009. Techniques for Analyzing Plant Hormone Content. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 29 p. (in Thai)
- Niyamanon, S., S. Niyamanon and M. Saknimit. 2002. Utilization of marine algae as fertilizer to increase cauliflower production in Amphur Pa-Phyom, Phatthalung province. Thaksin University, Phatthalung. 55 p. (in Thai)
- Osotsapar, Y. 2014. Bio accelerators as plant growth promoting. *Thai Journal of Soils and Fertilizers* 36(1-4): 27-54. (in Thai)
- Sasikala, M., E. Indumathi, S. Radhika and R. Sasireka. 2016. Effect of seaweed extract (*Sargassum tenerimum*) on seed germination and growth of tomato plant (*Solanum lycopersicum*). *International Journal of ChemTech Research* 9(9): 285-293.

- Spinelli, F., G. Fiori, M. Noferini, M. Sprocatti and G. Costa. 2010. A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. *Scientia Horticulturae* 125: 263-269.
- Sukho, P., S. Chaikul, N. Chanasit and T. Pankasemsuk. 2017. Effects of GA₃, NAA and brassin-like substance (BS) on size and weight of rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrian). *Journal of Agriculture* 33(2): 175-184. (in Thai)
- Sutharsan, S., S. Nishanthi and S. Srikrishnah. 2014. Effect of foliar application of seaweed (*Sargassum crassifolium*) liquid extract on the performance of *Lycopersicon esculentum* mill. in sandy regosal of Batticaloa district Sri Lanka. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 14(12): 1386-1396.
- Thongra-ar, P., S. Kaewsuralikhit, K. Chatchaisiri, K. Suvittawat, P. Phenchang, N. Thaweenut and P. Saradhulthat. 2017. The combination of blue-green algae extract and foliar fertilizer accelerates growth in micro- propagated banana 'Namwa Pakchong 50'. *Songklanakarin Journal of Plant Science* 4(4): 16-21. (in Thai)
- Thongra-ar, P., S. Kaewsuralikhit, P. Meunchang, K. Prongjunthuek, P. Kanchanakesorn and S. Sangtavee. 2021. Effect of cyanobacterial extract on growth and yield of lettuce. Final Report. Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok. 16 p. (in Thai)
- Tongumpai, P. 1994. Plant Hormones and The Synthetics: Potential Uses in Thailand. 4th ed. Kasetsart University, Bangkok. 196 p. (in Thai)
-

ผลของการเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของโภชนา ผลผลิต และองค์ประกอบของน้ำนมในโคให้นม

Effects of Bypass Protein-Fat Mixed Product Supplementation on Feed Intake, Nutrient Digestibility, Milk Production, and Milk Composition in Lactating Dairy Cows

ดวงฤทัย สวรรค์ทอง¹ วุฒิกร สระแก้ว² สุกัญญา พูลทจิตร¹
อติชาติ ทองนา³ และ ชลอง วชิราภรณ์^{*}
Duangruethai Sawanthong¹, Wuttikorn Srakaew², Sukunya Poolthajit¹,
Athichat Thongnum³ and Chalong Wachirapakorn^{*}

¹สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น 40002

¹Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

²ภาควิชาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน จ. น่าน 55000

²Department of Animal Science and Fisheries, Faculty of Science and Agricultural Technology,

Rajamangala University of Technology Lanna, Nan 55000, Thailand

³ภาควิชาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก จ. พิษณุโลก 65000

³Department of Animal Science and Fisheries, Faculty of Science and Agricultural Technology,

Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok 65000, Thailand

^{*}Corresponding author: Email: chal_wch@kku.ac.th

(Received: 21 March 2022; Accepted: 4 April 2023)

Abstract: The objective of this study was to evaluate the effects of bypass protein-fat mixed product (BFPF) supplementation on feed intake, nutrient digestibility, milk production and milk composition in dairy cows. The experiment was arranged in a 4 x 4 Latin square design. There were 4 periods and each period lasted for 21 days. Four crossbred Holstein Friesian cows with initial weight of 537.56 ± 3.19 kg and 80.0 ± 12.40 days in milk were assigned to receive one of four total mixed ration (TMR) diets that varied by 4 levels of BFPF supplementation at 0, 150, 300 and 450 g/day. The TMR was composed of concentrated ingredients to roughage (rice straw) at ratio of 60:40. The TMR contained 16.0% CP and 2.7 Mcal ME/kgDM. Animals were top-dressed with concentrate (21% CP) at a rate of 2 kg/hd/day. The results reveal that the BFPF supplementation had no effect ($P > 0.05$) on daily intake of dry matter (DM) (calculated as kg DM, %BW, and g/kgW^{0.75}) and other nutrients such as organic matter (OM), neutral detergent fiber (NDF) intake (kgDM/d). However, as BFPF levels increased, crude protein (CP) and ether extract (EE) intake showed trends for increased linearly ($P < 0.05$), while acid detergent fiber (ADF) intake decreased linearly ($P < 0.05$). When BFPF was added, the apparent digestibility of DM ($P = 0.08$), organic matter (OM) ($P = 0.07$), and CP ($P = 0.09$) increased linearly, while ADF digestibility linearly decreased ($P = 0.08$). Milk yield and milk

composition did not differ significantly ($P > 0.05$) among dietary treatments. Based on the results of this experiment, it was concluded that BFP supplementation at any level had no effect on milk production or milk composition in lactating dairy cows.

Keywords: Bypass fat-protein, digestibility, milk yield, milk composition, dairy cows

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อประเมินผลของการเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของโภชนะ ผลผลิตและคุณภาพน้ำนมของโคนม โดยใช้โคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน ที่มีน้ำหนักตัวเริ่มต้นเฉลี่ย 537.56 ± 3.19 กิโลกรัม จำนวนวันที่ให้นมเริ่มต้นเฉลี่ย 80 ± 12.40 วัน จำนวน 4 ตัว วางแผนการทดลองแบบ 4×4 จตุรัสลาติน แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ระยะ โดยมีระยะการทดลองละ 21 วัน และทำการสุมให้โคนมได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จที่เสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่าน (bypass protein-fat mixed product, BFP) ที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 150, 300 และ 450 กรัมต่อวัน โดยสูตรอาหารผสมสำเร็จทุกสูตรมีระดับโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 2.7 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง โดยมีสัดส่วนระหว่างอาหารชั้นต่ออาหารหยาบเท่ากับ 60:40 และใช้ฟางข้าวเป็นแหล่งของอาหารหยาบ และมีอาหารชั้น (โปรตีน 21 เปอร์เซ็นต์) 2 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มระดับผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ในหน่วยกิโลกรัมวัตถุดิบแห้งต่อตัวต่อวัน ปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักตัว ปริมาณการกินได้ต่อน้ำหนักตัวเมแทบอลิก และ โภชนะอื่น ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มระดับผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านมีค่าปริมาณการกินได้ของโปรตีนและไขมัน มีค่าเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) แต่ปริมาณการกินได้ของเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) มีค่าลดลง ($P < 0.05$) นอกจากนี้ มีผลให้มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงของการย่อยได้ของวัตถุดิบแห้ง ($P = 0.08$) โปรตีน ($P = 0.07$) และไขมัน ($P = 0.09$) ขณะที่การย่อยได้ของเยื่อใย ADF ลดลงเป็นเส้นตรง ($P = 0.08$) เมื่อมีการเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่าน การเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม ($P > 0.05$) จากผลของการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่าการใช้ผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่าน ในทุกระดับไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม ในโคนมที่ให้นม

คำสำคัญ: ไขมัน-โปรตีนไหลผ่าน การย่อยได้ ผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม โคนม

คำนำ

การให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับภาครัฐมีนโยบายพัฒนาคุณภาพน้ำนมโคเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยเน้นไปที่อาหารในการเลี้ยงโคนมซึ่งส่งผลให้น้ำนมดิบมีปริมาณเพิ่มขึ้นและคุณภาพดีขึ้น (Department of Livestock Development, 2020) นั้นหมายถึงโคนมในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะให้ผลผลิตสูงขึ้นซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความเปลี่ยนแปลงของ

ความต้องการโภชนะเพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตสำหรับโคนมที่ให้ผลผลิตสูงโดยเฉพาะในช่วงแรกของการให้นม (early lactation) การที่โคนมได้รับพลังงานจากอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตน้ำนม และองค์ประกอบนม (ไขมันและโปรตีนน้ำนม) จึงต้องดึงเอาพลังงานและโปรตีนที่สะสมไว้มากใช้เพื่อการผลิตน้ำนม (Phonkert, 2017) โดยปัจจุบันได้มีนวัตกรรมการผลิตไขมันไหลผ่านและโปรตีนไหลผ่านเสริมในอาหารชั้น เพื่อให้โคนมสามารถย่อยและดูดซึมไป

ใช้ได้โดยตรง ในกรณีการขาดพลังงาน ควรเสริมไขมันในอาหารแม่โคเพื่อให้ได้รับพลังงานสูงขึ้น อย่างไรก็ตามหากสัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับอาหารที่มีไขมันสูงพบว่าไขมันไปเคลือบเยื่อใย ทำให้จุลินทรีย์เข้าไปยึดเกาะขึ้นอาหารจึงไม่สามารถย่อยได้ (Wachirapakorn, 2017) ดังนั้นไขมันที่เสริมจึงควรอยู่ในรูป ของไขมันไหลผ่าน (by-pass fat) Nakai (2013) รายงานว่า การเสริมไขมันไหลผ่าน สามารถเพิ่มปริมาณน้ำนม แต่องค์ประกอบน้ำนมมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย นอกจากนี้ Piamphon *et al.* (2009) ทำการเสริมไขมันไหลผ่านที่มี CLA เป็นองค์ประกอบพบว่า สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำนมและ CLA ในไขมันนมด้วย Hantai *et al.* (2020) พบว่าการเสริมไขมันไหลผ่านจากน้ำมันที่ระดับ 3 เปอร์เซ็นต์ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ได้และยังส่งผลให้มีปริมาณของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้อยู่ในระดับที่สูงซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของโคนมในระยะให้นม Phakachoe and Meeprom (2020) พบว่า การเสริมไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มในอาหารโครีดนมที่ระดับ 300 กรัมต่อวัน ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง ปริมาณน้ำนม องค์ประกอบน้ำนมในส่วนของโปรตีนและแลคโตส แต่ไขมันน้ำนมมีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นและส่งผลให้ปริมาณของแข็งรวมในน้ำนม (TS) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น Leiva *et al.* (2018) ทำการเสริมไขมันไหลผ่านเพื่อลดการใช้แบ่งเป็นแหล่งพลังงานทำให้ระดับของพลังงานที่โคได้รับมีปริมาณพลังงานสุทธิที่เท่ากัน และการเสริมกรดไขมันจากน้ำมันปาล์มในแพนมนพบว่า ปริมาณของน้ำนมไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมเมื่อมีการควบคุมพลังงานที่ได้รับของสัตว์ (Eknaes *et al.*, 2017)

โดยทั่วไปสารประกอบไนโตรเจนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1. โปรตีนแท้ (true protein) 2. ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) อย่างไรก็ตาม โปรตีนที่ไหลออกจากกระเพาะรูเมนแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ คือ 1. โปรตีนของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดจากโปรตีนในอาหารที่ย่อยสลายได้ง่ายในรูเมน (ruminal degradable protein, RDP) และ 2. โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (ruminal

undegradable protein, RUP) หรือโปรตีนไหลผ่าน (by-pass protein) แต่เนื่องจากโปรตีนส่วนแรกมีปริมาณจำกัด จึงไม่เพียงพอต่อความต้องการของโคที่ให้นมสูง (Schwab, 1995) จึงต้องเสริมโปรตีนไหลผ่านเพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ Thapa *et al.* (2019) พบว่าการเสริมโปรตีนไหลผ่านจากกากถั่วเหลืองอัดน้ำมันที่ผ่านการอบด้วยความร้อน (heat treated soybean cake) พบว่า สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนมและโปรตีนในน้ำนม สอดคล้องกับการศึกษาของ Tiwari *et al.* (2018) พบว่า เสริมโปรตีนไหลผ่านจากกากถั่วเหลืองอัดน้ำมันที่ผ่านการอบด้วยความร้อน (heat treated soybean cake) ส่งผลทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นและยังส่งผลทำให้องค์ประกอบน้ำนมเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนโปรตีนนมและของแข็งในน้ำนม นอกจากนี้ การเสริมไขมันไหลผ่านร่วมกับโปรตีนไหลผ่านส่งผลทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นและยังส่งผลทำให้องค์ประกอบน้ำนมเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนของไขมันนม โปรตีนนมและของแข็งในน้ำนม ดังรายงานของ Thakur and Shelke (2010) รายงานว่า การเสริมไขมันไหลผ่านร่วมกับโปรตีนไหลผ่านในสูตรอาหารสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมทั้งโปรตีนและไขมันนมได้ ทั้งนี้ เนื่องมาจากการเสริมไขมันไหลผ่านร่วมกับโปรตีนไหลผ่านทำให้สัตว์ได้รับกรดไขมันและกรดอะมิโนไหลผ่านไปยังทางเดินอาหารส่วนท้ายมากขึ้น และส่งผลดีต่อการเพิ่มองค์ประกอบน้ำนม (Shelke and Thakur, 2011) จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเสริมไขมันไหลผ่านและโปรตีนไหลผ่านในสูตรอาหารสำหรับโคนมน่าจะเป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมได้ ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้จึงมีความสนใจศึกษาผลของการเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่าน (bypass protein-fat mixed product, BFPF) ต่อ ปริมาณการกินได้ การย่อยได้ และคุณภาพน้ำนมของโคนม

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้ได้ผ่านการพิจารณาของคณะกรรมการจริยบรรณและมาตรฐานการเลี้ยงสัตว์ทดลองเพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ลำดับที่ จส.มข. 84/2562 วันที่อนุมัติ 15 ตุลาคม 2562 โดยยึดหลักเกณฑ์จริยบรรณการใช้สัตว์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

สัตว์ทดลอง

การทดลองนี้ใช้โคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์-ฟรีเซียน (Crossbred Holstein Friesian) น้ำหนักตัวเริ่มต้นเฉลี่ย 537.56 ± 3.19 กิโลกรัม มีผลผลิตน้ำนมเฉลี่ย จำนวนวันที่ให้นม (day in milk, DIM) เฉลี่ย 80 ± 12.40 วัน จำนวน 4 ตัว โคทดลองทุกตัวมีสุขภาพสมบูรณ์ ได้รับการถ่ายพยาธิทั้งภายในและภายนอก ก่อนเข้างานทดลอง 2 สัปดาห์ จากนั้นสุ่มโคแต่ละตัวเข้าในคอกขังเดี่ยว

แผนการทดลองและสูตรอาหารทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ 4×4 จตุรัสละติน (latin square design) โดยใช้โคนมทดลองจำนวน 4 ตัว และระยะการทดลอง (period) ละ 21 วัน จำนวน 4 ระยะการทดลอง มีระยะพักระหว่างช่วงการทดลอง 3 วัน เพื่อปรับสัตว์ที่มีการปรับเปลี่ยนสูตรอาหารทดลอง ทุกระยะการทดลอง ในแต่ละระยะการทดลองมีอาหารครบทั้ง 4 สูตร เมื่อทดลองครบหนึ่งระยะเวลาการทดลองแล้ว โคทดลองแต่ละตัวจะเปลี่ยนไปรับอาหารทดลองสูตรอื่นโดยไม่ซ้ำกัน จนครบทั้ง 4 สูตร สูตรอาหารผสมสำเร็จที่ใช้ทดลองในครั้งนี้ คำนวณให้มีโภชนะตามความต้องการของโคนมที่ให้น้ำนมเฉลี่ย 20 ± 5.00 กิโลกรัมต่อวัน ไขมันนม 4 เปอร์เซ็นต์ โดยมีระดับโปรตีนหยาบเท่ากับ 16 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 2.7 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง โดยมีสูตรอาหารทดลอง คือ สูตรอาหารผสมสำเร็จที่มีสัดส่วนวัตถุดิบอาหารชั้นต่ออาหารหยาบ 60 : 40 และใช้ฟางข้าวเป็นแหล่งของอาหารหยาบ (Table 1) และมีการให้อาหารชั้นโปรตีนสูง (21

เปอร์เซ็นต์) วันละ 2 กิโลกรัมต่อตัว เนื่องจากก่อนเริ่มการทดลองโคนมได้รับอาหารชั้นอยู่แล้ว เพื่อลดผลกระทบด้านผลผลิตและสุขภาพต่อตัวสัตว์ แล้วเสริมด้วยผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่าน (bypass protein-fat mixed product, BFPF) ในระดับที่แตกต่างกันตามสูตรอาหารทดลองทั้งหมด 4 สูตร ดังนี้ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม (ไม่เสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่าน) กลุ่มที่ 2, 3 และ 4 เสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่าน 150, 300 และ 450 กรัมต่อวัน โคนมแต่ละตัวได้รับอาหารสูตรผสมสำเร็จร่วมกับผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านตามสูตรอาหารทดลอง โดยมีสูตรอาหารผสมสำเร็จให้กินเต็มที่ (*ad libitum*) แบ่งให้วันละ 2 เวลา คือ หลังรีดนมตอนเช้า (07.30 น.) และหลังรีดนมตอนเย็น (16.00 น.) อาหารชั้นโปรตีนสูงให้ในระหว่างรีดนม และมีน้ำสะอาดและแร่ธาตุก้อนให้โคนมตลอดเวลา องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองแสดงใน Table 1

การเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การเก็บบันทึกปริมาณอาหารที่ให้และอาหารที่เหลือในแต่ละวัน ชั่งน้ำหนักโคนมทดลอง คือ ก่อนทดลอง และในวันที่ 21 ของแต่ละระยะการทดลอง เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว และเพื่อนำค่าน้ำหนักตัวที่ได้มาคำนวณหาปริมาณการกินได้ในหน่วยกิโลกรัมต่อวัน (kg/d), เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว (%BW) และกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวเมแทบอลิก ($\text{g/kgW}^{0.75}$) เก็บบันทึกปริมาณผลผลิตน้ำนมในแต่ละวัน และเก็บตัวอย่างน้ำนมเพื่อวิเคราะห์หาโปรตีน (protein) ไขมัน (fat) น้ำตาลแลคโตส (lactose) ของแข็งไม่รวมไขมัน (solids not fat) ของแข็งทั้งหมด (total solid, TS) โดยเครื่อง Milkoscan FT1 และวิเคราะห์ไขมันตักเซลล์ (somatic cell count, SCC) โดยเครื่อง Fossomatic (Fossomatic 250[®], Foss Electric, Hillerød, Denmark)

การสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารและมูลโคทุกตัว โดยสุ่มเก็บติดต่อกัน 5 วัน ในวันที่ 17 ถึง วันที่ 21 ของแต่ละระยะการทดลอง โดยเก็บตัวอย่างอาหารและตัวอย่างมูล

Table 1. Ingredients of the total mixed ration (TMR) and chemical composition of TMR, concentrate and bypass protein-fat product

Item	TMR
Ingredients, kg as fed basis	
Rice straw	25
Cassava chip	33
Soybean meal	22
DDGS	31.4
Concentrate CP18%	11
Rice bran	11
Cassava pulp, fresh	50
Premix	0.5
Salt	0.5
Dicalcium phosphate	1.0
Total	185.4

แบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณวัตถุแห้ง นำค่าที่ได้ไปปรับปริมาณการกินได้ของอาหาร โดยคิดต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง และส่วนที่ 2 นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำไปต้มผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง (dry matter, DM), เถ้า (ash), ไขมัน (ether extract, EE) และโปรตีนหยาบ (crude protein, CP) ตามวิธีของ AOAC (1985) และวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อใย ได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) ตามวิธีของ Van Soest *et al.* (1991) และวิเคราะห์หา AIA ตามวิธีของ Van Keulen and Young (1977) เพื่อกำหนดหาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ ตามวิธีของ Schneider and Flatt (1975) โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$\begin{aligned} &\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (\%)} \\ &= 100 - [100 \times \% \text{ AIA ในอาหาร} \% \text{ AIA ในมูล}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ (\%)} \\ &= 100 - [100 \times (\% \text{ AIA ในอาหาร} \times \% \text{ โภชนะ} \\ &\quad \text{ในมูล}) / (\% \text{ AIA ในมูล} \times \% \text{ โภชนะในอาหาร})] \end{aligned}$$

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบ 4 x 4 และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยทรีทเมนต์เพื่อทดสอบแนวโน้มโดยวิธี orthogonal polynomial โดยใช้ Proc GLM (Statistical Analysis System, 2002)

$$\begin{aligned} Y_{ijk} &= \mu + \rho_i + \gamma_j + \tau_k + \varepsilon_{ijk} \\ \text{โดย } Y_{ijk} &= \text{ค่าสังเกต} \\ \mu &= \text{ค่าเฉลี่ยทั้งหมด} \\ \rho_i &= \text{อิทธิพลเนื่องจากเวลา (period)} \\ &\quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, 3 \text{ และ } 4 \\ \gamma_j &= \text{อิทธิพลเนื่องจากสัตว์ (animal)} \\ &\quad \text{เมื่อ } j = 1, 2, 3 \text{ และ } 4 \\ \tau_k &= \text{อิทธิพลเนื่องจากทรีทเมนต์ (treatment)} \\ &\quad \text{เมื่อ } k = 1, 2, 3 \text{ และ } 4 \\ \varepsilon_{ijk} &= \text{ความคลาดเคลื่อน} \end{aligned}$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลอง (Table 2) โดยสูตรอาหารผสมสำเร็จมีโปรตีน เท่ากับ 16.28 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ ไขมัน 2.16 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 2.68 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ และอาหารชั้นโปรตีนสูง มีโปรตีน เท่ากับ 26.25 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ ไขมัน 3.69 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 3.18 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ ส่วนผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่าน มีโปรตีน เท่ากับ 28.21 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ ไขมัน 28.77 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 3.21 เมกะแคลอรีต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ

ผลของการเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านในสูตรอาหารผสมสำเร็จต่อปริมาณการกินได้

ผลของการเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านในโครีดนมไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ วัตถุดิบของอาหาร และการกินได้ของวัตถุดิบทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตาม โครีดนมที่ได้รับการเสริมโปรตีนและไขมันไหลผ่านที่ระดับ 300 กรัมต่อวัน มีปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบที่มีค่าสูงที่สุดในโคนมที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จ

ที่มีผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่าน (Table 3) สอดคล้องกับการศึกษาของ Phakachoe and Meeprom (2020) พบว่า การเสริม Ca-PO (Ca-salt of palm oil fatty acid) ที่ระดับ 300 กรัมต่อวัน ในอาหารโครีดนมไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ แต่มีปริมาณพลังงานสุทธิที่ได้รับสูงกว่ากลุ่มควบคุม Phonkert (2017) รายงานว่า การเสริม Ca-PO ที่ระดับ 0, 150 และ 300 กรัมต่อวัน ไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคนม และไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ นอกจากนี้ Leiva *et al.* (2018) เสริม Ca-PO ในโครีดนมที่ระดับ 8 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ ไม่พบความแตกต่างของการกินได้ อย่างไรก็ตาม การเสริมไขมันในอาหารโครีดนมส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ของโคที่เป็นผลจากการย่อยสลายเยื่อใยภายในกระเพาะหมักของโคมีระดับที่ลดลงทำให้อัตราการไหลผ่านของอาหารมีการไหลผ่านที่ต่ำ ทั้งนี้ โคนมที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรในการทดลองนี้ มีปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบที่มีค่าใกล้เคียงกับความต้องการปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ ตามน้ำหนักตัวโค การให้ผลผลิตน้ำนมและไขมันนมจากการประเมินโดย NRC (2001) (Table 2) ดังนั้น โคนมในการทดลองครั้งนี้ได้รับวัตถุดิบเพียงพอต่อความต้องการของโคนมและส่วนที่เกินความต้องการนั้น โคนมสามารถนำไปใช้เพื่อการให้น้ำหนักตัวได้

Table 2. Chemical composition of TMR, concentrate and bypass protein-fat product

Item	TMR	Concentrate	Bypass protein-fat mixed product
Dry matter (DM), %	61.93	92.19	95.18
----- %DM -----			
Organic matter (OM)	91.19	90.76	72.09
Crude protein (CP)	16.28	26.25	28.21
Ether extracts (EE)	2.16	3.69	28.77
Neutral detergent fiber (NDF)	63.12	23.08	23.04
Acid detergent fiber (ADF)	23.70	14.33	14.25
Ash	8.81	9.24	27.91
ME ¹ , Mcal/kgDM	2.68	3.18	3.21

¹Metabolizable energy (ME) calculated from chemical composition of each feed (Harris *et al.*, 1972)

Table 3. Effect of bypass protein-fat product on dry matter intake and nutrient intake in lactating dairy cows

Items	Bypass protein-fat mixed product, g/d				SEM	P-value			
	0	150	300	450		C vs BPFP	L	Q	C
Avg. BW, kg	534.71	535.07	541.05	538.51	1.94	0.16	0.09	0.46	0.17
DM intake									
TMR, kg/d	16.99	15.58	17.33	17.31	0.68	0.31	0.41	0.35	0.16
Concentrate, kg/d	1.84	1.84	1.84	1.84	-	-	-	-	-
BPFP, kg/d	0.00	0.14	0.29	0.43	-	-	-	-	-
Total, kg/d	18.83	17.57	19.46	19.58	0.68	0.24	0.22	0.35	0.15
%BW	3.45	3.25	3.55	3.56	0.13	0.36	0.28	0.47	0.21
g/kgW ^{0.75}	166.60	156.67	171.60	172.35	6.07	0.33	0.26	0.44	0.21
Nutrient intake									
OM, kg/d	16.94	16.14	17.73	17.86	0.62	0.28	0.17	0.48	0.22
CP, kg/d	3.20 ^{ab}	2.90 ^b	3.54 ^a	3.51 ^a	0.10	0.02	0.02	0.25	0.01
EE, kg/d	0.42 ^C	0.45 ^c	0.51 ^b	0.58 ^a	0.01	0.001	<0.01	0.20	0.73
NDF, kg/d	11.92	10.33	10.97	11.42	0.43	0.17	0.68	0.06	0.26
ADF, kg/d	5.03 ^a	3.85 ^b	4.26 ^b	3.97 ^b	0.17	0.11	0.01	0.24	0.02
Energy intake ¹									
ME, Mcal/d	45.15	45.10	49.18	50.20	1.72	0.17	0.05	0.76	0.39
Nutrient Requirement ²									
DMI, kg/d	18.53	18.92	18.55	18.60	0.17	0.45	0.84	0.36	0.17
CP, kg/d	2.39	2.50	2.50	2.41	0.06	0.31	0.84	0.16	0.92
ME, Mcal/d	43.35	44.83	44.88	43.65	0.81	0.29	0.80	0.14	0.97

Avg. BW = Average body weight, TMR = total mixed ration, BPFP = bypass protein-fat mixed product,

¹ 1 kg DOM = 3.8 Mcal ME (Kearl, 1982)

² Calculated according to NRC (2001)

C = control group, BPFP = bypass protein-fat mixed product group

SEM = Standard errors of the mean

^{a,b} Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

Probability of a Linear (L), quadratic (Q), and cubic (C) effects of bypass fat-protein levels

ผลของการเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านในสูตรอาหารผสมสำเร็จต่อสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้

การเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านไม่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ โปรตีนหยาบ ไขมัน เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (NDF) และเยื่อใยที่ไม่ละลาย

ในสารฟอกที่เป็นกรด (ADF) ($P > 0.05$) โดยโคนมที่ทำการเสริมผลิตภัณฑ์โปรตีนและไขมันไหลผ่านค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ โปรตีนหยาบ ไขมัน เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF มีค่าเท่ากับ 677.41-71.6, 70.11-74.22, 72.02-76.05, 82.51-87.22, 63.31-66.93 และ 44.63-52.11 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 4 ซึ่งสอดคล้องกับรายงาน

ของ Hartati *et al.* (2014) Ranaweera *et al.* (2019) เสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มในรูปเกลือ แคลเซียมของกรดไขมันสายยาว (calcium salt of long chain fatty acid) ที่ระดับ 200 กรัมต่อวัน โดยการผสม ในอาหาร TMR พบว่า ไม่ส่งผลต่อการย่อยได้ในกระเพาะ หมัก นอกจากนี้ Hantai *et al.* (2020) พบว่า การเสริม ไขมันไหลผ่านจากน้ำมันผสมในอาหารโคนมที่ระดับ 3 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อการย่อยได้ใน หลอดทดลอง ทั้งนี้ ไขมันที่ได้รับการป้องกันส่งผลให้ มีการหมักย่อยในกระเพาะหมักต่ำ และส่งผลให้มีการผลิตแก๊สลดลงไปด้วย (Mohammadian-Tabtizi *et al.*, 2011) สำหรับโปรตีนหยาบที่โคนมได้รับในสูตร อาหารผสมสำเร็จทั้ง 4 สูตร มีค่าอยู่ระหว่าง 3.20 - 3.54 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งมีค่าสูงกว่า NRC (2001) ที่รายงาน ว่า โคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมประมาณ 20 - 25 กิโลกรัมต่อวัน ควรได้รับโปรตีนที่น้อยได้้อยู่ระหว่าง 2.5 - 3.0 กิโลกรัม ต่อวัน เนื่องจากโคนมกลุ่มที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จ

ที่มีผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านที่ระดับ 300 และ 450 กรัมต่อวัน มีปริมาณการกินได้และ สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนและไขมันที่มี แนวโน้มสูงกว่ากลุ่มอื่น จึงส่งผลให้การได้รับโภชนา ใน ส่วนของโปรตีนและไขมันสูงกว่ากลุ่มอื่นด้วย ส่งผล ให้ระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ที่โคนมได้รับมี ค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ถึงแม้ว่าระดับโปรตีนและ พลังงานที่โคนมได้รับในสูตรอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่พบว่า มีค่าสูงกว่าความต้องการโปรตีนและพลังงานในการใช้ เพื่อการผลิตน้ำนมจากการประเมินโดย NRC (2001) (Table 4) โดยมีค่าความต้องการโปรตีน เท่ากับ 2.39, 2.50, 2.500 และ 2.41 กิโลกรัมต่อวัน และความต้องการ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 43.35, 44.83, 44.88 และ 43.65 เมกะแคลอรีต่อวัน ในโคนที่ได้รับสูตร อาหารทดลอง ตามลำดับ

Table 4. Effect of bypass protein-fat mixed product on nutrient digestibility in lactating dairy cows

Items	Bypass protein-fat mixed product, g/d				SEM	P-value			
	0	150	300	450		C vs BPFP	L	Q	C
Apparent digestibility, %									
DM	67.41	70.46	69.97	71.60	1.28	0.23	0.08	0.60	0.36
OM	70.11	73.52	73.03	74.22	1.21	0.19	0.07	0.40	0.34
CP	72.18	72.02	75.96	76.05	1.75	0.27	0.09	0.94	0.35
EE	82.51	87.22	85.79	87.17	1.86	0.33	0.18	0.41	0.32
NDF	65.60	65.16	63.31	66.93	1.66	0.53	0.78	0.27	0.93
ADF	52.11	46.85	45.16	44.63	2.60	0.26	0.08	0.40	0.84

C = control group, BPFP = bypass protein-fat mixed product group

SEM = Standard errors of the mean,

^{a,b} Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

Probability of a Linear (L), quadratic (Q), and cubic (C) effects of bypass fat-protein levels

ผลของการเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านในสูตรอาหารผสมสำเร็จต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม

การเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำนม (Table 5) แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Phakachoe and Meeprom (2020) และ Leiva *et al.* (2018) ที่เสริมกรดไขมันไหลผ่านจากน้ำมันปาล์มในรูปเกลือ แคลเซียมของกรดไขมันสายยาว 300 กรัมต่อวัน ไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำนม แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Meshram *et al.* (2016) พบว่า การเสริมไขมัน

ไหลผ่านสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น 12.73 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของกรดไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้องขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมัน โดยกรดไขมันปาล์มมีดีกามีประสิทธิภาพที่สูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวจึงเป็นผลให้การเสริมกรดปาล์มดีกในอาหาร สามารถเพิ่มปริมาณน้ำนมได้ (Piantoni *et al.*, 2013) การเพิ่มขึ้นของผลผลิตน้ำนมจากการเสริมพลังงานมีปริมาณน้อยซึ่งแตกต่างจากสัตว์ที่มีประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมที่สูงหากได้รับพลังงานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำนมมีการเพิ่มขึ้นในปริมาณที่สูงมากกว่า (Eknaes *et al.*, 2017) ในส่วน

Table 5. Milk yield and milk composition in lactating dairy cows supplemented with various levels of bypass protein-fat product

Items	Bypass protein-fat mixed product, g/d				SEM	P-value			
	0	150	300	450		C vs BPFP	L	Q	C
Milk yield, kg/d	23.08	23.67	23.92	23.17	0.773	0.59	0.88	0.42	0.86
4%FCM ¹ , kg/d	21.78	23.04	22.94	21.97	0.658	0.29	0.88	0.14	0.87
Milk composition									
Fat, %	3.59	3.84	3.71	3.65	0.102	0.25	0.89	0.17	0.35
Protein, %	3.01	2.91	2.99	2.92	0.044	0.22	0.39	0.75	0.13
Lactose, %	4.71	4.63	4.76	4.75	0.034	0.98	0.16	0.29	0.07
SNF, %	8.39	8.26	8.45	8.32	0.073	0.58	0.92	0.99	0.09
TS, %	12.10	12.17	12.30	12.16	0.127	0.49	0.63	0.43	0.58
Composition production									
Fat, kg/d	0.84	0.91	0.89	0.85	0.026	0.19	0.88	0.07	0.69
Protein, kg/d	0.70	0.69	0.72	0.67	0.022	0.92	0.68	0.43	0.37
Lactose, kg/d	1.09	1.10	1.14	1.10	0.041	0.63	0.69	0.59	0.58

4%FCM = 4%Fat corrected milk, SNF = solid not fat, TS = total solid, SCC = somatic cell count,

C = control group, BPFP = bypass protein-fat mixed product group

¹4%FCM = $0.4 \times \text{milk yield (kg/d)} + 15 \times \text{fat yield (kg/d)}$

SEM = Standard errors of the mean

^dProbability of a Linear (L), quadratic (Q), and cubic (C) effects of bypass fat-protein levels

ขององค์ประกอบน้ำนมพบว่า เสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านไม่ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบน้ำนมในส่วนของการโปรตีน น้ำตาลแลคโตส ของแข็งไม่รวมไขมัน และของแข็งทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) สอดคล้องกับ Phonkert (2017) เสริมไขมันไหลผ่านในรูป Ca-POFA ที่ระดับ 0, 150 และ 300 กรัมต่อวัน พบว่า ไม่ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบน้ำนม นอกจากนั้น Saksombat and Lounglawan (2008) ทำการศึกษาการเสริมไขมันไหลผ่านในอาหารของโคนมปริมาณ 300 กรัมต่อวัน ไม่พบความแตกต่างของผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมในโคนม และสอดคล้องกับการศึกษาของ Akhlaghi *et al.* (2020) พบว่า การเสริมไขมันไหลผ่าน ทั้งระดับสูงและระดับต่ำส่งผลทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำนม ปริมาณไขมันนม โปรตีน และปริมาณยูเรียในน้ำนม ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ Mobeen *et al.* (2019) พบว่า การเสริมไขมันไหลผ่านที่ระดับ 350 กรัมต่อวัน ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในน้ำนมมากกว่าการเสริม 0 และ 250 กรัมต่อวัน แต่ไม่แตกต่างจาก 450 กรัมต่อวัน ซึ่งการเสริมไขมัน 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ มีผลในการเพิ่มผลผลิตน้ำนม ในขณะที่เมื่อเสริมไขมัน เกินกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลง (Phonkert, 2017) อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Phakachoe and Meeprom (2020) เสริม Ca-PO ในอาหารโครีดนมที่ระดับ 300 กรัมต่อวัน ส่งผลให้ปริมาณน้ำนม องค์ประกอบน้ำนมในส่วนของการโปรตีนและแลคโตสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเสริมไขมันไหลผ่านทำให้ไขมันน้ำนมและปริมาณของแข็งรวมในน้ำนมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น Thapa *et al.* (2019) พบว่า เสริมโปรตีนไหลผ่านในรูปของกากถั่วเหลืองอัดน้ำมันที่ผ่านการอบด้วยความร้อนส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบน้ำนมเพิ่มขึ้น Garg *et al.* (2002) พบว่า เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้นในโคและกระบือที่เสริมด้วยโปรตีน-ไขมันไหลผ่าน แสดงให้เห็นว่าโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนหรือโปรตีนไหลผ่าน ในโคนมที่ให้ผลผลิตสูงมากกว่า 20 กิโลกรัมต่อวัน อาจได้รับโปรตีนจุลินทรีย์ไม่เพียงพออาจจำเป็นที่จะต้องได้รับโปรตีนไหลผ่านเพิ่มขึ้น (Wachirapakorn, 2017)

สำหรับประสิทธิภาพการใช้อาหารต่อผลผลิตน้ำนม (feed efficiency, FE) ผลผลิตน้ำนมปรับค่าพลังงาน (energy corrected milk, ECM) ในการทดลองครั้งนี้ (Table 6) พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) สอดคล้องกับปริมาณการกินได้ และปริมาณผลผลิตน้ำนมที่ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม สัดส่วนของไขมันต่อโปรตีน (fat to protein ratio, F:T) พบว่าการเสริมผลิตภัณฑ์โปรตีนและไขมันไหลผ่านในโคนมที่ระดับ 150 กรัมต่อวัน ไม่แตกต่างกับระดับที่การเสริมที่ 300 และ 450 กรัมต่อวัน แต่มีค่าสูงกว่าในโคนมที่ไม่ได้รับการเสริมผลิตภัณฑ์โปรตีนและไขมันไหลผ่านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อาจเป็นผลจากการเพิ่มไขมันไหลผ่านจากผลิตภัณฑ์โปรตีนและไขมันไหลผ่านมีการสังเคราะห์ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนมที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน (nitrogen utilization efficiency, NUE) มีค่าลดลงเมื่อระดับการเสริมผลิตภัณฑ์โปรตีนและไขมันไหลผ่านเพิ่มสูงขึ้น โดยพบว่าระดับที่การเสริมที่ 300 และ 450 กรัมต่อวันส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนลดลง ($P < 0.05$) ทั้งนี้ อาจเกิดเนื่องจากการที่โคนมได้รับการเสริมผลิตภัณฑ์โปรตีนและไขมันไหลผ่านในระดับที่สูงส่งผลทำให้โปรตีนที่ได้รับสูงขึ้นเกินกว่าความต้องการในการนำไปใช้ผลิตเป็นน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม (Table 2) สอดคล้องกับรายงานของ Rodriguez *et al.* (1997) ที่รายงานว่าระดับโปรตีนที่สูงขึ้นในสูตรอาหารส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนลดลง นอกจากนี้ การเสริมผลิตภัณฑ์โปรตีนและไขมันไหลผ่านในโคนม พบว่า ไม่มีผล ($P > 0.05$) ต่อค่าจำนวนเซลล์โซมาติก (somatic cell count, SCC) และค่าคะแนนโซมาติกเซลล์ (somatic cell score, SCS) ในน้ำนม

Table 6. Feed efficiency, energy corrected milk, fat to protein ratio, nitrogen utilization efficiency, somatic cell count and somatic cell score in lactating dairy cows supplemented with various levels of bypass protein-fat product

Items	Bypass protein-fat mixed product, g/d				SEM	P-value			
	0	150	300	450		C vs BPFP	L	Q	C
Feed efficiency ¹	1.31	1.26	1.20	1.23	0.04	0.24	0.10	0.30	0.51
ECM ² , kg/d	21.13	21.96	22.19	21.15	0.659	0.44	0.93	0.21	0.83
Fat : Protein	1.19 ^a	1.33 ^b	1.24 ^{ab}	1.25 ^{ab}	0.033	0.07	0.52	0.10	0.08
NUE ³	0.20 ^a	0.21 ^a	0.18 ^b	0.18 ^b	0.003	0.03	<0.01	0.51	0.01
SCC, log10	4.94	5.18	5.12	5.39	0.171	0.19	0.14	0.94	0.44
SCS ⁴	2.82	3.61	3.41	4.30	0.570	0.19	0.14	0.93	0.43

C= control group, BPFP = bypass protein-fat mixed product group, SCC = somatic cell count,

¹Feed efficiency = milk yield/dry matter intake

²ECM = milk x (0.38x% fat + 0.24x% protein + 0.17x% lactose)/3.17

³Nitrogen utilization efficiency = (milk protein yield (kg/d) ÷ 6.38) / (crude protein intake (kg/d) ÷ 6.25) (Broderick *et al.*, 2009)

⁴Somatic cell score (SCS) = log₁₀(SCC/100,000) + 3 (Ali and Shook, 1980)

^{a,b} Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$)

SEM= Standard errors of the mean

^d Probability of a Linear (L), quadratic (Q), and cubic (C) effects of bypass fat-protein levels

สรุปและข้อเสนอแนะ

ระดับการเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านในสูตรอาหารผสมสำเร็จและเสริมอาหารขึ้นในการทดลองนี้ไม่มีผลกระทบต่อ ปริมาณการกินได้ และผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมของโคนมในโคนมที่ได้รับโปรตีนและพลังงานมากกว่าความต้องการในการให้ผลผลิตน้ำนม แต่การย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุและโปรตีน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามระดับการเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่าน อย่างไรก็ตาม การเสริมผลิตภัณฑ์ผสมโปรตีนและไขมันไหลผ่านในโคนม ควรศึกษาในระยะต้นของการให้น้ำนมก่อนถึงการให้น้ำนมสูงสุดเนื่องจากโคนมมีปริมาณการกินอาหารได้ต่ำและอาจได้รับโปรตีนและพลังงานไม่เพียงพอต่อการให้ผลผลิตน้ำนม ซึ่งจะเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการให้ผลผลิตของโคนม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเกษตรกรรายย่อย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บริษัท ยูเนี่ยนแคสแทป จำกัด สำหรับสนับสนุนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง และดวงฤทัยฟาร์มที่เชื้อเพื่อสถานที่ทดลองในการดำเนินการวิจัยให้ลุล่วงเป็นไปอย่างเรียบร้อย

เอกสารอ้างอิง

Akhlaghi, B., G.R. Ghorbani, M. Alikhani, S. Kargar, A. Sadeghi-Sefidmazgi, H. Rafiee-Yarandi and P. Rezamand. 2019. Effect of production level and source of fat supplement on performance, nutrient digestibility and blood parameters of heat-stressed Holstein cows. *Journal of Animal Science and Technology* 61(6): 313-323.

- Ali, A.K.A. and G.E. Shook. 1980. An optimum transformation for somatic cell concentration in milk. *Journal of Dairy Science* 63(3): 487-490
- AOAC. 1985. *Official Methods of Analysis*. 14th ed. Association of Official Analysis Chemists, Washington, D.C.
- Broderick, G.A. 2009. New perspectives on the efficiency of nitrogen use in ruminants. pp. 165-178 *In*: L.F. Prada e Silva and F.P. Rennó (eds.). *II Simposio Internacional Avancos em Techicas de Pesquisa em Nutricao de Ruminantes*, University of Viscoso, Brazil.
- Department of Livestock Development. 2020. Farmers and dairy farmers information. (Online). Available: <http://1ab.in/age.pdf> (December 3, 2020). (in Thai)
- Eknaes, M., Y. Chilliard, K. Hove, R.A. Inglingstad, L. Bernard and H. Volden. 2017. Feeding of palm oil fatty acids or rapeseed oil throughout lactation: Effects on energy status, body composition, and milk production in Norwegian dairy goats. *Journal of Dairy Science* 100(9): 7588-7601.
- Garg, M.R., P.L. Sherasia, B.M. Bhandari, S.K. Gulati and T.W. Scott. 2002. Effect of feeding rumen protected nutrients on milk production in crossbred cows. *Indian Journal of Animal Nutrition* 19(3):191-198.
- Hantai, P., N. Laorodphan, S. Numthum, S. Yammuen-art and W. Tartrakoon. 2020. Supplementation of bypass fat from mixed oil in dairy cow diets on chemical composition and *in vitro* digestibility. *Khon Kaen Agriculture Journal* 48(Suppl. 1): 269-276. (in Thai)
- Harris, L.E., L.C. Kearl and P.V. Fonnesbeck. 1972. Use of regression equations in predicting availability of energy and protein. *Journal of Animal Science* 35(3): 658-680.
- Hartati, L., I. Sumantri and A. Agus. 2014. Supplementation of rumen by-pass protein-fat: effect on feed intake, nutrient digestibility, and the profile of duodenal digesta fatty acids. *Animal Production* 16(2):95-100.
- Kearl, L.C. 1982. Nutrient requirements of ruminants in developing countries Logan: International Feedstuffs Institute. Utah State University, Utah, USA.
- Leiva, T., R.F. Cooke, A.P. Brandao, R.D. Bertin, E.A. Colombo, V.F.B. Miranda, L.A.C. Lourenco, S.M.B. Rodrigues and J.L.M. Vasconcelos. 2018. Effects of supplemental calcium salts of palm oil and chromium-propionate on insulin sensitivity and productive and reproductive traits of mid- to late-lactating Holstein x Gir dairy cows consuming excessive energy. *Journal of Dairy Science* 101(1): 491-504.
- Meshram, R.B., S.P. Waghmare, N.P. Dakshinkar and K.S. Pajai. 2016. Effect of supplementation of rumen bypass fat with chromium on milk yield and milk fat per cent in dairy cow. *Veterinary Science Research Journal* 7(2): 95-98.
- Mobeen, A., M. Riaz, S.H. Raza, M. Sharif and M.U. Yaqoob. 2019. Effect of bypass fat supplementation on milk yield in lactating cows and buffaloes. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 56(3): 743-746.
- Mohammadian-Tabrizi, H.R., H. Sadeghipanah, M. Chamani, Y. Ebrahim-Nejad and H.

- Fazaeli. 2011. *In vitro* gas production of wheat grain flour coated with different fat types and levels. *African Journal of Biotechnology* 10(39): 7710-7716.
- Nakai, P.K. 2013. Bypass fat in dairy ration - A review. *Animal Feed Science and Technology* 13(1): 147-163.
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. National Academic Press, Washington, D.C.
- Phakachoe, N. and C. Meeprom. 2020. Effects of supplementation Ca-salt of palm oil fatty acid in the lactating dairy cow diet on productivity and milk compositions. *Agriculture and Technology Journal* 1(2): 33-40. (in Thai)
- Phonkert, P. 2017. Change in milk fatty acid profile in response to calcium salt of palm oil fatty acid in lactating dairy cow. M.S. Thesis. Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima. 86 p. (in Thai)
- Piamphon, N., C. Wachirapakorn, M. Wanapat and C. Navanukraw. 2009. Effects of protected conjugated linoleic acid supplementation on milk fatty acid in dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 22(1): 49-56.
- Piantoni, P., A.L. Lock and M.S. Allen. 2013. Palmitic acid increased yields of milk and milk fat and nutrient digestibility across production level of lactating cows. *Journal of Dairy Science* 96(11): 7143-7154.
- Ranaweera, K.K.T.N., M.B.P. Kumara Mahipala and W.M.P.B. Weerasinghe. 2019. Influence of rumen bypass fat supplementation during early lactation in tropical crossbred dairy cattle. *Tropical Animal Health and Production* 52: 1403-1411.
- Rodriguez, L.A., C.C. Stallings, J.H. Herbein and M.L. McGilliard. 1997. Effect of degradability of dietary protein and fat on ruminal, blood, and milk components of Jersey and Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 80(2): 353-363.
- Schneider, B.H. and W.P. Flat. 1975. *The Evaluation of Feeds Through Digestibility Experiments*. The University of Georgia Press, Athens, GA.
- Schwab, C.G. 1995. Protected proteins and amino acids for ruminants. pp. 115-141 *In*: R.J. Wallace and A. Chesson (eds.). *Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding*. VCH, Weinheim.
- Statistical Analysis System. 2002. *User's Guide: Statistics, Version 9.1* SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Shelke, S.K. and S.S. Thakur. 2011. Effect on the quality of milk and milk products in Murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*) fed rumen protected fat and protein. *International Journal of Dairy Science* 6(2): 124-133.
- Suksombat, W. and P. Lounglawan. 2008. *Studies of various bypass fat supplementations on performance of lactating dairy cows*. Research report. Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima. 41 p. (in Thai)
- Thakur, S.S. and S.K. Shelke. 2010. Effect of supplementing bypass fat prepared from soybean acid oil on milk yield and nutrient utilization in Murrah buffaloes. *Indian Journal of Animal Sciences* 80(4): 354-357.
- Thapa, P., T. Pandey, R. Acharya and B. Dhital. 2019. Effect of by-pass protein

- supplements on milk production of dairy cattle. *Journal of Agriculture and Natural Resources* 2(1): 171-179.
- Tiwari, M.R., P.K. Jha, S.R. Pant, M.P. Acharya, P. Thapa and B.K. Shrestha. 2018. Effect of bypass protein supplement on milk production in Jersey cow. *Bangladesh Journal of Animal Science* 47(2): 98-104.
- Van Keulen, J. and B.A. Young. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science* 44(2): 282-287.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74(10): 3583-3597.
- Wachirapakorn, C. 2017. *Applied Ruminant Nutrition*. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen. 501 p. (in Thai)
-

Response of Rice to Silicon Fertilizer Application and Its Effects on Silicon Availability in Soil of Phra Nakhon Si Ayutthaya, Thailand

การตอบสนองของข้าวต่อการใส่ปุ๋ยซิลิคอนและผลต่อความเป็นประโยชน์ของ ซิลิคอนในดินพระนครศรีอยุธยา ประเทศไทย

Saychol Sukyankij^{1*}, Sopida Sukyankij¹, Mutchima Phun-iam² and Thanawan Panich-pat³
สายชล สุขญาณกิจ^{1*} โสภิดา สุขญาณกิจ¹ มัทฉิมา พันธุ์เยี่ยม² และ ธนวรรณ พาณิชพัฒน์³

¹Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จ. พระนครศรีอยุธยา 13000

²Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

²ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

³Department of Science and Bioinnovation, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University,

Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

³ภาควิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

*Corresponding author: Email: saychol.agri@gmail.com

(Received: 8 November 2022; Accepted: 27 February 2023)

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอัตราปุ๋ยซิลิคอนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต ปริมาณซิลิคอนในส่วนต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และผลต่อความเป็นประโยชน์ของซิลิคอนในดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา วางแผนการทดลองแบบ 2 x 5 แฟกทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ 2 ปัจจัย ปัจจัยแรกคือชนิดของดิน (ชุดดินท่าเรือและชุดดินเสนา) ปัจจัยที่สองคือระดับปุ๋ยซิลิคอน 5 อัตรา ได้แก่ 0, 0.42, 0.84, 1.26 และ 1.68 กรัม SiO₂ต่อกระถาง ผลการทดลองพบว่า ชนิดของดินมีผลอย่างชัดเจนต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณซิลิคอนที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ข้าว โดยข้าวที่ปลูกในชุดดินเสนามีความเขียวใบจำนวนรวงต่อกอ ผลผลิตเมล็ดและตอซัง อีกทั้งปริมาณการดูดใช้ซิลิคอนในส่วนต่าง ๆ สูงกว่าข้าวที่ปลูกในชุดดินท่าเรือ การใส่ปุ๋ยซิลิคอนอัตรา 0.42 กรัม SiO₂ต่อกระถาง ให้ผลผลิตเมล็ดสูงที่สุด โดยเฉพาะข้าวที่ปลูกในชุดดินเสนา (26.6 กรัมต่อกอ) ขณะที่การใส่ปุ๋ยซิลิคอนอัตรา 1.68 กรัม SiO₂ต่อกระถาง ให้ปริมาณการดูดใช้ซิลิคอนในเนื้อเยื่อส่วนต้น ใบ และเมล็ดสูงที่สุด (0.38, 0.48, 0.50 กรัมต่อกอ) อัตราการใส่ปุ๋ยซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของซิลิคอนในดินเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยการใส่ปุ๋ยซิลิคอนอัตรา 1.68 กรัม SiO₂ต่อกระถาง ส่งผลให้มีปริมาณซิลิคอนในรูปที่ละลายน้ำได้ รูปที่แลกเปลี่ยนได้ รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และซิลิคอนในรูปที่ตกค้างในดินสูงที่สุด (49, 224, 274 และ 15,278 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับชุดดินท่าเรือ และ 56, 87, 143 และ 13,692 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับชุดดินเสนา ตามลำดับ)

คำสำคัญ: ปุ๋ยซิลิคอน ความเข้มข้นของซิลิคอน รูปของซิลิคอนในดิน ผลผลิตข้าว

Abstract: This research aimed to evaluate the optimal rates of silicon (Si) fertilizer on the growth, yield components, yield, and Si uptake in each part of Pathum Thani 1 rice and its effects on Si availability in the soil of the Phra Nakhon Si Ayutthaya province. The experiment was arranged in a 2x5 factorial in a completely randomized design with three replications and two factors. The first factor was the soil series; Tha Rua (Tr), and Ayutthaya (Ay). The second factor was the Si fertilizer, which was set at five different levels; 0, 0.42, 0.84, 1.26, and 1.68 g SiO₂/pot. The findings revealed that soil types significantly impacted plant growth, yield, and the amount of Si content in various plant parts. The rice planted in the Se soil series illustrated higher leaf greenness, number of panicles per hill, rice yield (straw and grain), and Si uptake in various plant parts; more than that of the Tr soil series. Applying Si fertilizer at 0.42 g SiO₂/pot gave the highest grain yield, particularly in the Se soil series (26.6 g/hill). The application of Si fertilizer at 1.68 g SiO₂/pot provided the highest Si content in culms, leaves, and grain; at 0.38, 0.48, and 0.50 g/hill, respectively. Increases in Si fertilizer rates noticeably increased the Si availability in both soil types. Applying Si fertilizer at 1.68 g SiO₂/pot gave the highest amount of Si in water-soluble, exchangeable, available, and residual fractions at (49, 224, 274, and 15,278 mg/kg in the Tr soil series and 56, 87, 143, and 13,692 mg/kg in the Se soil series, respectively).

Keywords: Si fertilizer, Si concentration, Si forms in soils, rice yield

Introduction

Silicon (Si) is the second most abundant and stable electropositive element in the earth's crust (Kabata-Pendias and Pendias, 1992; Szulc *et al.*, 2019). The total Si content in soil ranges from 1 - 45 % depending on the soil type and parent material (Sommer *et al.*, 2006). Soluble Si in a soil solution was recorded at roughly 1 - 200 mg/L, which was dependent on the soil type and climatic factors (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Generally, Si is taken up by plants as mono-silicic acid (H₂SiO₄), which is a water-soluble and exchangeable form of Si in the soil colloid system. Both forms are classified as available forms, which are beneficial for plant growth. However, the majority of silicon found in soil is its residual fraction, which is a composition of a rock or mineral. Soil pH, which affects the solubility of Si concentration in soil via the processes of soil

weathering and adsorption-desorption of Si in the soil solution (Szulc *et al.*, 2019), is one of the influential factors of available Si in soil. The solubility of Si usually decreases in acidic soil (fixed with Fe and Al oxide) but increases in alkaline soils (pH approximately 9.5) (Kabata-Pendias and Pendias, 1992; Szulc *et al.*, 2019). Therefore, the available Si in acidic soil tends to be restricted, as silicate ions can be precipitated with other cations (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Similarly, in calcareous soil, Sandhya and Prakash (2019) demonstrated that the solubility of Si increased as the soil pH increased from neutral to alkaline. In the lowland rice cultivation areas within Thailand, Phra Nakhon Si Ayutthaya province, the mostly flooded soil is post-active acid sulfate soil, such as in the Ayutthaya and Sena soil series (Sukyankij *et al.*, 2022), which is limited in its release of Si into the soil solution (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). While the

Tha Rue soil series had lower soil fertility and organic matter, its soil pH was higher and closer to neutral (Sukyankij *et al.*, 2022); which can promote the increase of available Si in soil.

Si is classified as a beneficial element in plants (Dobermann and Fairhurst, 2000) and can be accumulated differently in every plant species. Several high-Si-accumulating species of plant were reported in the Poaceae family, such as rice, which accumulates Si at about 10 - 15 % (DW). Rice is known as a Si accumulator plant, as the Si uptake of this plant can be more than 10 % (DW) (Dobermann and Fairhurst, 2000), and presents a positive response to Si fertilizer in terms of productivity (Chaiwong *et al.*, 2022). Si plays an important role in rice; aiding in the development of strong leaves, stems, and roots; increasing available phosphorus in soil (Dobermann and Fairhurst, 2000), and aiding in the meliorate tolerance of biotic and abiotic stress; such as relieving water loss, impeding fungal infections, and improving drought resistance via the enhancement of the water contents in plants (Ma, 2004; Savant *et al.*, 1996; Surapornpiboon *et al.*, 2008; Yan *et al.*, 2018). Dobermann and Fairhurst (2000) reported that the optimal ranges and critical levels of Si in rice straw at the maturity stage were 8 - 10 % and less than 5 %, respectively, whereas the critical Si deficiency in soil was 54 mg/kg (extracted with 0.5 M acetic acid) (Narayanaswamy and Prakash, 2009). Cuong *et al.* (2017) reported that the recommended rate of SiO₂ fertilizer was 329 kg/ha for rice production in a tropical zone. Consequently, the addition of Si fertilizer in soil with low availability of Si or in acidic soils is necessary for improving the growth and yield of rice. Hence, the objectives of this study were to estimate (1) the effects of Si fertilizer rate

on growth, yield, and yield components, (2) Si uptake in different plant parts, and (3) Si in different fractions in the soil after rice cultivation.

Materials and Methods

Plants and Soils Preparation

The study was conducted in a greenhouse from November 2021 to March 2022 at the Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Thailand. Rice seed (Pathum Thani 1) was obtained from the Prachin Buri Rice Research Center, Rice Department. The soil in the experiment consisted of two soil series, representing the availability of Si at low and high levels. The Tha Rua (Tr) soil series (Vertic (Aeric) Endoaquepts), collected from the Wang Dang subdistrict in the Tha Ruea district (14°52'90.27" N 100°67'28.60" E), was presented with high exchangeable Si (176.9 mg/kg). The Sena (Se) soil series (Sulfic Endoaquepts), collected from the Chai Na subdistrict, Sena district, Phra Nakhon Si Ayutthaya province (14°27'74.09" N 100°35'76.80" E), was represented with low exchangeable Si (68.5 mg/kg) (Division of Soil Survey and Soil Resource Research, 2019). The soil samples were collected at 0 - 20 cm in the paddy field in each location and then air-dried for 14 days in the greenhouse. The soil was then divided into two portions. The first portion was ground and passed through a 2 mm sieve and analyzed for physical and chemical properties; i.e., soil texture (Gee and Bauder, 1986), soil pH (Thomas, 1996), saturated electrical conductivity (Rhoades, 1996), organic matter (Walkley and Black, 1934), available phosphorus (Bray and Krutz, 1945), exchangeable potassium, calcium, and magnesium (Thomas, 1982), water-soluble

Si (Khalid *et al.*, 1978), exchangeable Si (Korndorfer *et al.*, 1999), available Si (water-soluble Si plus exchangeable Si), and residual Si (Jones and Dreher, 1996) before the start of the experiment.

The second portion was used to study the effects of Si fertilizer on yield and Si uptake in Pathum Thani 1 rice under greenhouse conditions. The experiment design was a 2 x 5 factorial in a completely randomized design (CRD) with three replications and two factors. The first factor was the soil series (Tha Rua soil series (Tr) and Sena soil series (Se)). The second factor was the Si fertilizer application used: no addition of Si fertilizer (control) and Si fertilizer application at rates of 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 times the Si recommended rate. The recommended rate of Si for tropical rice was 329 kg SiO₂/ha, reported by Cuong *et al.*, 2017. In the pot experiment, a total of 5 kg of dried soil was put into each 6.5 L plastic pot. The rates of Si fertilizer, silicic acid (H₂SiO₄), in the pot treatments were 0, 0.42, 0.84, 1.26, and 1.68 g SiO₂/pot. Distilled water, without Si contamination, was added to the soil plots and stirred until muddy. The soil series were mixed well and flooded for seven days prior to transplanting the 20-day-old Pathum Thani 1 rice seedlings in the experiment pots. Flooding was maintained at 5 cm above the soil surface from the start of the planting stage through the harvesting stage. The primary plant fertilizer (NPK) was applied in accordance with the site-specific nutrient management program (SimRice2000_V110) at the rates of 0.13-0.06-0.11 and 0.03-0.06-0 g N-P₂O₅-K₂O per pot for both the Tr and Se soil series. At the maturity stage, Pathum Thani 1 rice was harvested at 107 days after transplanting. The plant samples were separated into grain and straw. The samples were then oven-dried in a hot air oven at 80 °C for 48

hours, after which the samples were recorded for the dry weight of both grain and straw. Next, straw samples from each treatment were divided into culm and leaves. All samples (grain, culm, and leaves) were cut into small pieces and crushed to less than 0.5 mm in size, and the whole plant samples were taken for Si concentration analysis in the next step.

Data collections

Data were collected for the assessment of (1) growth, yield, and yield components (i.e., plant height, leaf greenness (SPAD), day after flowering, number of tillers per hill, number of panicles per hill, panicle length, number of grains per panicle, fertile grain, 100-grain weight, dry straw weight, and grain yield at 14 percent moisture), and (2) the concentration of Si in different plant tissues (grain, culm, and leaf), which were digested by conc. HNO₃ (Nayar *et al.*, 1975) and determined through the molybdenum blue colorimetric method (Babu, 2015; Hallmark *et al.*, 1982). Total Si uptake in each part was then calculated by multiplying the Si concentration by the basic dry matter content. The fractions of Si in soils were water-soluble, exchangeable, available, and residual. Water-soluble and exchangeable Si were extracted by the methods of Khalid *et al.* (1978) and Korndorfer *et al.* (1999), respectively, and the amount of Si was determined by the molybdenum blue colorimetric method (Babu, 2015; Hallmark *et al.*, 1982).

For available Si, we calculated the sum of water-soluble and exchangeable Si in the soil. Residual Si was digested with a mixture of aqua regia, HF, and H₃BO₃, and the amount of Si was measured by the blue silicomolybdous acid method (Jones and Dreher, 1996).

Statistical analysis

The data from the experiment were subjected to an analysis of variance (ANOVA), and Duncan's new multiple range test (DMRT) with a significance of $P < 0.05$ probability level. The means of each treatment were compared.

Results and Discussion

Soil properties at the start of the experiment

The soil properties at the start of the experiment are shown in Table 1. The Tr and Se soil series were classified as Vertic (Aeric) Endoaquepts and Sulfic Endoaquepts, respectively (Division of Soil Survey and Soil Resource Research, 2019). The soil texture was characteristically silty clay in the Tr soil series and clay in the Se soil series and were slightly acidic (pH = 6.57) and strongly acidic (pH = 4.81),

respectively. No saline was noted in both soil series, and the organic matter contents ranged from medium (Tr = 13.6 g/kg) to very high levels (Se = 50.2 g/kg). Available phosphorus contents were low to medium in the Tr soil series (4.58 mg/kg) and (13.7 mg/kg) in the Se soil series. In the Tr soil series; exchangeable potassium was high (94 mg/kg), calcium was very high (5,031 mg/kg), and magnesium content was high (385 mg/kg). And, in the Se soil series; exchangeable potassium was high (157 mg/kg), calcium was high (24,185 mg/kg), and magnesium content was high (443 mg/kg). The basic chemical properties of each soil series were interpreted according to the FAO Project Staff and Land Classification Division (1973). We observed a high level of exchangeable Si in the Tr soil series (176 mg/kg) and a medium level (68.5 mg/kg) in the Se soil series (Narayanaswamy and Prakash, 2009).

Table 1. The properties of topsoil (0 - 20 cm depth) prior to the experiment (mean $\pm$ S.E.)

Soil property	Tha Rua (Tr) soil series	Sena (Se) soil series
Texture classes	Silty Clay	Clay
Soil pH reaction (1:1 H ₂ O)	6.57 $\pm$ 0.35	4.81 $\pm$ 0.15
Electrical conductivity, EC _e (dS/m)	2.16 $\pm$ 0.21	1.24 $\pm$ 0.16
Organic matter (g/kg)	13.6 $\pm$ 1.24	50.2 $\pm$ 2.45
Available phosphorus (mg/kg)	4.58 $\pm$ 0.85	13.7 $\pm$ 1.42
Exchangeable potassium (mg/kg)	94.1 $\pm$ 3.15	157 $\pm$ 2.90
Exchangeable calcium (mg/kg)	5,031 $\pm$ 25.5	2,418 $\pm$ 21.0
Exchangeable magnesium (mg/kg)	385 $\pm$ 12.6	443 $\pm$ 21.4
Exchangeable silicon (mg/kg)	176 $\pm$ 5.35	68.5 $\pm$ 3.15
Water soluble silicon (mg/kg)	36.5 $\pm$ 1.75	32.3 $\pm$ 2.04
Available silicon (mg/kg)	213 $\pm$ 15.4	101 $\pm$ 11.5
Residual silicon (mg/kg)	12,420 $\pm$ 105	11,385 $\pm$ 85.5

Effect of Si fertilizer on growth and yield

Growth and yield of rice were determined based on plant height, leaf greenest (SPAD unit), number of panicles per tiller, percent fertile grain, 100-grain weight, dry straw weight, and grain yield at 14 percent moisture (Table 2). The difference in soil types significantly affected the SPAD value, number of panicles per tiller, and rice yield (straw and grain) ($P < 0.01$). Resultingly, the Se soil series produced greater rice growth and yield than that of the Tr soil series. The application of Si fertilizer was statistically different only in SPAD value, number of

panicles per tiller, and grain yield ($P < 0.01$). The application of Si fertilizer at 1.26, 0.84, and 0.42 g SiO_2/pot gave the highest leaf greenness, number of panicles per tiller, and grain yield (38.2 SPAD units, 10.0 panicles/tiller, and 19.3 g/hill, respectively). The interaction of soil types and various Si fertilizer applications produced significant differences in SPAD value, number of panicles per tiller, and straw and grain yields ($P < 0.01$). Applying Si fertilizer at 0.42 g SiO_2/pot in the Se soil series provided the highest SPAD value, straw and grain yields; at 41.2 SPAD units, 26.8, and 26.6 g/hill, respectively.

Table 2. Effects of soil types and Si fertilizer application on growth and yield of rice

Factors	Height (cm) ¹	SPAD unit ¹	No. Panicle (panicle/tiller) ¹	Fertile grain (%) ¹	100-grain wt. (g) ¹	Straw yield (g) ¹	Grain yield (g) ¹
<i>Factor 1 (Soil series)</i>							
Tr soil	85.5	31.6 ^b	7.1 ^b	94.1	2.54	12.0 ^b	13.1 ^b
Se soil	87.7	39.3 ^a	10.7 ^a	93.5	2.58	23.9 ^a	22.3 ^a
F-test	ns	**	**	ns	ns	**	**
<i>Factor 2 (Si fertilizer application, g SiO_2/pot)</i>							
0	84.8	31.9 ^c	9.3 ^{ab}	91.9	2.55	18.3	17.8 ^{bc}
0.42	85.7	36.2 ^a	9.2 ^{ab}	94.8	2.54	19.0	19.3 ^a
0.84	88.8	34.2 ^b	10.0 ^a	93.8	2.58	18.8	18.4 ^b
1.26	87.3	38.2 ^a	8.0 ^b	94.4	2.56	17.1	16.9 ^c
1.68	86.3	36.9 ^a	8.0 ^b	94.1	2.58	16.6	16.2 ^c
F-test	ns	*	*	ns	ns	ns	**
<i>Interaction Factor 1 x Factor 2</i>							
Tr x Si_0	83.0	27.8 ^d	7.7 ^{cd}	90.4	2.54	13.6 ^c	13.2 ^d
Tr x $\text{Si}_{0.42}$	87.0	31.2 ^{cd}	6.3 ^d	94.7	2.51	11.2 ^c	11.9 ^d
Tr x $\text{Si}_{0.84}$	86.7	30.9 ^{cd}	8.0 ^{cd}	93.3	2.58	11.6 ^c	13.8 ^d
Tr x $\text{Si}_{1.26}$	85.7	35.4 ^{abc}	6.7 ^d	96.3	2.53	11.3 ^c	12.7 ^d
Tr x $\text{Si}_{1.68}$	85.3	32.9 ^{bcd}	6.7 ^d	95.9	2.55	12.2 ^c	13.7 ^d
Se x Si_0	86.7	35.9 ^{abc}	11.0 ^{ab}	93.4	2.56	22.9 ^{ab}	22.4 ^b
Se x $\text{Si}_{0.42}$	84.3	41.2 ^a	12.0 ^a	94.9	2.57	26.8 ^a	26.6 ^a
Se x $\text{Si}_{0.84}$	91.0	37.4 ^{bc}	12.0 ^a	94.3	2.59	26.1 ^{ab}	23.0 ^b
Se x $\text{Si}_{1.26}$	89.0	40.9 ^a	9.3 ^{bc}	92.6	2.58	22.8 ^{ab}	21.0 ^b
Se x $\text{Si}_{1.68}$	87.3	40.9 ^a	9.3 ^{bc}	92.3	2.60	21.0 ^b	18.6 ^c
F-test	ns	**	**	ns	ns	**	**
CV (%)	3.3	8.8	13.8	3.2	2.1	15.3	7.6

^{1/} Means with the different letters in each column are significant differences according to DMRT at $P < 0.05$; **, * are significant difference at $P < 0.01$ and 0.05 probably levels, respectively, and ns is not significantly different; Tr and Se are the Tha Rua and Sena soil series, respectively

Generally, when plants receive an adequate amount of Si, they can increase their photosynthetic rate and chlorophyll contents (Song *et al.*, 2014), however, the initialized value of the soil's fertility is also important for this parameter. The results indicated that the high fertility of the Se soil series had a higher effect on the photosynthetic rate and chlorophyll contents than soil with a high Si content (Tr soil series). Moreover, the increased Si fertilizer rate (0.42-1.68 SiO_2/pot) produced increased chlorophyll contents (SPAD value) when compared to the control treatment (Table 2). Ju *et al.* (2020) reported that a nutrient solution containing Si at a concentration of 1, 2, or 4 mM increased the chlorophyll contents of rice seedlings significantly compared to the control (0 mM). According to our study, increased rates of Si fertilizer (0 - 1.68 g SiO_2/pot) increased leaf greenness (SPAD value) of rice in both soil types, as well as the number of panicles per tiller. The applied Si fertilizer at 0.84 g SiO_2/pot promoted a higher number of panicles per tiller than the other treatments. According to Chaiwong *et al.* (2022), the sufficiency of the Si supply may be increased by increasing the number of panicles per plant, as well as the number of grains per panicle and the percentage of filled grains. Moreover, the lack of Si in rice led to a decrease in spikelet fertility and a reduced harvest index (Ma *et al.*, 1989). The optimal rate of Si fertilizer for rice was 0.42 g SiO_2/pot , as this rate was able to promote the highest grain yield (Table 2), especially in soil with low available Si (Se soil series at 26.6 g/hill). However, the rice yield in this soil tended to decrease if Si fertilizer over 1.26 g SiO_2/pot was applied. The application of Si fertilizer at the highest rate (1.68 g SiO_2/pot) produced the lowest grain yield (18.6 g/hill). Cuong *et al.*, 2017; reported that the application of Si fertilizer at

rates between 100 - 400 kg/ha increased the straw and grain yields of rice by 12 - 19 % and 13 - 22 %, respectively. Similarly, applying Si fertilizer at optimal rates increased rice yield and quality (Surapornpiboon *et al.*, 2008; Yan *et al.*, 2018). Si can protect rice plants from stress caused within their environment (biotic and abiotic factors), as well as promote the efficient use of light and nitrogen (Dobermann and Fairhurst, 2000).

Effects of Si fertilizer on Si uptake

Both soil types demonstrated that the application of Si fertilizer significantly affected Si uptake in the rice culm, leaves, and grain ($P < 0.01$), which was significantly higher in the Se soil series, with the exception of the Si uptake in leaves ($P > 0.05$) (Table 3). The application of Si fertilizer at the highest rate (1.68 g SiO_2/pot) generated Si uptake values in the culm, grain, and total at 0.38, 0.50, and 1.36 g/hill; whereas Si applied at the rate of 0.42 - 1.26 g SiO_2/pot were not statistically different from the highest rate. When considering the interaction between soil type and Si fertilizer application, the application of Si fertilizer at the rate of 0.42 g SiO_2/pot in the Se soil series gave the highest Si uptake in culm, leaf, and total (0.43, 0.55, and 1.53 g/hill). No significant differences were observed in the treatment of Si at the rates of 0.84, 1.26, and 1.68 g SiO_2/pot , respectively.

Soil fertility is important for determining the Si uptake by plants, as the uptake parameter is calculated from the dry weight of the plant multiplied by the element's concentration. Our results showed that rice planted in the Tr soil series had higher Si concentrations in several plant parts than that in the Se soil series (data not shown). The Tr soil series produced lower Si uptake and

plant biomass, yet higher Si concentration than that of the Se soil series. Chaiwong *et al.* (2022) and Phommuangkhu *et al.* (2020), in their studies of Si fertilizer applied for grain yield production and Si accumulation in rice, reported that increasing rates of Si fertilizer increased the Si concentration in

the different organs of rice; aligned with our own findings herein. Moreover, they also reported that Si concentrations were higher in leaf tissues than in other plant parts and that above-ground plant parts generally accumulated more Si than in the roots (Meena *et al.*, 2014).

Table 3. Effects of soil types and Si fertilizer application on Si uptake in different organs of rice

Factors	Si uptake (g/hill)			
	Culm ¹	Leave ¹	Grain ¹	Total ¹
<i>Factor 1 (Soil series)</i>				
Tr	0.27 ^b	0.35 ^b	0.36 ^b	0.99 ^b
Se	0.40 ^a	0.52 ^a	0.48 ^a	1.39 ^a
F-test	**	**	**	**
<i>Factor 2 (Si fertilizer application, g SiO₂/pot)</i>				
0	0.25 ^b	0.37	0.35 ^b	0.96 ^b
0.42	0.34 ^a	0.42	0.44 ^{ab}	1.20 ^{ab}
0.84	0.35 ^a	0.44	0.42 ^{ab}	1.21 ^{ab}
1.26	0.35 ^a	0.46	0.41 ^{ab}	1.22 ^{ab}
1.68	0.38 ^a	0.48	0.50 ^a	1.36 ^a
F-test	**	ns	**	**
<i>Interaction Factor 1 x Factor 2</i>				
Tr x Si ₀	0.20 ^c	0.33 ^{cd}	0.30 ^f	0.84 ^e
Tr x Si _{0.42}	0.26 ^{bc}	0.29 ^d	0.32 ^{ef}	0.86 ^e
Tr x Si _{0.84}	0.26 ^{bc}	0.36 ^{cd}	0.37 ^{de}	1.00 ^{de}
Tr x Si _{1.26}	0.27 ^{bc}	0.37 ^{cd}	0.36 ^{de}	1.00 ^{de}
Tr x Si _{1.68}	0.34 ^b	0.42 ^{bc}	0.48 ^{bc}	1.23 ^{bc}
Se x Si ₀	0.29 ^{bc}	0.41 ^{bc}	0.39 ^d	1.09 ^{cd}
Se x Si _{0.42}	0.43 ^a	0.55 ^a	0.55 ^a	1.53 ^a
Se x Si _{0.84}	0.43 ^a	0.52 ^{ab}	0.47 ^{bc}	1.41 ^{ab}
Se x Si _{1.26}	0.43 ^a	0.55 ^a	0.46 ^c	1.43 ^{ab}
Se x Si _{1.68}	0.42 ^{ab}	0.54 ^a	0.52 ^{ab}	1.49 ^a
F-test	**	**	**	**
CV (%)	14.9	14.0	7.7	9.8

^{1/} Means with the different letters in each column are significant differences according to DMRT at $P < 0.05$; ** is a significant difference at $P < 0.01$ probably level and ns is not significantly different; Tr and Se are the Tha Rua and Sena soil series, respectively

Effects of Si fertilizer on soil Si availability

The application of Si fertilizer was significantly different ($P < 0.01$) for water-soluble, exchangeable, available, and residual Si fractions in both soil series (Figure 1). The highest Si rate (1.68 g SiO_2/pot) was evidenced in the water-soluble fraction at 49.3 and 55.6 mg/kg; and 224 and 86.6 mg/kg in the exchangeable Si fraction in the Tr and Se soil series, respectively. For the available Si fraction, applying Si fertilizer at rates of 0.84 - 1.68 g SiO_2/pot in both soil series was not statistically different, where the highest value was presented in the treatment of Si fertilizer

at the rate of 1.68 g SiO_2/pot , producing 274 and 142 mg/kg in the Tr and Se soil series, respectively. Similarly, the residual Si in both soil types was statistically different from the control (non-Si application). Applying Si fertilizer at the rate of 0.42 - 1.68 g SiO_2/pot in the Tr soil series was not significantly different, nor was the application of Si fertilizer at the rate of 0.84 - 1.68 g SiO_2/pot in the Se soil series. The highest amount of residual Si in each plot was displayed in the treatment of 1.68 g SiO_2/pot , producing 15,955 and 14,115 mg/kg in the Tr and Se soil series, respectively.

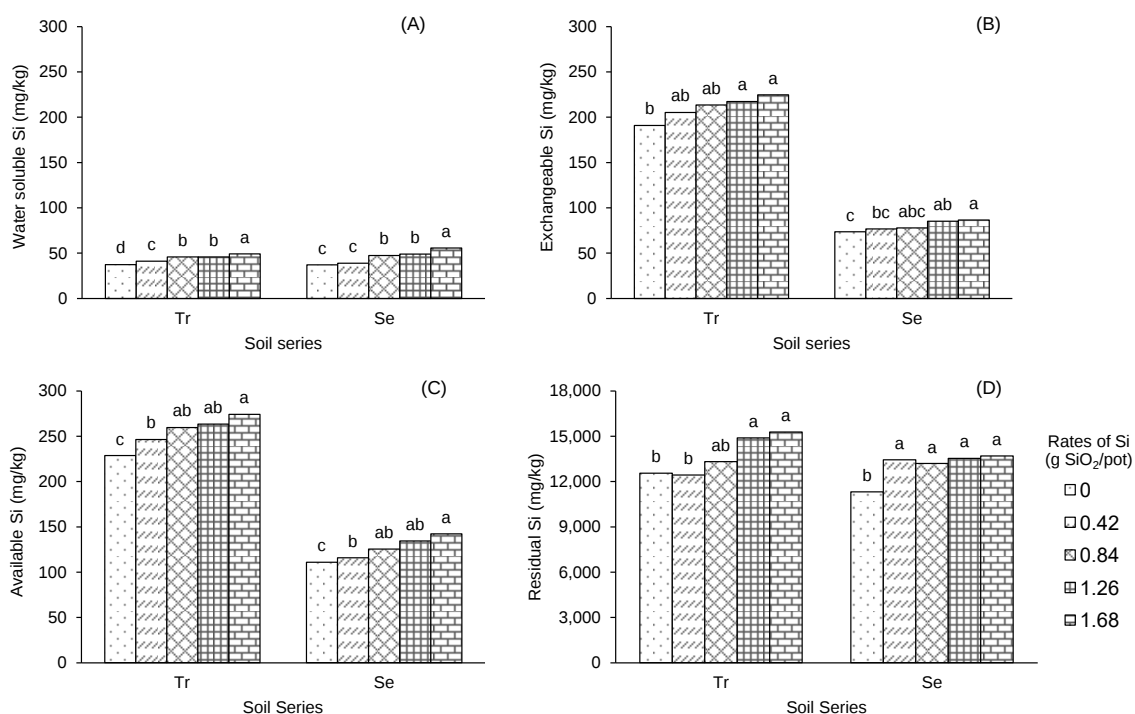


Figure 1. Effects of Si fertilizer applied on water-soluble (A), exchangeable (B), available (C) and residual Si (D) in two soil series after rice plantation. The lowercase letters above the bar indicated that significantly different among treatments by using DMRT at $P < 0.05$; Tr and Se are the Tha Rua and Sena soil series, respectively

The amount of Si in soil depends on several factors; such as parent material, utilization of an area for agricultural production, and the application of chemical fertilizer, specifically Si fertilizer. The results presented herein demonstrated that the application of Si fertilizer increased Si in all fractions of Si (water soluble (9.8 - 31.8 % and 5.1 - 49.8 %), exchangeable (7.3 - 17.5 % and 4.5 - 17.8 %), available (7.9 - 20.2 % and 5.2 - 29.1 %), and residual (1.0 - 22.9 % and 16.3 - 21.1 %)) in the Tr and Se soil series, respectively (Figure 1). Schaller *et al.* (2021) studied Si cycling in soil and reported that the application of Si fertilizer (silicic acid, potassium silicate, wollastonite, and steel slag) induced an increase in soil Si, which was in accordance with the results herein. The application of Si fertilizer may change the proportion of Si in soil in the form of silicic acid polymerization and de-polymerization, due to the increase in the concentration of silicic acid in the soil solution (Schaller *et al.*, 2021). Yang *et al.* (2020) studied Si fractions in forest soil and reported that Si in soil presented a crystalline fraction of 97.7 - 98.5 %, whereas non-crystalline fractions (summation of dissolved and bioavailable, organic matter bound, pedogenic oxides/hydroxides, chemisorbed Si, and amorphous Si) ranged from 1.5 - 2.3 %. Our results, similar to that reported by Yang *et al.* (2020) expressed that the summation of dissolved and bioavailable Si in the soil was 1.74 - 1.94 and 0.85 - 1.03 % and that the residual fractions of Si were 98.06 - 98.26 % and 98.97 - 99.15 % in the Tr and Se soil series, respectively (Figure 1). The results indicated that the bioavailability of Si in both soil series was very low as compared to the residual Si fraction, as the majority of Si in the soil was present in Si compounds (quartz, crystalline silicate minerals,

silicate clays, and amorphous silica compounds) rather than soluble Si (mono-silicic acid and polysilicic acids) (Sailaja *et al.*, 2019).

Conclusion

In the study herein, soil type (Tr and Se) was an important factor supporting the growth and yield of rice. Leaf greenness, number of panicles per tiller, and rice yield were higher in soil with high fertility, the Se soil series versus soil with a high Si content, the Tr soil series. The application of Si fertilizer at higher rates (1.26 - 1.68 g SiO₂/pot) reduced grain yield, particularly in the Se soil series, however, when applied at a lower rate (0.42 g SiO₂/pot), rice yields increased. Notably, increases in Si fertilizer rates correlated to increases in Si uptake in all plant tissues; as well as increases in various Si fractions (water soluble, exchangeable, available, and residual Si). Our results determined that the application of Si fertilizer at the rate of 0.42 g SiO₂/pot was the optimal rate for rice production, specifically in soil with low available Si.

Acknowledgments

This research was supported by the Research and Development Institute of Phranakorn Si Ayutthaya Rajabhat University, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Thailand (Grant Number 1/2564). The authors would like to thank the Prachin Buri Rice Research Center, Rice Department, for providing the Pathum Thani 1 rice seed used in our experiment.

References

- Babu, T. 2015. Calibration and categorization of plant available silicon in Louisiana soils. Ph.D. Dissertation. Louisiana State University, Baton Rouge, LA. 159 p.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59(1): 39-46.
- Chaiwong, N., T. Pusadee, S. Jamjod and C. Prom-u-thai. 2022. Silicon application promotes productivity, silicon accumulation and upregulates silicon transporter gene expression in rice. *Plants* 11(7): 989, doi: 10.3390/plants11070989.
- Cuong, T.X., H. Ullah, A. Datta and T.C. Hanh. 2017. Effects of silicon-based fertilizer on growth, yield and nutrient uptake of rice in tropical zone of Vietnam. *Rice Science* 24(5): 283-290.
- Division of Soil Survey and Soil Resource Research. 2019. Soil map of Phra Nakhon Si Ayutthaya province (Online). Available: http://oss101.1dd.go.th/web_thaisoilinf/central/Ayutthaya/ay_map/ay_series/ay_series58.html (July 7, 2019). (in Thai)
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. *Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management*. Oxford Graphic Printers, Singapore. 191 p.
- FAO Project Staff and Land Classification Division. 1973. *Soil Interpretation Handbook for Thailand*. Land Classification Division, Department of Land Development, Bangkok. 169 p.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-411. *In*: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Hallmark, C.T., L.P. Wilding and N.E. Smeck. 1982. Silicon. pp. 263-273. *In*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Jones, R.L. and G.B. Dreher. 1996. Silicon. pp. 627-637. *In*: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Ju, S., L. Wang and J. Chen. 2020. Effects of silicon on the growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure of *Oryza sativa* L. seedlings under acid rain stress. *Silicon* 12: 655-664.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Boca Raton. 365 p.
- Khalid, R.A., J.A. Silva and R.L. Fox. 1978. Residual effects of calcium silicate in tropical soils: I. Fate of applied silicon during five years of cropping. *Soil Science Society America Journal* 42(1): 89-94.
- Korndorfer, G.H., M.N. Coelho, G.H. Snyder and C.T. Mizutani. 1999. Evaluation of soil extractants for silicon availability in upland rice. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 23(1): 101-106.

- Ma, J. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition* 50(1): 11-18.
- Ma, J., K. Nishimura and E. Takahashi. 1989. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. *Soil Science and Plant Nutrition* 35(3): 347-356.
- Meena, V.D., M.L. Dotaniya, V. Coumar, S. Rajendiran, Ajay, S. Kundu and A.S. Rao. 2014. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India-Section B: Biological Sciences* 84(3): 505-518.
- Narayanaswamy, C. and N.B. Prakash. 2009. Calibration and categorization of plant available silicon in rice soils of south India. *Journal of Plant Nutrition* 32(8): 1237-1254.
- Nayar, P.K., A.K. Misra and S. Patnaik. 1975. Rapid microdetermination of silicon in rice plant. *Plant and Soil* 42(2): 491-494.
- Phommuangkhu, A., S. Amkha, Y. Osotsapar and N. Udomprasert. 2020. Effects of Si application on growth, yield and Si concentration in rice under nutrient solution system. *Agricultural Science and Management Journal* 3(2): 70-80.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. pp. 471-435. *In*: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Sailaja, V., K. Rajamani and B.H. Kumara. 2019. Research review on extracting methods of silicon from soil. *International Journal of Chemical Studies* 7(6): 477-481.
- Sandhya, K. and N.B. Prakash. 2019. Bioavailability of silicon from different sources and its effect on the yield of rice in acidic, neutral, and alkaline soils of Karnataka, south India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 50(3): 295-306.
- Savant, N.K., G.H. Snyder and L.E. Datnoff. 1996. Silicon management and sustainable rice production. *Advances in Agronomy* 58: 151-199.
- Schaller, J., D. Puppe, D. Kaczorek, R. Ellerbrock and M. Sommer. 2021. Silicon cycling in soils revisited. *Plants* 10(2): 295, doi: 10.3390/plants10020295.
- Sommer, M., D. Kaczorek, Y. Kuzyakov and J. Breuer. 2006. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes – A review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169(3): 310-329.
- Song, A., P. Li, F. Fan, Z. Li and Y. Liang. 2014. The effect of silicon on photosynthesis and expression of its relevant genes in rice (*Oryza sativa* L.) under high-zinc stress. *PLoS ONE* 9(11): e113782, doi: 10.1371/journal.pone.0113782.
- Sukyankij, S., S. Sukyankij, S. Samitharporn and T. Panich-pat. 2022. Optimum rate of phosphorus fertilizer for Pathum Thani 1 rice variety grown in soils of Phra Nakhon Si Ayutthaya province. *Journal of Agriculture* 38(3): 357-368. (in Thai)
- Surapornpiboon, P., S. Julsrigival, C. Senthong and D. Karladee. 2008. Effects of silicon on upland rice under drought condition. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences* 7(1): 163-171.

- Szulc, W., B. Rutkowska, M. Hoch, D. Ptasiński and W. Kazberuk. 2019. Plant available silicon in differentiated fertilizing conditions. *Plant, Soil and Environment* 65(5): 233-237.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. 1982. pp. 159-165. *In*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. Soil Science Society of America, Inc, Madison, Wisconsin.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. pp. 475-490. *In*: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff methods for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37(1): 29-38.
- Yan, G-C., M. Nikolic, M-J. Ye, Z-X. Xiao and Y-C. Liang. 2018. Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture* 17(10): 2138-2150.
- Yang, X., Z. Song, C. Yu and F. Ding. 2020. Quantification of different silicon fractions in broadleaf and conifer forests of northern China and consequent implications for biogeochemical Si cycling. *Geoderma* 361: 114036, doi: 10.1016/j.geoderma.2019.114036.
-

A Comparison of Visible Spectroscopy and
Atomic Absorption Spectroscopy Techniques to
Determine Silicon Availability in Sugarcane Growing Clayey Soils

การเปรียบเทียบเทคนิควิสเปกโทรสโกปีและ
อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี เพื่อวัดความเป็นประโยชน์
ของซิลิคอนในดินปลูกอ้อยที่เป็นดินเหนียว

Karuna Poomsong, Saowanuch Tawornpruek^{*} and Worachart Wisawapipat
กรุณา พุ่มทรง เสาวนุช ทาวอร์นพรุค์ และ วรชาติ วิสวพิพัฒน์

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

^{*}Corresponding author: Email: agrsnt@ku.ac.th

(Received: 11 November 2022; Accepted: 10 February 2023)

บทคัดย่อ: ซิลิคอนเป็นธาตุเสริมประโยชน์สำหรับพืช โดยทั่วไปการวิเคราะห์ความเป็นประโยชน์ของซิลิคอนในดินจากปริมาณซิลิคอนในสารสกัดดินด้วยด้วยเทคนิควิสเปกโทรสโกปี และอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือเพื่อเปรียบเทียบการวิเคราะห์ซิลิคอนในสารละลายสกัดโดยวิธีโวลุ่มิตรีฟิเคชันและอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีในดินปลูกอ้อยที่เป็นดินเหนียวจำนวน 36 ตัวอย่าง การประเมินซิลิคอนที่เป็นประโยชน์ในสารละลายสกัดทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ สารละลาย Mehlich I กรดอะซิติก 0.5 โมลาร์ แอมโมเนียมอะซิเตด 0.5 โมลาร์ (pH 4.8) แคลเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ และโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ ผลการศึกษาพบว่าสารละลายสกัดที่พบปริมาณซิลิคอนที่เป็นประโยชน์ที่มีอยู่ในดินสูงสุดคือ สารละลาย Mehlich I ตามด้วยกรดอะซิติก 0.5 โมลาร์, แอมโมเนียมอะซิเตด 0.5 โมลาร์ (pH 4.8), แคลเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์, และน้อยที่สุดคือ โพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ ทั้งการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิสเปกโทรสโกปีและอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ทั้งสองพบความสัมพันธ์สูงในทุกสารละลายสกัด ได้แก่ Mehlich I ($R^2 = 0.9803$), แอมโมเนียมอะซิเตด 0.5 โมลาร์ (pH 4.8) ($R^2 = 0.9869$) แคลเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ ($R^2 = 0.8902$) โพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ ($R^2 = 0.7406$) และกรดอะซิติก 0.5 โมลาร์ ($R^2 = 0.7287$) ซิลิคอนที่สกัดด้วยสารละลายสกัดที่แตกต่างกันมีความสัมพันธ์กันระหว่างสารละลายสกัดที่เป็นกรด ได้แก่ (Mehlich I, กรดอะซิติก 0.5 โมลาร์ และแอมโมเนียมอะซิเตด 0.5 โมลาร์) และสารละลายสกัดเกลือที่เป็นกลาง ได้แก่ (แคลเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ และโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าสารละลายสกัดทั้ง 5 ชนิดนี้ มีลักษณะเฉพาะของความสามารถในการสกัดซิลิคอนในดินและปัจจัยฟิสิกส์ของสารละลายสกัดส่งผลต่อปริมาณซิลิคอนที่เป็นประโยชน์ในดิน เทคนิควิสเปกโทรสโกปีและอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีมีความเหมาะสมในการวัดความเป็นประโยชน์ของซิลิคอนในดินปลูกอ้อยที่เป็นดินเหนียว

คำสำคัญ: ซิลิคอนที่เป็นประโยชน์ สารละลายสกัด อัลตราไวโอเลต-วิสเปกโทรสโกปี อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

Abstract: Silicon (Si) is a beneficial element for plants, Si availability assessment is determined from Si content in soil extracts using visible spectroscopy (Vis) and atomic absorption spectroscopy (AAS). Different chemical extractants are developed to assess plant-available Si. The objective of this study was to compare Si determination in soil extracts by the molybdenum blue colorimetric method and Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) in 36 samples of sugarcane growing soils. Five extractants included Mehlich I, 0.5 M acetic acid, 0.5 M ammonium acetate (pH 4.8), 0.01 M calcium chloride, and 0.01 M potassium chloride. The concentration of extractable Si was found to be maximum by Mehlich-I, followed by 0.5 M acetic acid, 0.5 M ammonium acetate (pH 4.8), 0.01 M calcium chloride, and least by 0.01 M potassium chloride, as determined by both Vis and AAS. The correlation between Vis and AAS determinations was highly correlated in all extractants: Mehlich-I ($R^2 = 0.9803$), 0.5 M ammonium acetate (pH 4.8) ($R^2 = 0.9869$), and 0.01 M calcium chloride ($R^2 = 0.8902$), 0.01 M potassium chloride ($R^2 = 0.7406$), and 0.5 M acetic acid ($R^2 = 0.7287$). Si extracted by different extractants was correlated between acid extractants (Mehlich I, 0.5 M acetic acid, and 0.5 M ammonium acetate) and neutral salt extractants (0.01 M calcium chloride and 0.01 M potassium chloride). The results suggest that these five extractants characterize different pools of Si-supplying capacity of the soil, and the efficiency of the extractants is significantly influenced by the extraction pH conditions. The Vis and AAS techniques are both suitable for determining Si availability in sugarcane growing clayey soils.

Keywords: Available Si, Extractants, UV-Vis, AAS

Introduction

Silicon (Si) is the second most abundant element in the Earth's crust. It is responsible for the formation of silicate minerals but it is mostly inert and only slightly soluble (Savant *et al.*, 1999). Si fractions in soils are classified as adsorbed, liquid, and solid. Si concentration in the liquid phase is strongly influenced by solid-phase solubility (Tubana *et al.*, 2016). Although Si is not an essential nutrient for plants, it is beneficial for induced resistance to biotic and abiotic stresses (Guntzer *et al.*, 2012; Majumdar and Prakash, 2020). As a result, Si has been regarded as agronomically essential to long-term crop production. Notably, members of the grass family, such as sugarcane, accumulate a significant amount of Si in their tissues and harvested components (Tubana *et al.*,

2016). In terms of sugarcane cultivation, Thailand is the world's fourth-largest producer and the world's second-largest leading sugar-exporting country (Office of the Cane and Sugar Board, 2019). Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) absorbs Si from soil solutions more efficiently than any other mineral nutrient (Meyer and Keeping, 2000), and obtains it in the form of monosilicic acid (H_4SiO_4). Although agricultural soils are mostly made up of silicate minerals, many soils have a limiting factor for crop production and an insufficient supply of plant-available Si (Ma and Yamaji, 2006). A review found that the soil-available Si in clayey soils was higher than in sandy soils (Crusciol *et al.*, 2018a; Crusciol *et al.*, 2018b). After multiple harvests, Si concentrations in the soil will inevitably be reduced as the same areas have been used for cropping for several decades (Tubana *et al.*,

2016). As a result, the current study focused on sugarcane growing in clayey soils and considered whether Si could improve crop yields as well as provide other benefits.

The numerous soil Si extractants combined with issues surrounding the solubility and availability of Si in agricultural soils necessitate additional research. Because total Si content is unrelated to soluble Si in soils, analysis of soil-available Si is one of the most commonly used methods for determining whether or not Si deficiency will occur in the soil at a locale. To evaluate plant-available Si, various chemical extractants are being developed. Calcium chloride, which only extracts the easily soluble Si fraction, was found to have the highest correlation to sugarcane yield (Crusciol *et al.*, 2018b; Haysom and Chapman, 1975); acetic acid is one of the extractants used on a large scale (Crusciol *et al.*, 2018a). Phonde *et al.* (2014) discovered a correlation between cane yields and naturally available soil Si extracted with 0.5 M ammonium acetate. In further investigations to verify Ca and Mg extraction in normal soil testing analysis, potassium chloride should be examined for Si extraction. (Crusciol *et al.*, 2018a); one of the most basic versions of universal extractants used to extract plant nutrients in soil samples is dilute double acid (Mehlich I) (Mylavarapu *et al.*, 2002). Different analytical techniques have been proposed to determine Si in chemical extracts and water samples, including the ultraviolet-visible (UV-Vis) and atomic absorption spectrometry (AAS) (Yang *et al.*, 2015) or by ICP (Wang *et al.*, 2004). A Vis method uses a light absorption spectrometer based on the molybdenum blue at lower Si concentrations and its higher sensitivity. In addition, dissolved Si can also be determined by AAS using a nitrous oxide–acetylene flame (Liang

et al., 2015). AAS is still used to measure Si due to its precision, accuracy, and high sensitivity. The cost of analysis is lower than ICP. The objective of this study was to compare Si determination in soil extracts by the molybdenum blue colorimetric method and atomic absorption spectroscopy (AAS) in 36 samples of sugarcane growing soils for development method application in routine analysis laboratories.

Materials and Methods

Sampling sites

The soil sampling sites were selected from sugarcane plantation areas in Khlong Hat District, Sa Kaeo Province, with 36 clayey soil samples collected. There are Thap Phrik (Tpk), Klang Dong (Kld), Wang Nam Yen (Wyn) and Wang Saphung (Ws) soil series. The soil sampling method involved collecting a composite sample at a depth of 0 - 30 centimeters.

Physical and chemical properties analysis

Soil samples from the study areas were air-dried and ground to pass through a stainless sieve of 2 mm. All samples were analyzed for the basic physical and chemical properties of soil. The ranges of basic physical and chemical properties of the soils were: pH 5.58 - 8.13, organic matter 33.05-62.08 g kg⁻¹, Bray II-available phosphorus 0.00 - 0.04 g kg⁻¹, exchangeable potassium 0.03 - 0.27 g kg⁻¹, exchangeable calcium 1.38 - 10.39 g kg⁻¹, and exchangeable magnesium 0.28 - 1.18 g kg⁻¹. The texture of the soil samples ranged from clay loam to clay, though the majority was clay (%clay 27.09 - 58.61). pH was based on soil: water 1 : 1 (Thomas, 1996), with organic matter determined by Walkley and Black Titration (Walkley and Black,

1934), available phosphorus by the Bray II method (Bray and Kurtz, 1945) and extractable K, Ca, and Mg by 1 M NH_4OAc pH 7.0 (Pratt, 1965), while soil texture was determined by a pipette method (Day, 1965; Kilmer and Alexander, 1949).

Methods for extraction of soil-available Si

Extractable Si was extracted using the conventional method; five Si extractants are shown in Table 1. The Si extracted from the soil solution was separated into two experiments to compare the method with the Vis and AAS. For all analyses of Si in soil, plastic laboratory vessels were used and washed successively in a 5 % HNO_3 and a 0.1 M NaOH for greater than or equal to 5 hours each and then rinsed with deionized water after each bath.

Determination of soil Si availability

The Vis analysis for Si was carried out with a Lambda 265 (UV-Vis; Lambda 265; PerkinElmer; USA) using a modified molybdenum blue method developed by Duboc *et al.* (2019). The developed color method is suitable for analyzing water samples and chemical extracts. Such water samples often contain greater concentrations of phosphate, sodium hydroxide, suspended materials, and other

impurities. Specifically, an aliquot of sample extract containing 1 ml was added to a marked 10-ml centrifuge tube, deionized water 7.75 ml, acidified molybdate with 0.50 ml, and then mixed by hand vortexing. After 10 ± 3 min, 0.5 mL of 20 % tartaric acid was added and then mixed by hand vortexing. After 5 ± 1 min, 0.25 ml of the 1-amino 2-naphthol-4-sulphonic acid reducing agent was added to the solution and then mixed by hand vortexing. After allowing 1 hour for color development, absorbance was measured at a wavelength of 630 nm. Standard curves were prepared as 0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, and 5.0 mg Si L^{-1} . The AAS analysis for Si was carried out with a Varian 240 (AAS; AA240; Varian; Palo Alto, CA, USA). Flames were produced by a nitrous oxide - acetylene. The wavelength of 251.6 nm was used for the AAS analysis of solution Si. Method validation was reported with a percentage of recovery by spiking a known amount of Si standard. Analytical solutions were prepared using an appropriate dilution of 1000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ Si atomic absorption spectroscopic standard (PerkinElmer; USA) into each extract of selected soil samples and measuring the difference between the spiked sample and the original sample.

Table 1. Five extraction methods for determination of soil-available Si

No.	Extractant	Soil: solution ratio	pH	Period (h)	References
1	Mehlich I (0.05 M HCl, 0.0125 M H_2SO_4)	1 : 10	1.27	1	Modified from Mylavarapu <i>et al.</i> (2002)
2	0.5 M Acetic acid	1 : 10	2.54	1	Korndörfer <i>et al.</i> (2004); Snyder (2001)
3	0.5 M NH_4OAc	1 : 10	4.84	1	Fox <i>et al.</i> (1967)
4	0.01 M CaCl_2	1 : 10	5.46	1	Korndörfer <i>et al.</i> (2004)
5	0.01 M KCl	1 : 10	5.67	1	Crusciol <i>et al.</i> (2018b)

Statistical data analysis

The relationships among available Si in soil using various extractants for Si assessment in clayey soils and comparing the Si determination in these extracts by the molybdenum blue colorimetric method and atomic absorption spectrometry (AAS) were tested using Statistica software.

Results and Discussion

Comparison of soil Si determined by Vis and AAS in different extractants

The correlation between Vis and AAS determinations was highly correlated in all extractions: Mehlich-I ($R^2 = 0.9803$), 0.5 M ammonium acetate (pH 4.8) ($R^2 = 0.9869$), and 0.01 M calcium chloride extractions ($R^2 = 0.8902$),

0.01 M potassium chloride ($R^2 = 0.7406$), and 0.5 M acetic acid ($R^2 = 0.7287$). Linear regressions indicated that the amount of soil Si estimated by Vis analysis was slightly higher than that by AAS analysis in all extractions (Figure 1).

Ammonium molybdate reacts exclusively with monosilicic acid to form a colored complex, enabling an alternative to the molybdenum blue method to determine only monosilicic acid (Govett, 1961). Consequently, it has been utilized to study the kinetics of monosilicic acid release from non-monosilicic species by observing the time-dependent color development of the Si-Mo complex (Wada and Wada, 1980; Xu and Harsh, 1993). Si determination can be incorporated into routine soil testing using AAS analysis, which is more expeditious.

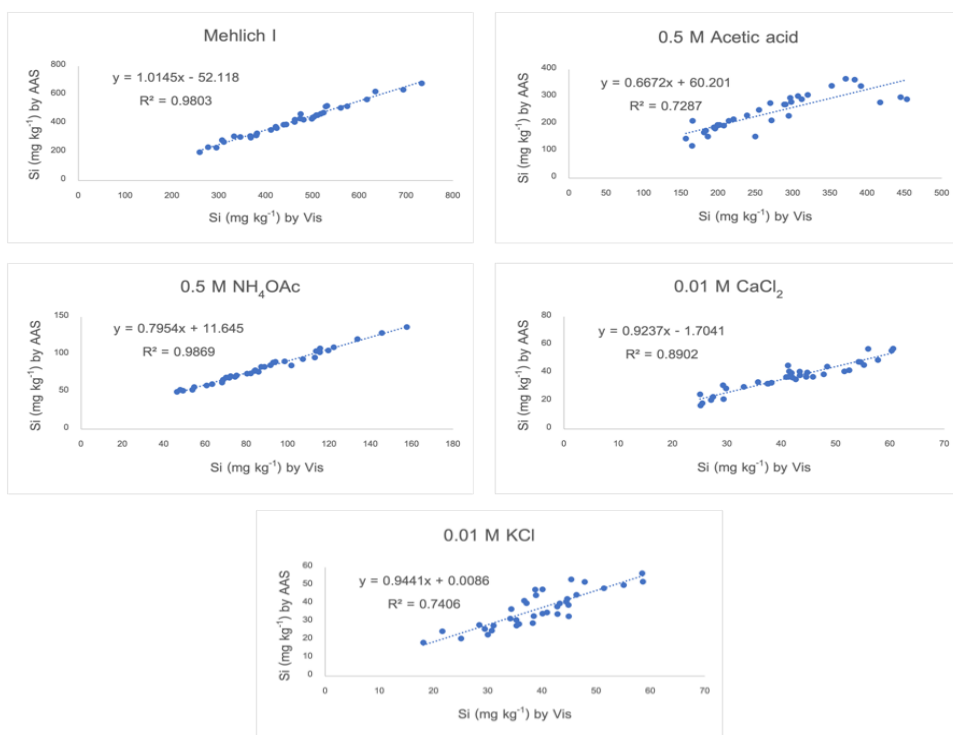


Figure 1. Correlation of soil Si determined by Vis and AAS in different extractants

Mehlich I may have been able to extract more Si than the four extractants and depolymerize all of the non-monomeric Si in the solution. According to the strong correlation between the slopes of the linear regression for Mehlich I, extractable Si that was discovered by AAS and Vis was close to a ratio of 1 : 1. This outcome was in line with earlier research that found high acidity to be the most crucial element in maintaining the stability of monomeric Si (Iler, 1979). A further indication that these reagents were suitable to extract or preserve labile monosilicic acids in solutions was the high correlation between AAS and Vis methods for 0.5 M NH_4OAc , which showed relationships that were slightly less than 1 : 1. The correlation between Vis and AAS determinations in the 0.5 M acetic acid and 0.01 M potassium chloride methods suggests that special care must be taken with soil samples containing a high concentration of soil-available Si.

The spike recovery of extract samples determined by AAS and Vis is shown in Table 2. The recovery of Si in spiked soil samples was between 89.8 - 102.2 % for Vis and 65.5 - 77.2 % for AAS determination. A Vis determination with

a return percentage close to 100 percent is regarded as highly accurate. In all extractions, spike recovery by the AAS-Si was lower than spike recovery by the Vis-Si because the samples were diluted before analysis.

Overall, these results demonstrated that both AAS and Vis determinations for Si analysis exhibited minor matrix effects in the various extractions. The Vis and AAS techniques are both suitable for determining Si availability in sugarcane-growing clayey soils. However, Vis also has limitations due to color measurement. The reaction must take one hour for the color to develop. This procedure could potentially interfere with other substances. The Vis utilizes more chemicals but it is less susceptible to tool deterioration than AAS, which requires more equipment and gas to operate the tool. The AAS should be determined using the flame technique because this method has the added benefits of being both dependable and time-efficient. Each element has a characteristic absorption wavelength. However, nitrous oxide must be used as the oxidant instead of air for elements such as Si that form refractory oxides.

Table 2. Spike recovery for Si determination by Vis and AAS in five different extractants

Extractants	Vis (%)	AAS (%)
Mehlich I	102.2	76.9
0.5 M Acetic acid	97.5	77.2
0.5 M NH_4OAc	89.8	65.5
0.01 M CaCl_2	98.9	71.8
0.01 M KCl	98.6	72.0

Relationship between available Si in soils extracted with different extractants

The Si extraction pool of five extractants from the soil, expressed by overall means of soil Si over 36 samples, is shown in Figure 2. The highest extractable was found in Mehlich I, followed by 0.5 M acetic acid, 0.5 M ammonium acetate, 0.01 M calcium chloride and 0.01 M potassium chloride, respectively. Meanwhile, a similar tendency was found in AAS determination.

The Si content of the acid extractant (Mehlich I, 0.5 M acetic acid, and 0.5 M NH_4OAc) was greater than that of the neutral salt extractant (0.01 M CaCl_2 and 0.01 M KCl). In general, Si extractors that use acidic solutions perform better than neutral ones because Si can be extracted more efficiently from the soil when the pH of the extractant is low (Narayanaswamy and Prakash, 2010). Consequently, Mehlich I extracted more available Si from all soils than other extractants. It could be concluded that the extraction conditions and soil composition (particularly primary silicates, clay minerals, and amorphous components) have a significant effect on the efficiency of the extractants (Berthelsen and Kordorfer, 2005;

Sailaja *et al.*, 2019). Wang *et al.* (2004) also demonstrated similar results and reported that various extractants possessed the characteristics of soil Si-supplying capacity pools.

A similar trend was observed in neutral salt extractants (0.01 M CaCl_2 and 0.01 M KCl). The plant-available Si contents extracted by these two extractants were found to be positively correlated with each other, as shown in Figure 3.

This relationship implies that both methods could extract the same soil Si-species. If it does not change the pH of the soil solution, the salt that promotes ionic strength stabilization (CaCl_2) should be a good Si extractant. The 0.01 M CaCl_2 is a diluted neutral salt that should be capable of extracting soluble Si, which represents the more labile forms in soils, primarily monomeric silicic acid. Although the chemical process involved has not been studied extensively and little has been done to gain a better understanding of the kinetics of ion release from the solid phase to the solution phase, the extractant, 0.01 M CaCl_2 , simulates the ionic strength of the solution (Crusciol *et al.*, 2018a). Poor correlations between 0.01 M CaCl_2 and 0.01 M KCl and other acid extractants

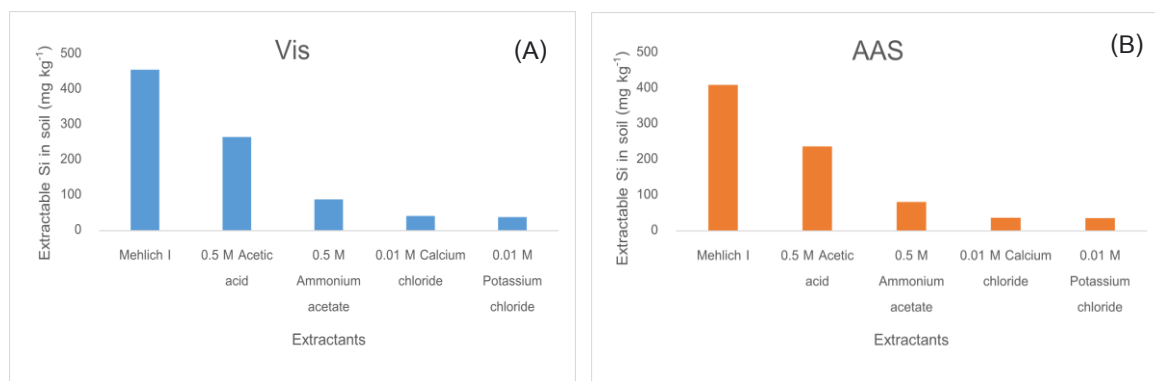


Figure 2. Comparison of mean extractable Si for 36 soils by five extractants using Vis (A) and AAS (B) methods

suggest that the 0.01 M CaCl_2 extraction (Table 3 and 4), like the KCl extraction procedure, may only reflect a transient status of soil soluble Si. A lower linear correlation was observed between 0.01 M CaCl_2 and 0.01 M KCl between Mehlich I, 0.5 M acetic acid, and 0.5 M NH_4OAc extractions, as shown in Tables 3 and 4. These methods may extract three different forms of Si. Mehlich I extracted specifically adsorbed Si, while 0.5 M acetic acid and 0.5 M NH_4OAc dissolved some exchangeable Si. At the same time, 0.01 M CaCl_2 and 0.01 M KCl extracted more easily soluble Si. These findings suggested that the Si removed by these extractants could be divided into two categories, including acid extractants (Mehlich I, 0.5 M acetic acid, and 0.5 M NH_4OAc) and neutral salt extractants (0.01 M CaCl_2 and 0.01 M KCl). Soil extraction with 0.01 M CaCl_2 and 0.01 M KCl reflects a primarily transient pool of soluble Si for a specific soil condition. Some researchers have used this extraction, particularly on moist samples, to characterize mobile forms of Si,

with monosilicic acid being the dominant form, along with polysilicic acids and both inorganic and organic Si complexes (Ma and Takahashi, 2002; Matichenkov *et al.*, 2000). Because the polymerization and depolymerization of soluble Si are heavily influenced by soil pH, salt concentration, and dry-wet cycles (Iler, 1979), it is doubtful that this method can provide a reasonable Si nutritional status for the soil over the course of a growing season. The second category of Mehlich I, 0.5 M acetic acid and 0.5 M NH_4OAc extractants, removes Si that is either mobile or loosely bound, as well as some fractions in amorphous forms (Matichenkov *et al.*, 2000; Savant *et al.*, 1999). Mehlich I extracts extremely high levels of Si. It should be noted that Mehlich I, as a multi-element extractant, has been widely used by many researchers and laboratories for the routine testing of soil available P, K, Ca, Mg, and even certain micronutrients (Mylavarapu *et al.*, 2002). Nonetheless, Mehlich I has not been compared to other extractants in terms of predicting plant-available Si.

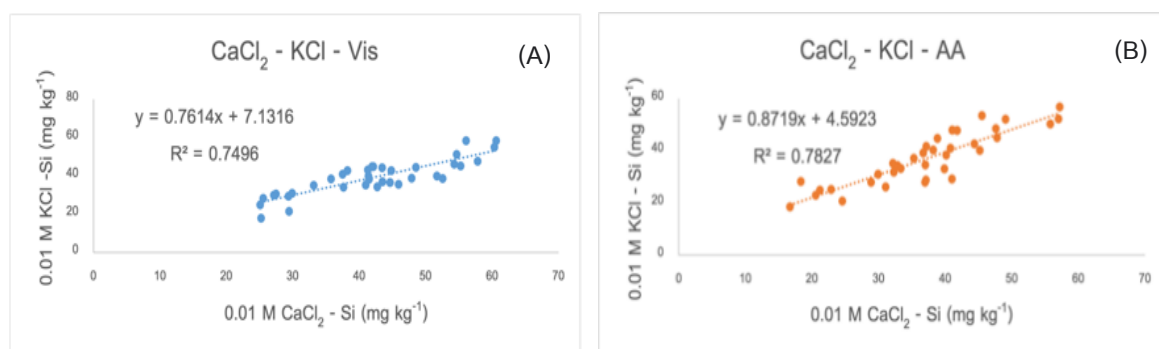


Figure 3. A significant linear correlation documented between calcium chloride (A) and potassium chloride (B) extractions

Table 3. A linear correlation between soil Si extracted by five extractants using Vis

Y\X	Mehlich I	Acetic acid	NH ₄ OAc	CaCl ₂
Acetic acid	$y = 0.3954x + 85.421$ $R^2 = 0.2875^*$			
NH ₄ OAc	$y = 0.1866x + 3.5582$ $R^2 = 0.5926^*$	$y = 0.2304x + 27.426$ $R^2 = 0.4912^*$		
CaCl ₂	$y = 0.0226x + 31.754$ $R^2 = 0.0597$	$y = 0.01x + 39.387$ $R^2 = 0.0064$	$y = -0.028x + 44.526$ $R^2 = 0.0054$	
KCl	$y = 0.0304x + 25.285$ $R^2 = 0.1401^*$	$y = 0.0195x + 33.968$ $R^2 = 0.0313$	$y = 0.0339x + 36.134$ $R^2 = 0.0103$	$y = 0.7614x + 7.1316$ $R^2 = 0.7496^*$

* Indicates the significance of values at $P < 0.05$

Table 4. A linear correlation between soil Si extracted by five extractants using AAS

Y\X	Mehlich I	Acetic acid	NH ₄ OAc	CaCl ₂
Acetic acid	$y = 0.2903x + 118.32$ $R^2 = 0.2663^*$			
NH ₄ OAc	$y = 0.1369x + 25.955$ $R^2 = 0.5224^*$	$y = 0.232x + 27.06$ $R^2 = 0.4746^*$		
CaCl ₂	$y = 0.0311x + 24.364$ $R^2 = 0.1243^*$	$y = 0.0355x + 28.692$ $R^2 = 0.0513$	$y = 0.0236x + 35.186$ $R^2 = 0.0026$	
KCl	$y = 0.0243x + 27.009$ $R^2 = 0.0778$	$y = 0.0372x + 28.141$ $R^2 = 0.0578$	$y = -0.0196x + 38.572$ $R^2 = 0.0018$	$y = 0.8719x + 4.5923$ $R^2 = 0.7827^*$

* Indicates the significance of values at $P < 0.05$

To further explain the difference in extractability, the measured pH in the pure extractants used in this study followed the order Mehlich I (1.27) < 0.5 M acetic acid (2.54) < 0.5 M NH₄OAc (4.84) < 0.01 M CaCl₂ (5.46) < 0.01 M

KCl (5.67). These orders corresponded to the total amount of extractable Si found in this study. Previously, it was demonstrated that a high concentration of H⁺ dissolved aluminosilicates and released Si into a solution (Beckwith and Reeve,

1964; Wang *et al.*, 2004). However, the solubility of crystalline or amorphous Si was essentially constant at solution pH 2-8.5, so the kinetic factor would prevent the dissolved Si from reaching a new equilibrium with a solid phase (e.g., quartz or amorphous Si) (Iler, 1979). As a result, an inverse relationship between soil solution pH and Si concentration has frequently been observed (Wang *et al.*, 2004). Thus, Mehlich I extracts more soil Si than any other extractant tested in this study. The extraction of more Si by Mehlich I than 0.5 M acetic acid and 0.5 M NH_4OAc suggests that factors other than acidity may dominate soil Si extractability. According to Iler (1979), certain anions affect the dissolution of silicate minerals or the displacement of strongly adsorbed Si. Acidity and anions could have an additive effect on Si release from soils. The combined effect of dilute double acid could explain why Mehlich I (0.05 M HCl, 0.0125 M H_2SO_4) extracted the most soil Si, followed by 0.5 M acetic acid and 0.5 M NH_4OAc extractions.

According to Haynes (2014), the pH of the extractant solution can easily lead to an overestimation of the soluble Si content when acetic acid is used. Some acetates ($\text{CH}_3\text{COO}^- \text{NH}_4^+$) and acetic acid (CH_3COOH) are used to remove soluble Si and certain exchangeable Si from soils (Sailaja *et al.*, 2019). Because AAS and UV-Vis determinations of soil-extractable Si yield comparable results, which suggest that non-monosilicic soluble species and/or colloidal Si may precipitate out of the aqueous phase during 0.5 M NH_4OAc extraction. The polymerization of monomeric Si and coagulation of soluble polysilicic acids as well as colloidal Si increased with increasing salt concentration, particularly between pH 3.5 and 5.5 (Iler, 1979). To prevent

clay mineral destruction during the extraction of soluble and exchangeable Si, the pH should be adjusted to 4.5 - 4.8, as suggested by Ayres (1966), Cheong and Halais (1970), and Fox *et al.* (1967).

Conclusion

The correlation between Vis and AAS determinations was highly correlated in all extractions: Mehlich-I ($R^2 = 0.9803$), 0.5 M NH_4OAc (pH 4.8) ($R^2 = 0.9869$), and 0.01 M CaCl_2 extractions ($R^2 = 0.8902$), 0.01 M KCl ($R^2 = 0.7406$), and 0.5 M acetic acid ($R^2 = 0.7287$). Linear regressions indicated that the amount of soil Si determined by Vis analysis was slightly higher than that by AAS analysis in all extractions. The Vis and AAS techniques are both suitable for determining Si availability in sugarcane-growing clayey soils. However, the benefit of this study is its ability to determine the amount of Si available for all types of soil globally, and those methodologies have been applied to soil samples to extract the soil-available Si and identify the crop Si requirement. Mehlich I extracted specifically adsorbed Si, while acetic acid and NH_4OAc dissolved some exchangeable Si as well. Calcium chloride and potassium chloride extracted more easily soluble Si. The lower pH of the extractant has a higher Si extraction power from the soil. The Si extraction pool from soil was found to be the maximum in Mehlich I, followed by 0.5 M Acetic acid, 0.5 M NH_4OAc , 0.01 M CaCl_2 , and the least by 0.01 M KCl. The results suggest that these five extractants characterize different pools of Si-supplying capacity in the soil and that the efficiency of the extractants is significantly influenced by the extraction pH conditions. More

research is needed to determine the relationship between available Si in soil using various extractant solutions and the Si yield of sugarcane, as well as to identify the most suitable Si extractant in the soil and how to manage the availability of Si in soil. Mehlich I and KCl could be alternative methods for extracting Si because they are frequently used to determine available plant nutrients in routine soil analysis and are relatively inexpensive. Further, the KCl method has additional advantages over others as it is easy to prepare and does not require a concentration of acids, thus reducing risk for the operator.

References

- Ayres, A.S. 1966. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. *Soil Science* 101(3): 216-227.
- Beckwith, R.S. and R. Reeve. 1964. Studies on soluble silica in soils. II. The release of monosilicic acid from soils. *Australian Journal of Soil Research* 2: 33-45.
- Berthelsen, S. and G.H. Kordorfer. 2005. Methods for silicon analysis in soil, plant, and fertilizers. pp. 85-91. *In: Proceedings of the third International Conference on Silicon in Agriculture*, Federal University of Uberlandia, Uberlandia in Brazil.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59(1): 39-46.
- Cheong, Y.W.Y. and P. Halais. 1970. Needs of sugar cane for silicon when growing in highly weathered Latosols. *Experimental Agriculture* 6(2): 99-106.
- Crusciol, C.A.C., D.P. de Arruda, A.M. Fernandes, J.A. Antonangelo, L.R.F. Alleoni, D.M. Fernandes and J.M. McCray. 2018a. Methods and extractants to evaluate silicon availability for sugarcane. *Scientific Reports* 8(1): 1-14.
- Crusciol, C.A.C., D.P. de Arruda, A.M. Fernandes, J.A. Antonangelo, L.R.F. Alleoni, D.M. Fernandes and J.M. McCray. 2018b. Evaluation of soil extractants for silicon availability for sugarcane. *Journal of Plant Nutrition* 41(17): 2241-2255.
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. pp. 545-567. *In: C.A. Black, D.D. Evans, L.E. Ensminger, J.L. White and F.E. Clark (eds.). Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin.
- Duboc, O., A. Robbe, J. Santner, G. Folegnani, P. Gallais, C. Lecanuet, F. Zehetner, P. Nagl and W.W. Wenzel. 2019. Silicon availability from chemically diverse fertilizers and secondary raw materials. *Environmental Science & Technology* 53(9): 5359-5368.
- Fox, R.L., J.A. Silva, O.R. Younge, D.L. Plucknett and G.D. Sherman. 1967. Soil and plant silicon and silicate response by sugarcane. *Soil Science Society of America Journal* 31(6): 775-779.
- Govett, G.J.S. 1961. Critical factors in the colorimetric determination of silica. *Analytica Chimica Acta* 25(1): 69-80.
- Guntzer, F., C. Keller and J.-D. Meunier. 2012. Benefits of plant silicon for crops: A

- review. *Agronomy for Sustainable Development* 32(1): 201-213.
- Harvey, D.T. 2000. *Modern Analytical Chemistry*. McGraw-Hill, New York. 817 p.
- Haynes, R.J. 2014. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177(6): 831-844.
- Haysom, M.B.C. and L.S. Chapman. 1975. Some aspects of the calcium silicate trials at Mackay. pp.117-122. *In: Proceeding of the Queensland Society of Sugar Cane Technologists*. Mackay, Queensland.
- Iler, R.K. 1979. *The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry of Silica*. John Wiley & Sons, NewYork. 866 p.
- Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Methods of making mechanical analyses of soils. *Soil Science* 68(1): 15-24.
- Korndörfer, G.H., H.S. Pereira and A. Nolla. 2004. Silicon analysis: Soil, plant and fertilizer. *Technical Bulletin 2. GPSi/ICIAG/UFU, Uberlandia*. 34 p.
- Liang, Y., M. Nikolic, R. Bélanger, H. Gong and A. Song. 2015. *Silicon in Agriculture: From Theory to Practice*. Springer, Dordrecht. 235 p.
- Ma, J.F. and E. Takahashi. 2002. *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*. Elsevier, Amsterdam. 97 p.
- Ma, J.F. and N. Yamaji. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science* 11(8): 392-397.
- Majumdar, S. and N.B. Prakash. 2020. An overview on the potential of silicon in promoting defence against biotic and abiotic stresses in sugarcane. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20: 1969-1998.
- Matichenkov, V.V., E.A. Bocharnikova, D.V. Calvert and G.H. Snyder. 2000. Comparison study of soil silicon status in sandy soils of south Florida. pp. 132-137. *In: Proceedings of the Soil and Crop Science Society of Florida*.
- Meyer, J.H. and M.G. Keeping. 2000. Review of research into the role of silicon for sugarcane production. pp. 29-40. *In: Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association*.
- Mylavarapu, R.S., J.F. Sanchez, J.H. Nguyen and J.M. Bartos. 2002. Evaluation of mehlich-1 and mehlich-3 extraction procedures for plant nutrients in acid mineral soils of Florida. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33(5-6): 807-820.
- Narayanaswamy, C. and N.B. Prakash. 2010. Evaluation of selected extractants for plant-available silicon in rice soils of southern India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41(8): 977-989.
- Office of the Cane and Sugar Board. 2019. Sugarcane cultivated area report year 2018/2019. (Online). Available: <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-1854.pdf> (October 1, 2020).
- Phonde, D.B., P.S. Deshmukh, K. Banerjee and P.G. Adsule. 2014. Plant available silicon in sugarcane soils and its relationship with soil properties, leaf silicon and cane yield. *An Asian Journal of Soil Science* 9(2): 176-180.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. pp.1022-1030. *In: C.A. Black, D.D. Evans, L.E. Ensminger,*

- J.L. White and F.E. Clark (eds.). Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin.
- Sailaja, V., K. Rajamani and B.H. Kumara. 2019. Research review on extracting methods of silicon from soil. *International Journal of Chemical Studies* 7(6): 477-481.
- Savant, N.K., G.H. Korndörfer, L.E. Datnoff and G.H. Snyder. 1999. Silicon nutrition and sugarcane production: A review. *Journal of plant nutrition* 22(12): 1853-1903.
- Snyder, G.H. 2001. Methods for silicon analysis in plants, soils, and fertilizers. *Studies in Plant Science* 8: 185-196.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. pp.475-490. *In*: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.
- Tubana, B.S., T. Babu and L.E. Datnoff. 2016. A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: History and future perspectives. *Soil Science* 181(9/10): 393-411.
- Wada, S-I and K. Wada. 1980. Formation, composition and structure of hydroxy-aluminosilicate ions. *European Journal of Soil Science* 31(3): 457-467.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff methods for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37(1): 29-38.
- Wang, J.J., S.K. Dodla and R.E. Henderson. 2004. Soil silicon extractability with seven selected extractants in relation to colorimetric and ICP determination. *Soil Science* 169(12): 861-870.
- Xu, S. and J.B. Harsh. 1993. Labile and nonlabile aqueous silica in acid solutions: Relation to the colloidal fraction. *Soil Science Society of America Journal* 57(5): 1271-1277.
- Yang, H., C. Li, C. Wei, M. Li, X. Li, Z. Deng and G. Fan. 2015. Molybdenum blue photometry method for the determination of colloidal silica and soluble silica in leaching solution. *Analytical Methods* 7(13): 5462-5467.
-

การตรวจสอบอาการเนื้อโพรงในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Inspection of Spongy Tissue in 'Namdokmai Sithong' Mango Fruit by Near Infrared Spectroscopy

จุฑามาส สงวนทรัพย์¹ พิมไพเจ สีนะนาม^{1,2,3} จันทลักษณ์ ทิยานน^{1,2,3*}
สมศักดิ์ ครามโชติ⁴ และ พลกฤษณ์ มณีวระ^{2,3}
Jutamas Sanguansub¹, Pimjai Seehanam^{1,2,3}, Chantalak Tiyayon^{1,2,3*},
Somsak Kramchote⁴ and Phonkrit Maniwara^{2,3}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400

²Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science,

Research and Innovation, Bangkok 10400, Thailand

³ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

³Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

⁴คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

⁴School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

*Corresponding author: Email: chantalak@gmail.com

(Received: 23 November 2021; Accepted: 21 February 2023)

Abstract: This study aimed to apply near infrared spectroscopy (NIRS) to investigate spongy tissue symptom in 'Namdokmai Sithong' mango. Spectral data were acquired from healthy (1,470 points) and spongy (97 points) tissues from 163 mango fruits prior to developing training models using artificial neural network (ANN). The ANN models were thereafter tested for their efficacies using K-fold cross validation to predict healthy and spongy tissues of mangoes. The results indicated that spectral data of a short-wave near infrared ($12500 - 9000 \text{ cm}^{-1}$ or $800 - 2500 \text{ nm}$) preprocessed by second derivative provided the highest coefficient of determination (R^2) during model training and validating; 0.60 and 0.75, respectively. The ANN model also provided high accuracy for predicting healthy and spongy tissues; 99.32 and 73.68 percent, respectively. Therefore, NIRS combined with ANN might be a possible nondestructive technique for inspecting spongy tissue in 'Namdokmai Sithong' mango.

Keywords: Physiological disorders, artificial neural network, chemometrics, spongy tissue

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy: NIRS) ตรวจสอบอาการเนื่อโพรงในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง โดยเก็บข้อมูลสเปกตรัมเนื้อมะม่วงปกติจำนวน 1,470 ตำแหน่ง และเนื่อโพรงจำนวน 97 ตำแหน่ง จากมะม่วง 163 ผล แล้วนำข้อมูลสเปกตรัมมาสร้างแบบจำลอง (training) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network: ANN) เพื่อทำนายเนื่อปกติและเนื่อโพรงของมะม่วง พร้อมกับการทดสอบแบบจำลอง (validating) ด้วยวิธี K-fold cross validation ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าแบบจำลองที่ใช้สเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นสั้นของเนียร์อินฟราเรด ($12500 - 9000 \text{ cm}^{-1}$ หรือ $800 - 2500 \text{ nm}$) ที่ถูกปรับแต่งด้วยอนุพันธ์อันดับสอง (second derivative) มีค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (coefficient of determination: R^2) ของข้อมูล training และ validating เท่ากับ 0.60 และ 0.75 ตามลำดับ โดยสามารถตรวจสอบเนื่อปกติและเนื่อโพรงในผลมะม่วงได้ที่ระดับความแม่นยำเท่ากับ 99.32 และ 73.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีร่วมกับ ANN มีความเป็นไปได้ที่จะใช้เป็นวิธีการประเมินคุณภาพแบบไม่ทำลายเพื่อตรวจสอบอาการเนื่อโพรงในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง

คำสำคัญ: ความผิดปกติทางสรีรวิทยา โครงข่ายประสาทเทียม เคมีเมทริกซ์ อาการเนื่อโพรง

คำนำ

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมีลักษณะที่สอดคล้องต่อความต้องการของผู้บริโภคต่างประเทศ (Pohsomboon and Radanachalee, 2013) จึงมีการผลิตและส่งออกปริมาณมาก การส่งออกมะม่วงสดมักพบปัญหาผลผลิตไม่ได้คุณภาพ อายุการเก็บรักษาสั้น และปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสียหายอื่น ๆ โดยสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มะม่วงมีคุณภาพต่ำ คือ อาการเนื่อโพรง (spongy tissue) ซึ่งเป็นความผิดปกติทางสรีรวิทยาที่ไม่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก เนื่อมีลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำ มีสีเหลืองอ่อนหรือขาวไปจนถึงสีน้ำตาลดำ เนื่อเยื่อบริเวณนี้อาจเป็นโพรงอากาศหรือไม่ก็ได้ และมักเกิดบริเวณใกล้เมล็ด (Shivashankar, 2014; Yahia *et al.*, 2019) (Figure 1) อาการเนื่อโพรงที่พบในมะม่วงจึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลมะม่วง ทำให้ลักษณะของเนื้อผลสี กลิ่น และรสชาติของเนื้อผลมะม่วงเปลี่ยนแปลงไม่เหมาะสมต่อการบริโภค และส่งผลกระทบต่อมูลค่าทางเศรษฐกิจและความเชื่อมั่นของผู้บริโภคอีกด้วย โดยมีรายงานว่า การเกิดอาการเนื่อโพรงอาจมีสาเหตุจากการสูญเสีย น้ำและการเคลื่อนย้ายแคลเซียมจากเนื้อผลไปยังเมล็ดที่กำลังเกิดการงอก ส่งผลให้เนื้อผลเกิดการหดตัว (de Freitas and Mitcham, 2012) นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่า การเกิดอาการเนื่อโพรงอาจเกิดเมื่อภายในผลมะม่วง

มีอัตราการคายน้ำต่ำและอัตราการหายใจสูง ทำให้คุณภาพภายในผลมะม่วงสูงขึ้น ส่งผลให้เนื้อเยื่อเกิดความเสียหาย (Vasanthai et al., 2008) นอกจากนี้ อาการเนื่อโพรงยังมีสาเหตุมาจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น ผลได้รับแสงแดดหลังเก็บเกี่ยว (Gunjate et al., 1982) น้ำหนักผลมาก (Joshi and Limaye, 1986) และคุณภาพในดินสูง (Katrodia and Seth, 1988) เป็นต้น

ในปัจจุบันมีการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy, NIRS) ประเมินคุณภาพผลผลิตแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (nondestructive testing) โดยใช้ตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิด ซึ่งเทคนิคดังกล่าวใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นระหว่าง $800 - 2500 \text{ nm}$ หรือ $12500 - 4000$ ลูกคลื่นต่อเซนติเมตร (cm^{-1}) แบ่งออกเป็นสองช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่นสั้นที่มีความยาวคลื่นในช่วง $800 - 1100 \text{ nm}$ และช่วงคลื่นยาวที่มีความยาวคลื่นในช่วง $1100 - 2500 \text{ nm}$ โดยใช้หลักการดูดกลืนพลังงานของโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) และออกซิเจน (O) ซึ่งเกาะกันด้วยพันธะโควาเลนต์ โดยพลังงานจากคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด (NIR) สัมพันธ์กับการสั่นของพันธะในโมเลกุลสารอินทรีย์ เมื่อพันธะเกิดการสั่นและความถี่ตรงกับความถี่ของคลื่นแสง NIR แสงนั้นจะถูกดูดกลืน

เรียกว่าสเปกตรัม (Boonyakiat, 2020) จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงมาหาความสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้น (linear regression) กับผลการวิเคราะห์ทางเคมีโดยวิธี chemometrics เพื่อให้ได้สมการในการทำนายปริมาณสาร หรือสารประกอบชนิดนั้น ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในงานวิเคราะห์ประจำวัน (routine analysis) ได้ (Theanjumpol, 2017) ปัจจุบันเทคนิค NIRS ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรมากขึ้น เช่น ตรวจสอบความแก่หรือดัชนีการเก็บเกี่ยว และทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids; TSS) ของผลมะม่วงหลังการสุก ซึ่งจากงานวิจัยพบว่า ค่า R^2 ของชุด calibration เท่ากับ 0.90 และ R^2 ของชุด validation เท่ากับ 0.92 (Subedi *et al.*, 2007) การประเมินคุณภาพของผลมะม่วงในระหว่างการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า จากการสร้างแบบจำลองของข้อมูล TSS มีค่า R^2 ของชุด calibration เท่ากับ 0.87 (Theanjumpol *et al.*, 2014) การประเมินคุณภาพของเสาวรสหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า แบบจำลองของข้อมูล soluble solids content (SSC) มีค่า R ของชุด calibration เท่ากับ 0.923 (Maniwara *et al.*, 2014;

2019) นอกจากนี้ ยังมีการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจสอบความผิดปกติภายใน (internal disorders) ของผลิตผลทางพืชสวนและพืชไร่หลายชนิด ได้แก่ การตรวจสอบอาการไส้ดำของหัวไซเท้าญี่ปุ่น พบว่า แบบจำลองด้วยวิธี Linear discriminant analysis (LDA) และ partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) สามารถจำแนกได้ 90.1 เปอร์เซ็นต์ (Takizawa *et al.*, 2014) การตรวจสอบอาการไส้ดำ (black heart) ในมันฝรั่ง พบว่า สามารถตรวจสอบได้ความแม่นยำเท่ากับ 97.11 เปอร์เซ็นต์ (Zhou *et al.*, 2015) การตรวจสอบอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด พบว่า สมการเทียบมาตรฐานอาการไส้สีน้ำตาล แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (SEC) ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (SEP) และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIR (bias) เท่ากับ 0.81, 8.48, 8.96 และ -2.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจหาอาการไส้สีน้ำตาลในผลสับปะรด (Chaipanwiriaporn *et al.*, 2012)



Figure 1. Longitudinal section of 'Namdokmai Sithong' mango fruit with healthy tissue (A), fruit with spongy tissue (B), healthy tissue (C), and spongy tissue (D)

การตรวจสอบหนอนภายในกระเจี๊ยบเขียวสด พบว่าแบบจำลองการคัดแยกคุณภาพภายในฝักกระเจี๊ยบเขียวสดด้วยวิธี PLSDA สามารถคัดแยกกลุ่มได้มีความแม่นยำ 90 เปอร์เซนต์ (Rittiron *et al.*, 2014) การตรวจสอบอาการเนื่อฟามในส้มสายน้ำผึ้ง พบว่า สามารถคัดแยกกลุ่มได้มีความแม่นยำ 90 เปอร์เซนต์ (Wongzeewasakun *et al.*, 2017) และการตรวจสอบอาการสะท้อนหวานในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง วิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี principle component analysis (PCA) พบว่า สเปกตรัมของมะม่วงสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ด้วย PC2 และ PC3 ซึ่งพบว่า มะม่วงที่แสดงอาการสะท้อนหวานมีการตอบสนองต่อแสงเนียร์อินฟราเรด (Theanjumpol *et al.*, 2008) เป็นต้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีตรวจสอบอาการเนื่อโพรงในผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจสอบความผิดปกติทางสรีรวิทยาอื่น ๆ ของผลมะม่วงและผลิตผลทางการเกษตรต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวอย่างมะม่วงและการวัดสเปกตรัม

เก็บเกี่ยวผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง (*Mangifera indica* cv. Namdokmai Sithong) ที่มีอายุประมาณ 100 - 105 วันหลังดอกบาน จากสวนของ

เกษตรกรอำเภอแม่แตงและอำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ จำนวนทั้งหมด 163 ผล ขนส่งผลิตผลโดยรถตู้มายังห้องปฏิบัติการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แล้วนำผลมะม่วงมาตรวจอาการเนื่อโพรงด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (computerized tomography: CT) (รุ่น CT/e, GE Healthcare, สหรัฐอเมริกา) เป็นผลปกติ 140 ผล และผลที่มีอาการเนื่อโพรง 23 ผล จากนั้นแบ่งพื้นที่ผิวมะม่วงด้วยกระดาษกาวย่น (กว้าง 0.3 เซนติเมตร) เป็นช่องขนาด 1.5×1.5 เซนติเมตร โดย 1 ช่องกำหนดให้เป็น 1 ตำแหน่งเนื่อมะม่วงก่อนนำไปวัดสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดด้วยเครื่อง FT-NIR (รุ่น multi-purpose analyzer (MPA), Bruker, เยอรมนี) โดยใช้หัววัดใยแก้วนำแสง (fiber optic probe) ในระบบการวัดแบบ interactance และวัด background ทุกครั้งหลังจากวัดตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง โดยใช้ spectralon เป็น background บันทึกค่าการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดในช่วง $12500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ (800 - 2500 nm) (Figure 2) โดยระบุเนื่อดีหรือเนื่อโพรงเป็นจุด 1 จุดต่อ 1 เส้นสเปกตรัม หลังจากนั้น ทำการผ่าผลมะม่วงตามความยาวของเมล็ด เพื่อกำหนดตำแหน่งของเนื่อปกติและเนื่อโพรงให้สอดคล้องกับช่องที่กำหนดไว้ที่ผิวของผลมะม่วง

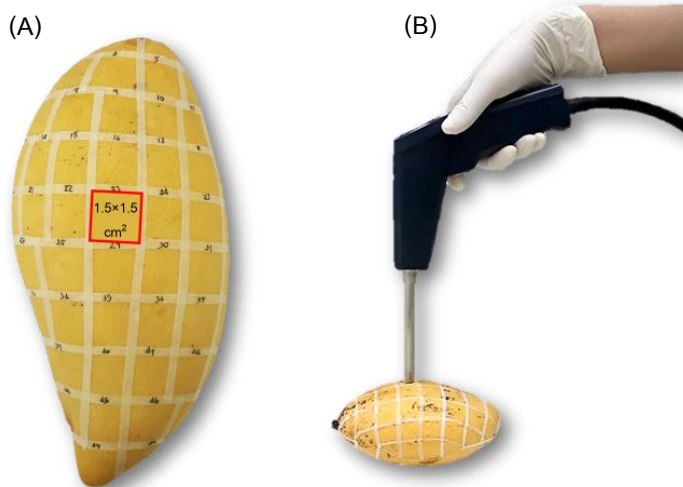


Figure 2. Area meshing (A) and spectral collection using a solid probe of MPA FT-NIR spectrometer (B)

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิม (original spectra) ทั้งหมดมาปรับแต่งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (first derivative) อนุพันธ์อันดับสอง (second derivative) standard normal variate (SNV) และ multiplicative scatter correction (MSC) หลังจากนั้นสร้างแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network: ANN) โดยใช้ one-layer ANN ที่ประกอบด้วย 3 nodes พังกชัน แล้วจึงทำการทดสอบแบบจำลองด้วยวิธี K-fold cross validation (Debska and Guzowska-Swider, 2011) โดยกำหนดให้ K เท่ากับ 5 ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจากข้อมูลการสร้างและทดสอบแบบจำลอง และทดสอบแบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (coefficient of determination: R^2) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error: RMSE) และเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของการแยกมะม่วงเนื่อปกติและเนื่อโพรง (classification accuracy) วิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดโดยใช้โปรแกรม JMP (Version 10.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, สหรัฐอเมริกา)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากค่าการดูดกลืนแสงหรือสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดเฉลี่ย (average spectra) ของเนื่อมะม่วงปกติและมะม่วงที่แสดงอาการเนื่อโพรงในช่วงความยาวคลื่น 12500 - 4000 cm^{-1} (800 - 2500 nm) (Figure 3) พบว่าความยาวคลื่นสั้นอยู่ที่ 12500 - 9000 cm^{-1} (800 - 1100 nm) และความยาวคลื่นยาวอยู่ที่ 9000 - 4000 cm^{-1} (1100 - 2500 nm) ของเนื่อปกติมีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าเนื่อโพรงเล็กน้อยตลอดช่วงเนียร์อินฟราเรด โดยในผลมะม่วงปกติมีปริมาณน้ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (Yahia, 2011) ขณะที่เนื่อที่แสดงอาการเนื่อโพรงมีปริมาณน้ำน้อยกว่า (Katrodia, 1988) จึงส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของเนื่อมะม่วง งานวิจัยของ Ravindra and Shivashankar (2004) พบว่า สาเหตุหนึ่งของการเกิดอาการเนื่อโพรงมาจากการงอกของเมล็ดภายในผลมะม่วง ส่งผลให้เนื่อของผลที่เกิดอาการเนื่อโพรงมีปริมาณแคลเซียมน้อยกว่าเนื่อของผลปกติ เนื่องจากแคลเซียมถูกส่งไปยังเมล็ดที่กำลังเกิดการงอกทำให้เนื่อสัมผัสและความแน่นเนื่อผิดปกติ

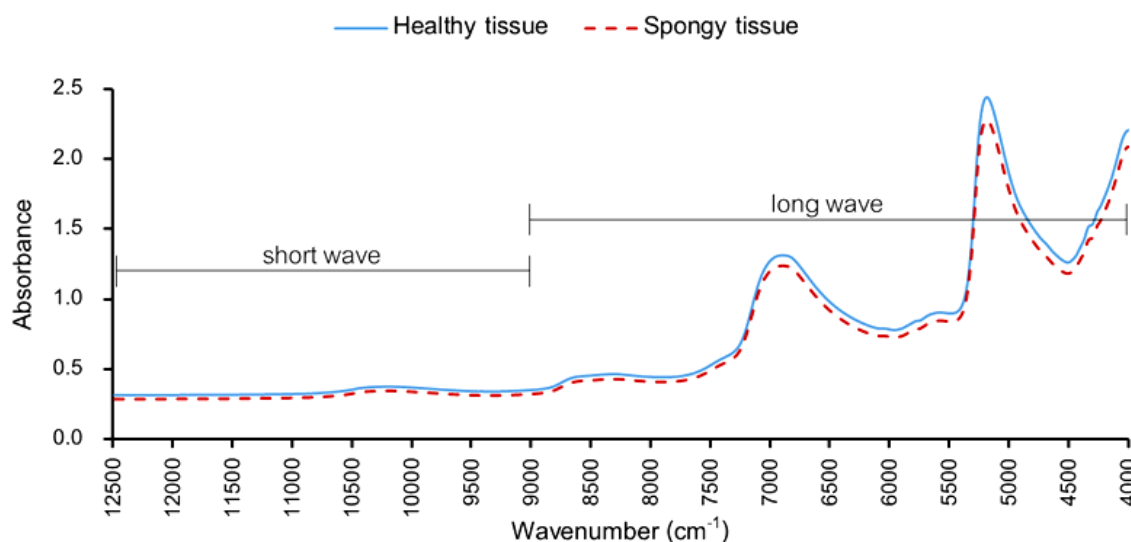


Figure 3. Average spectra of healthy and spongy tissues, scanned on the outside of fruits, obtained from 'Namdokmai Sithong' mango

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายเนื้อปกติและเนื้อโพรงของมะม่วง พบว่า สเปกตรัมช่วงความยาวคลื่นสั้นของเนียร์อินฟราเรด (12500 - 9000 cm^{-1} หรือ 800 - 1100 nm) ซึ่งถูกปรับแต่งด้วยอนุพันธ์อันดับสองให้แบบจำลอง มีค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (coefficient of determination: R^2) และรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error: RMSE) ของข้อมูลในชุด training เท่ากับ 0.60 และ 0.16 ตามลำดับ และมีค่า R^2 และ RMSE ของข้อมูลในชุด validating เท่ากับ 0.75 และ 0.13 ตามลำดับ แบบจำลองโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของข้อมูลชุด training และชุด validating สามารถทำนายเนื้อผลปกติได้ความแม่นยำ เท่ากับ 99.41 และ 99.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทำนายอาการเนื่อโพรงได้ความแม่นยำ เท่ากับ 60.26 และ 73.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gabriëls *et al.* (2020) ที่ใช้ช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้และเนียร์อินฟราเรดความยาวคลื่นสั้น (visible and short wave near infrared: Vis/SWNIR) ในช่วงความยาวคลื่น 300 - 1100 nm ตรวจสอบการเกิดเนื่อสีน้ำตาล (internal browning) ของมะม่วงพันธุ์ Keitt โดยสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ผลการทดลองพบว่า วิธีดังกล่าวให้ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเนื่อสีน้ำตาลมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถใช้จำแนกคุณภาพของมะม่วงได้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Mogollón *et al.* (2020) ที่ใช้ Vis/SWNIR เพื่อตรวจสอบการเกิดอาการเนื่ออุ่นใกล้เมล็ด (jelly seed) และอาการเนื่อดำ (black flesh) ของผลมะม่วงพันธุ์ Keitt หลังจากเก็บรักษา โดยวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี logistic regression analysis (LRA) และ linear discriminant analysis (LDA) ผลการทดลองพบว่า แบบจำลองเชิงเส้นสามารถตรวจสอบอาการเนื่ออุ่นใกล้เมล็ดและอาการเนื่อดำของมะม่วงได้ที่ระดับความแม่นยำประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์การสร้างและทดสอบแบบจำลอง ANN จากข้อมูลสเปกตรัมความยาวคลื่นยาวของเนียร์อินฟราเรด (9000 - 4000 cm^{-1} หรือ 1100 - 2500 nm) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่งเพื่อปรับแต่งสเปกตรัมให้ความแม่นยำสูงสุด โดยมีค่า R^2 และ RMSE ของข้อมูล training เท่ากับ 0.41 และ 0.21 ตามลำดับ และมีค่า R^2 และ RMSE ของข้อมูล validating เท่ากับ 0.53 และ 0.19 ตามลำดับ แบบจำลองโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของข้อมูล training และ validating สามารถทำนายเนื้อผลปกติได้ความแม่นยำ เท่ากับ 98.13 และ 98.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลการทำนายอาการเนื่อโพรงกลับพบว่า มีความแม่นยำต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับ Raghavendra *et al.* (2021) ที่ศึกษาการใช้ near infrared spectroscopy (NIRS) ช่วงความยาวคลื่น 673 - 1900 nm เพื่อตรวจสอบความเสียหายภายในของมะม่วงพันธุ์อัลฟองโซ และผลการศึกษาพบว่า ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 673 - 1100 nm มีความสามารถในการตรวจสอบความเสียหายภายในของมะม่วงมากกว่าที่ความยาวคลื่นระหว่าง 1100 - 1900 nm จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ความยาวคลื่นยาวในการตรวจสอบความเสียหายภายในของมะม่วงมีความแม่นยำต่ำกว่าการใช้ความยาวคลื่นสั้น เนื่องจากคลื่นช่วงความยาวคลื่นยาวมีพลังงานต่ำกว่าช่วงความยาวคลื่นสั้น ทำให้ความสามารถในการทะลุทะลวงต่ำ (Workman and Burns, 2001)

Table 1. Training and validating results of artificial neural network (ANN) using short-wave near infrared spectra for predicting healthy and spongy tissues in 'Namdokmai Sithong' mango

Pre-treatment	Training (n = 1254)				Validating (n = 313)			
Original	R ²	0.52			R ²	0.57		
	RMSE	0.18			RMSE	0.18		
	Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted		Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
			Healthy	1168 (99.32 %)			8 (0.68 %)	Healthy
Spongy	46 (59.74 %)	31 (40.26 %)	Spongy	10 (50.00 %)	10 (50.00 %)			
First derivative	R ²	0.51			R ²	0.51		
	RMSE	0.17			RMSE	0.16		
	Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted		Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
			Healthy	1167 (99.24 %)			9 (0.77 %)	Healthy
Spongy	30 (38.46 %)	48 (61.54 %)	Spongy	5 (26.32 %)	14 (73.68 %)			
Second derivative	R ²	0.60			R ²	0.75		
	RMSE	0.16			RMSE	0.13		
	Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted		Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
			Healthy	1169 (99.41 %)			7 (0.60 %)	Healthy
Spongy	31 (39.74 %)	47 (60.26 %)	Spongy	5 (26.32 %)	14 (73.68 %)			
SNV	R ²	0.41			R ²	0.40		
	RMSE	0.19			RMSE	0.19		
	Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted		Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
			Healthy	1172 (99.66 %)			4 (0.34 %)	Healthy
Spongy	49 (62.82 %)	29 (37.18 %)	Spongy	10 (52.63 %)	9 (47.37 %)			
MSC	R ²	0.45			R ²	0.37		
	RMSE	0.19			RMSE	0.20		
	Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted		Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
			Healthy	1171 (99.58 %)			5 (0.43 %)	Healthy
Spongy	51 (65.39 %)	27 (34.62 %)	Spongy	14 (73.68 %)	5 (26.32 %)			

Table 2. Training and validating results of artificial neural network (ANN) using long-wave near infrared spectra for predicting healthy and spongy tissues in 'Namdokmai Sithong' mango

Pre-treatment	Training (n = 1254)				Validating (n = 313)			
Original	R ²	0.31			R ²	0.31		
	RMSE	0.21			RMSE	0.21		
	Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted		Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
			Healthy	1169 (99.41 %)			7 (0.60 %)	Healthy
Spongy	62 (79.49 %)	16 (20.51 %)	Spongy	16 (84.21 %)	3 (15.79 %)			
First derivative	R ²	0.41			R ²	0.53		
	RMSE	0.21			RMSE	0.19		
	Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted		Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
			Healthy	1154 (98.13 %)			22 (1.87 %)	Healthy
Spongy	52 (66.67 %)	26 (33.33 %)	Spongy	12 (63.16 %)	7 (36.84 %)			
Second derivative	R ²	0.51			R ²	0.41		
	RMSE	0.18			RMSE	0.20		
	Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted		Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
			Healthy	1172 (99.66 %)			4 (0.34 %)	Healthy
Spongy	41 (52.56 %)	37 (47.44 %)	Spongy	12 (63.16 %)	7 (36.84 %)			
SNV	R ²	0.22			R ²	0.16		
	RMSE	0.23			RMSE	0.24		
	Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted		Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
			Healthy	1171 (99.58 %)			5 (0.43 %)	Healthy
Spongy	75 (96.15 %)	3 (3.85 %)	Spongy	19 (100.00 %)	0 (0.00 %)			
MSC	R ²	0.38			R ²	0.43		
	RMSE	0.21			RMSE	0.21		
	Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted		Confusion matrix (Accuracy)	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
			Healthy	1163 (98.90 %)			13 (1.11 %)	Healthy
Spongy	64 (82.05 %)	14 (17.95 %)	Spongy	18 (94.74 %)	1 (5.26 %)			

Remarks: R^2 = coefficient of determination, RMSE = root mean square error; SNV = standard normal variate; MSC = multiplicative scatter correction

จากการสร้างแบบจำลองด้วยข้อมูลเส้นสเปกตรัมช่วงความยาวคลื่นทั้งหมด 12500 - 4000 cm^{-1} (800 - 2500 nm) พบว่า ข้อมูลสเปกตรัมช่วงความยาวคลื่นทั้งหมดที่ถูกปรับแต่งด้วยอนุพันธ์อันดับหนึ่ง มีค่า R^2 และ RMSE ของข้อมูล training เท่ากับ 0.46 และ 0.19 ตามลำดับ และมีค่า R^2 และ RMSE ของข้อมูล validating เท่ากับ 0.52 และ 0.17 ตามลำดับ แบบจำลองโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของข้อมูลชุด training และ validating สามารถทำนายเนื้อผลปกติได้ ความแม่นยำ เท่ากับ 99.75 และ 100.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และทำนายอาการเนื้อโพรงได้ความแม่นยำ เท่ากับ 33.33 และ 47.37 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Table 3) ผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการใช้ข้อมูลสเปกตรัมช่วงความยาวคลื่นสั้นให้ผลการสร้างและทดสอบแบบจำลองที่ดีกว่าการใช้ข้อมูลสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นทั้งหมดและช่วงความยาวคลื่นยาว ตามลำดับ ซึ่ง Ozaki and Huck (2020) กล่าวว่าช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 800 - 2500 nm สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ความยาวคลื่นระหว่าง 800 - 1200 nm ช่วงที่ 2 ความยาวคลื่นระหว่าง 1200 - 1800 nm และช่วงที่ 3 ความยาวคลื่นระหว่าง 1800 - 2500 nm เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนพลังงานจากความยาวคลื่นช่วงที่ 1 เกิดการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน (electronic transition) และเกิดการสั่นสะเทือนแบบ overtone ระดับสูง ซึ่งพันธะของโมเลกุลดูดกลืนคลื่นในระดับต่ำ และคลื่นมีพลังงาน โฟตอนสูง จึงสามารถทะลุทะลวงลงในเนื้อของสสารได้ดีกว่าความยาวคลื่นช่วงที่ 2 และ 3 ซึ่งมีพลังงานในการทะลุทะลวงต่ำกว่ามาก สอดคล้องกับอาการเนื้อโพรงในผลมะม่วงที่มักเกิดในเนื้อบริเวณใกล้กับเมล็ด ซึ่งอยู่ตำแหน่งที่ลึก (deep-laying spongy tissue) จนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนียร์อินฟราเรด โดยเฉพาะความยาวคลื่นยาวไม่สามารถทะลุผ่านลงไปได้ จึงให้ผลการทำนายอาการเนื้อโพรงที่ระดับความแม่นยำ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม พบว่า แบบจำลองของข้อมูลเส้นสเปกตรัมของความยาวคลื่นสั้น ความยาวคลื่นยาว และช่วงความยาวคลื่นทั้งหมดของเนียร์อินฟราเรดที่เส้นสเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธี SNV และ MSC มีค่าความแม่นยำ ซึ่งการปรับแต่งเส้นสเปกตรัมด้วยวิธี SNV และ MSC ปรับแต่งเส้นสเปกตรัมที่ถูกรบกวนจากการกระเจิงของแสง (light scattering) โดยปรับให้สเปกตรัมทุกตัวอย่างอยู่ในสเกลเดียวกัน ช่วยลดความแปรปรวนระหว่างตัวอย่าง ซึ่งอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น นอกจากนี้ยังพบว่า เส้นสเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่งและอนุพันธ์อันดับสอง แบบจำลองของข้อมูลเส้นสเปกตรัมของความยาวคลื่นสั้น ความยาวคลื่นยาว และช่วงความยาวคลื่นทั้งหมดของเนียร์อินฟราเรดที่ได้จะมีความแม่นยำสูง เนื่องจากเป็นวิธีหาความชันของเส้นสเปกตรัมเพื่อแก้ปัญหาพีคที่มีฐานกว้าง (broad peak) ที่มีการซ้อนทับกันของพีคและการยกตัวของสเปกตรัม (baseline shift) ที่เกิดจากการกระเจิงแสง ซึ่งมีต่อการดูดกลืนแสง สาเหตุจากขนาดของตัวอย่าง เช่น ผลิตผลมีความไม่สม่ำเสมอ การยึดตัวของตัวอย่าง การกระจายตัวของตัวอย่าง และความร้อนหรืออุณหภูมิภายในตัวอย่างที่แตกต่างกัน โดยอนุพันธ์อันดับสองสามารถลดปัญหาการเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ของค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมตลอดช่วงความยาวคลื่นตามแกน Y ที่ชัดเจนกว่าวิธีอนุพันธ์อันดับหนึ่ง และสามารถแยกพีคที่ซ้อนทับกันได้อย่างชัดเจน (Kittiwachana, 2020)

Table 3. Training and validating results of artificial neural network (ANN) using near infrared spectra for predicting healthy and spongy tissues in 'Namdokmai Sithong' mango

Pre-treatment	Training (n = 1254)				Validating (n = 313)			
Original	R ²	0.52			R ²	0.25		
	RMSE	0.18			RMSE	0.23		
	Confusion matrix	Actual	Predicted		Confusion matrix	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
	(Accuracy)	Healthy	1172 (99.66%)	4 (0.34%)	(Accuracy)	Healthy	291 (98.98%)	3 (1.02%)
		Spongy	49 (63.64%)	28 (36.36%)		Spongy	16 (80.00%)	4 (20.00%)
First derivative	R ²	0.46			R ²	0.52		
	RMSE	0.19			RMSE	0.17		
	Confusion matrix	Actual	Predicted		Confusion matrix	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
	(Accuracy)	Healthy	1173 (99.75%)	3 (0.26%)	(Accuracy)	Healthy	294 (100.00%)	0 (0.00%)
		Spongy	52 (66.67%)	26 (33.33%)		Spongy	10 (52.63%)	9 (47.37%)
Second derivative	R ²	0.40			R ²	0.37		
	RMSE	0.21			RMSE	0.21		
	Confusion matrix	Actual	Predicted		Confusion matrix	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
	(Accuracy)	Healthy	1161 (98.72%)	15 (1.28%)	(Accuracy)	Healthy	289 (98.30%)	5 (1.70%)
		Spongy	52 (66.67%)	26 (33.33%)		Spongy	11 (57.90%)	8 (42.11%)
SNV	R ²	0.45			R ²	0.54		
	RMSE	0.20			RMSE	0.18		
	Confusion matrix	Actual	Predicted		Confusion matrix	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
	(Accuracy)	Healthy	1173 (99.75%)	3 (0.26%)	(Accuracy)	Healthy	293 (99.66%)	1 (0.34%)
		Spongy	57 (73.08%)	21 (26.92%)		Spongy	13 (68.42%)	6 (31.58%)
MSC	R ²	0.45			R ²	0.38		
	RMSE	0.19			RMSE	0.19		
	Confusion matrix	Actual	Predicted		Confusion matrix	Actual	Predicted	
			Healthy	Spongy			Healthy	Spongy
	(Accuracy)	Healthy	1170 (99.49%)	6 (0.51%)	(Accuracy)	Healthy	294 (100.00%)	0 (0.00%)
		Spongy	48 (61.54%)	30 (38.46%)		Spongy	10 (52.63%)	9 (47.37%)

Remarks: R² = coefficient of determination, RMSE = root mean square error; SNV = standard normal variate; MSC = multiplicative scatter correction

สรุป

การวิเคราะห์การส้างและทดสอบแบบจำลอง
โครงข่ายประสาทเทียมจากข้อมูลเนียร์อินฟราเรดสเปก-
โทรสโกปีในสเปกตรัมช่วงความยาวคลื่นยาว และช่วง
ความยาวคลื่นทั้งหมด สามารถตรวจสอบอาการเนื่อโพรง
ได้ที่ระดับความแม่นยำค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเนียร์
อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในสเปกตรัมช่วงความยาวคลื่น
สั้น แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของเนียร์
อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในสเปกตรัมช่วงความยาว
คลื่นสั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ตรวจสอบ
อาการเนื่อโพรงในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง
อีกทั้งงานวิจัยนี้ ยังสามารถนำมาเป็นแนวทางใน
การพัฒนาวิธีการตรวจสอบความผิดปกติทางสรีรวิทยา
อื่น ๆ ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลัง
การเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์
วิจัยและนวัตกรรม ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณ
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สาขาวิชาพืชสวน
ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ และห้องปฏิบัติ
การกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และ
สถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Boonyakiat, D. 2020. Nondestructive examination
of produce quality with near-Infrared
spectroscopy. pp. 1-12. *In*: D. Boonyakiat
and P. Theanjumol (eds.). Using NIR
Spectroscopy to Evaluate Agricultural
Produce Quality. Postharvest Technology
Innovation Center, Bangkok. (in Thai)
Chaipanwiriaporn, N., D. Boonyakiat, P.
Noimanee and P. Theanjumol. 2012.

Detection of pineapple fruit internal
browning by near infrared spectroscopy.
Agricultural Science Journal 43(Suppl. 3):
477-480. (in Thai)
de Freitas, S.T. and E.J. Mitcham. 2012. Factors
involved in fruit calcium deficiency
disorders. pp. 107-146. *In* J. Janick (ed.).
Horticultural Reviews: Volume 40. John
Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
Debska, B. and B. Guzowska-Swider. 2011.
Application of artificial neural network in
food classification. *Analytica Chimica
Acta* 705: 283-291.
Gabriëls, S.H.E.J., P. Mishra, M.G.J. Mensink, P.
Spoelstra and E.J. Woltering. 2020. Non-
destructive measurement of internal
browning in mangoes using visible and
near-infrared spectroscopy supported
by artificial neural network analysis.
Postharvest Biology and Technology
166: 111206, doi: 10.1016/j.postharvbio.
2020.111206.
Gunjate, R.T., B.P. Walimbe, B.P. Lad and V.P.
Limaye. 1982. Development of internal
breakdown in Alphonso mango by post
harvest exposure of fruits to sunlight.
Science and Culture 48: 188-190.
Joshi, G.D. and V.P. Limaye. 1986. Effects of tree
location and fruit weight on spongy tissue
occurrence in Alphonso mango. *Journal
of Maharashtra Agricultural Universities*
11: 104-109.
Katrodia, J.S. 1988. Spongy tissue in mango–
causes and control measures. *Acta
Horticulturae* 231: 814-826.
Katrodia, J.S. and I.K. Seth. 1988. Spongy
tissue development in mango fruit of
cv. Alphonso in relation to temperature and

- its control. *Acta Horticulturae* 231: 827-834.
- Kittiwachana, S. 2020. Chemometrics for NIR spectroscopy. pp. 48-100. *In*: D. Boonyakiat and P. Theanjumol (eds.). Using NIR Spectroscopy to Evaluate Agricultural Produce Quality. Postharvest Technology Innovation Center, Bangkok. (in Thai)
- Maniwaru, P., K. Nakano, D. Boonyakiat, S. Ohashi, M. Hiroi and T. Tohyama. 2014. The use of visible and near infrared spectroscopy for evaluating passion fruit postharvest quality. *Journal of Food Engineering* 143: 33-43.
- Maniwaru, P., K. Nakano, S. Ohashi, D. Boonyakiat, P. Seehanam, P. Theanjumol and P. Poonlarp. 2019. Evaluation of NIRS as non-destructive test to evaluate quality traits of purple passion fruit. *Scientia Horticulturae* 257: 108712, doi: 10.1016/j.scientia.2019.108712.
- Mogollón, R., C. Contreras, M.L. da Silva Neta, E.J.N. Marques, J.P. Zoffoli and S.T. de Freitas. 2020. Non-destructive prediction and detection of internal physiological disorders in 'Keitt' mango using a hand-held Vis-NIR spectrometer. *Postharvest Biology and Technology* 167: 111251, doi: 10.1016/j.postharvbio.2020.111251.
- Ozaki, Y. and C. Huck. 2020. Introduction. pp. 3-10. *In*: Y. Ozaki, C. Huck, S. Tsuchikawa and S.B. Engelsen (eds.). Near-Infrared Spectroscopy: Theory, Spectral Analysis, Instrumentation, and Applications. Springer Nature Singapore Pte. Ltd., Singapore.
- Pohsomboon, M. and T. Radanachaless. 2013. Commercial Thai mango cultivars. pp. 157-190. *In*: T. Radanachaless, W. Kumpoun and T. Jaroenkit (eds.). Mango-Production and Postharvest Technology. Postharvest Technology Innovation Center, Bangkok. (in Thai)
- Raghavendra, A., D.S. Guru and M.K. Rao. 2021. Mango internal defect detection based on optimal wavelength selection method using NIR spectroscopy. *Artificial Intelligence in Agriculture* 5: 43-51.
- Ravindra, V. and S. Shivashankar. 2004. Spongy tissue in Alphonso mango – significance of in situ seed germination events. *Current Science* 87(8): 1045-1049.
- Rittiron, R., L. Aomsin, B. Thongsongsom, S. Pochanagom and S. Narongwongwattana. 2014. Worms detection within fresh okra for exporting by near infrared technique. *Agricultural Science Journal* 45(Suppl. 3/1): 309-312. (in Thai)
- Shivashankar, S. 2014. Physiological disorders of mango fruit. pp. 313-347. *In*: J. Janick (ed.). *Horticultural Reviews: Volume 42*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- Subedi, P.P., K.B. Walsh and G. Owens. 2007. Prediction of mango eating quality at harvest using short-wave near infrared spectrometry. *Postharvest Biology and Technology* 43(3): 326-334.
- Takizawa, K., K. Nakano, S. Ohashi, H. Yoshizawa, J. Wang and Y. Sasaki. 2014. Development of nondestructive technique for detecting internal defects in Japanese radishes. *Journal of Food Engineering* 126: 43-47.

- Theanjumpol, P. 2017. Application of near infrared spectroscopy for detection of pesticide residues in agricultural produce. Postharvest Newsletter 16(3): 5-7. (in Thai)
- Theanjumpol, P., G. Self, R. Rittiron, T. Pankasemsuk and V. Sardsud. 2014. Quality control of mango fruit during postharvest by near infrared spectroscopy. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences 13(2): 141-157.
- Theanjumpol, P., R. Suwapanich and V. Sardsud. 2008. Responsibility of chilling injury in mango cv. Nam Dok Mai Si Thong on near infrared. Agricultural Science Journal 39(Suppl. 3): 58-61. (in Thai)
- Vasanthaiiah, H.K.N., K.V. Ravishankar, P. Narayanaswamy and K.S. Shivashankara. 2008. Influence of temperature on spongy tissue formation in 'Alphonso' mango. International Journal of Fruit Science 8(3): 226-234.
- Wongzeewasakun, K., V. Changrue, N. Muenmanee and P. Theanjumpol. 2017. Possibility of using near infrared spectroscopy technique to detect dry juice sac of mandarin cv. Sai Nam Pueng. Agricultural Science Journal 48(Suppl. 3): 295-298. (in Thai)
- Workman, J.J. and D.A. Burns. 2001. Commercial NIR instrumentation. pp. 53-70. In: D.A. Burns and E.W. Ciurczak (eds.). Handbook of Near-Infrared Analysis. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Yahia, E.M. 2011. Mango (*Mangifera indica* L.). pp. 492-567. In: E.M. Yahia (ed.). Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Yahia, E.M., A. Carrillo-López and A. Sañudo. 2019. Physiological disorders and their control. pp. 499-527. In: E.M. Yahia (ed.). Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Zhou, Z., S. Zeng, X. Li and J. Zheng. 2015. Nondestructive detection of blackheart in potato by visible/near infrared transmittance spectroscopy. Journal of Spectroscopy doi: 10.1155/2015/786709.
-

ผลของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร ต่อการเติบโตและคุณภาพดอกของทิวลิปที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์

Effects of Electrical Conductivity of Nutrient Solution on Growth and Flower Quality of Tulip Grown in Hydroponics System

วีระศักดิ์ วิชาเป้ง^{1*}, ชัยอาทิตย์ อินคำ^{2,3}, กนกวรรณ ปัญจะมา^{1,3} และ ไสระยา ร่วมรังษี^{1,3}
Weerasak Wichapeng^{1*}, Chaiartid Inkham^{2,3}, Kanokwan Panjama^{1,3} and Soraya Ruamrungsri^{1,3}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Science and Technology Research Institute, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

³ศูนย์บริการการพัฒนขยายพันธุ์ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่เนื่องมาจากพระราชดำริ จ. เชียงใหม่ 50230

³H.M. The King's Initiative Centre for Flower and Fruit Propagation, Chiang Mai 50230, Thailand

*Corresponding author: Email: weerasak.wichapeng@gmail.com

(Received: 1 January 2022; Accepted: 26 April 2023)

Abstract: Nutrient concentrations in term of electrical conductivity value is one of the important factors that affected the growth and quality of tulips grown in hydroponics. The optimum concentration brought about good quality of flowers. However, the research on nutrient levels for the growth and quality of tulips in Thailand was rarely reported. Therefore, this study was aimed to determine the effect of plant nutrient concentrations in the culture solution on the growth and flowering of tulip 'Orange Juice'. Tulip bulbs with an average of 12 cm circumference were grown in a hydroponics system using double pots system under a plant factory with an average temperature of 20 ± 2 °C, average light intensity $442 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and 80 - 90 % RH. The experimental design was completely randomized design (CRD) with 5 treatments and 4 replications. Plants were supplied with five different electrical conductivity (EC) levels i.e., 0, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 dS/m. Plant growth, photosynthesis rate, flowers and new bulbs quality were measured. The results showed that there were not significantly different between treatments on days to flowering and stalk diameter parameters. Plants supplied with EC levels at 0, 1.0 and 1.5 dS/m, photosynthesis rate and transpiration rate were not significant. However, plants height, stalk length, total fresh weight, photosynthesis rate and transpiration rate were decreased when the plant was supplied with high EC levels at 2.0 and 2.5 dS/m but bulb fresh weight, bulb circumference and number of new bulbs per plant were not significant between treatments. Plants supplied with 0 dS/m of nutrient solution showed 66.6 % of stem topple characteristics, while plants supplied with 2.5 dS/m showed 22.2 % of flower abortion.

Keywords: Nutrient solution, electrical conductivity, tulip, hydroponics, cut flowers

บทคัดย่อ: ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารซึ่งวัดด้วยค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของทิวลิปที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์ ค่าความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมนำไปสู่คุณภาพดอกที่ดี อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมการเติบโตของทิวลิปในประเทศไทยยังมีรายงานอยู่น้อยมาก การทดลองนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของทิวลิปพันธุ์ 'Orange Juice' ทำการศึกษาโดยปลูกหัวทิวลิปขนาดเส้นรอบวงเฉลี่ย 12 เซนติเมตร ในระบบไฮโดรพอนิกส์ด้วยการใช้กระถาง 2 ชั้น ในโรงเรือนที่มีการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ย 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงเฉลี่ย 442 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ความชื้นที่ 80 - 90 เปอร์เซ็นต์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยให้พืชได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 0, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร กรรมวิธีละ 4 ชั่วโมง จากนั้นทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต การสังเคราะห์แสง คุณภาพดอก และคุณภาพหัวใหม่ ผลการทดลองพบว่า ทุกกรรมวิธีให้ผลของจำนวนวันที่ดอกบานและเส้นผ่านศูนย์กลางก้านดอกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม กรรมวิธีที่พืชได้รับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 0, 1.0, 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการคายน้ำไม่แตกต่างกัน ส่วนในความเข้มข้นที่มีค่า EC 2.0 และ 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทำให้ความสูงต้น น้ำหนักสด ความยาวก้านดอก อัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการคายน้ำของทิวลิปลดลง แต่น้ำหนักสดหัวใหม่ เส้นรอบวงหัวใหม่ และจำนวนหัวใหม่ไม่แตกต่างกัน ทิวลิปที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร พบอาการก้านดอกล้มสูงถึง 66.6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กรรมวิธีที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร พบอาการดอกแห้ง 22.2 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: สารละลายธาตุอาหาร ค่าการนำไฟฟ้า ทิวลิป ไฮโดรพอนิกส์ ไม่ตัดดอก

คำนำ

ทิวลิป (*Tulipa gesneriana* L.) จัดอยู่ในพืชวงศ์ Liliaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ตอนกลางของทวีปเอเชีย กระจายพันธุ์จากแถบเทียนชานไปยังทางเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ แถบไซบีเรีย มองโกเลีย และจีน ทางใต้แพร่กระจายไปยังอินเดียทางตะวันตก แพร่กระจายไปยังอัฟกานิสถาน อิหร่าน คอเคซัส และตุรกี (Le Nard and De Hertogh, 1993) เป็นไม้ดอกประเภทหัวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของโลก ใช้ประโยชน์ในการผลิตเพื่อตัดดอกและปลูกประดับมาอย่างยาวนาน (Maslanka and Bach, 2014) จากข้อมูลของ Royal FloraHolland (2017) มูลค่าของทิวลิปที่ตัดดอกมีค่าเฉลี่ย 281 ล้านยูโร (10,678 ล้านบาท) ซึ่งเป็นดอกไม้ที่มีความต้องการสูงเป็นอันดับสามของโลก รองจากกุหลาบและดอกเบญจมาศ โดยทั่วไปนิยมปลูกในช่วงฤดูใบไม้ร่วงหรือประมาณเดือนตุลาคม หากเริ่มมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในช่วงที่อุณหภูมิลดต่ำลง

ตายอดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง น้ำหนักแห้งของหัวพันธุ์ลดลงเรื่อย ๆ ส่วนของลำต้นเหนือดินค่อย ๆ ยืดยาวขึ้นอย่างช้า ๆ ในช่วงฤดูหนาว เมื่อเข้าสู่ฤดูใบไม้ผลิ อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น พืชจึงมีการเจริญเติบโตพร้อมกับการออกดอก (Le Nard and De Hertogh, 1993) ในประเทศไทยทิวลิปเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมสูงในการใช้เป็นไม้ตัดดอกและปลูกประดับ ซึ่งการปลูกทิวลิปในประเทศไทยยังไม่มีรายงานที่สามารถผลิตหัวพันธุ์ได้ ดังนั้นจึงต้องนำเข้าหัวพันธุ์จากต่างประเทศแล้วทำการปลูกทิวลิปในแถบพื้นที่สูงที่สภาพแวดล้อมเหมาะสมหรือปลูกในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (Puripunyavanicha et al., 2019)

การผลิตทิวลิปเพื่อการตัดดอกด้วยระบบไฮโดรพอนิกส์ภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิกำลังเป็นที่นิยมทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ซึ่งบริษัทพีทีทีแอลเอ็นจีจำกัด ได้นำความเย็นเหลือทิ้งจากการเปลี่ยนสถานะก๊าซมาทดลองปลูกทิวลิปในระบบไฮโดรพอนิกส์ เนื่องจากการปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์

สามารถควบคุมปริมาณธาตุอาหารได้อย่างแม่นยำ (Olympios, 1999) และควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนให้เหมาะสมตลอดระยะการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพสูง นอกจากนี้ยังลดปัญหาจากโรคที่เกิดทางดิน (Hoagland and Arnon, 1950) การควบคุมปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมส่งผลให้การเติบโตและคุณภาพผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อพืชได้รับสภาวะของปริมาณธาตุอาหารที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้พืชเกิดความเครียดหรือเก็บสะสมธาตุอาหารมากจนเกิดความเป็นพิษต่อพืช ทำให้การเติบโตและคุณภาพผลผลิตลดลงได้เช่นกัน (Gorbe and Calatayud, 2010) โดยการวัดปริมาณธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืชระบบไฮโดรพอนิกส์สามารถวัดได้จากค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity; EC) ซึ่งเป็นค่าการนำไฟฟ้าของเกลือของธาตุอาหาร ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในสารละลายนั้น โดยปกติแล้วน้ำบริสุทธิ์ มีค่าความนำไฟฟ้าเป็นศูนย์ แต่เมื่อนำธาตุอาหารพืชมาละลายในน้ำ เกลือของธาตุอาหารเหล่านี้แตกตัวเป็นประจุบวกและประจุลบ ซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าทำให้มีค่าความนำไฟฟ้า และค่าความนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเกลือของธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำ เมื่อพืชมีการดูดใช้ธาตุอาหารทำให้ประจุของเกลือมีการเปลี่ยนแปลง บ่งบอกถึงความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เปลี่ยนแปลงไป (Ho and Adams, 1995) ทำให้การวัดค่า EC เป็นดัชนีหนึ่งที่จะช่วยบ่งชี้ถึงปริมาณของธาตุอาหารในสารละลายได้ นอกจากนี้การวัดค่า EC สามารถทำได้ง่ายและสะดวกต่อการทำงานของผู้ปลูก ดังนั้นในการผลิตทิวลิปในระบบไฮโดรพอนิกส์ในประเทศไทย จึงจำเป็นต้องศึกษาระดับของค่าการนำไฟฟ้าของสูตรปุ๋ยที่เหมาะสม ซึ่งมีผลต่อการเติบโตและคุณภาพดอก Dole and Wilkins (1999) รายงานว่าค่า EC ระหว่าง 1.25 ถึง 2.25 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เป็นช่วงที่สามารถให้กับไม้ดอกส่วนใหญ่ได้ ขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ และระยะของพืช สอดคล้องกับรายงานของ Miller (2002) สารละลายธาตุอาหารที่มีการเพิ่มแคลเซียมไนเตรทสำหรับปลูกทิวลิปที่เหมาะสมมีค่า EC 1.5

เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทิวลิปที่ได้รับระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารไม่เหมาะสม มักเกิดอาการขาดแคลเซียม ทำให้แสดงอาการดอกแห้ง ก้านดอกหัก (Klougart, 1980) และการได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีการเพิ่มไนโตรเจนสูงยังส่งผลให้ความยาวก้านดอก ความยาวกลีบดอกลดลง (Lee and Suh, 2005) ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ส่งผลต่อการเติบโตและคุณภาพของทิวลิปในประเทศไทยยังมีน้อยมาก ดังนั้น จึงดำเนินการวิจัยนี้เพื่อหาระดับค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสม สำหรับการปลูกทิวลิป วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของระดับค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของทิวลิปที่ผลิตในระบบไฮโดรพอนิกส์ ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการผลิตทิวลิปเป็นการค้าในประเทศไทยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ปลูกหัวพันธุ์ทิวลิปพันธุ์ 'Orange Juice' ที่มีขนาดเส้นรอบวง 12 เซนติเมตรขึ้นไป จำนวน 60 หัว โดยการนำมาชำในถาดพลาสติกและใช้พีทมอสเป็นวัสดุปลูก ที่ห้องเย็นอุณหภูมิประมาณ 9 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการออกรากและแทงยอดนาน 2 สัปดาห์ หรือจนกระทั่งยอดสูงประมาณ 5 เซนติเมตร จึงทำการย้ายปลูกลงในชุดปลูกระบบไฮโดรพอนิกส์ด้วยการใช้กระถาง 2 ชั้น ขนาด 12 นิ้ว ปลูกในระบบการปลูกพืชในน้ำนิ่ง แบบเติมอากาศ (deep water culture) จำนวน 3 ต้นต่อกระถาง ทำการทดลองในโรงเรือน plant factory ที่ควบคุมสภาพแวดล้อม โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงเฉลี่ย 442 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ได้รับแสงที่ 8 - 10 ชั่วโมงต่อวัน และความชื้นที่ 80 - 90 เปอร์เซ็นต์

วางแผนการทดลองแบบ สุ่ม สมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ เริ่มให้สารละลายธาตุอาหารโดยใช้สูตรของ Hoagland and Arnon (1950) ซึ่งประกอบไปด้วยไนโตรเจน 224.00, ฟอสฟอรัส 62.00, โพแทสเซียม 235.00, แคลเซียม 160.00, แมกนีเซียม 24.00, กำมะถัน

32.00, เหล็ก 1.00, โมลิบดีนัม 0.05, ทองแดง 0.03, สังกะสี 0.13, โบรอน 0.27 และแมงกานีส 0.11 มิลลิกรัม ต่อลิตร ซึ่งสูตรสารละลายธาตุอาหารนี้มีค่า EC เริ่มต้นที่ 1.2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปรับระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารทุกตัวเพื่อให้ได้ค่าตามค่าการนำไฟฟ้า (ค่า EC) ที่กำหนด โดยคงสัดส่วนของธาตุอาหารทุกตัวเท่าเดิม ได้แก่ 0 (กรรมวิธีควบคุมโดยปลูกในน้ำปราศจากประจุไฟฟ้า หรือ deionized water), 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ควบคุมค่า pH อยู่ที่ 5.6 - 6.0 และเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารใหม่ทุก ๆ 1 สัปดาห์

ทำการบันทึกข้อมูลดังนี้ 1) การเจริญเติบโตของต้นทิวลิปที่ระยะดอกบาน (4 สัปดาห์หลังปลูก) ได้แก่ ความสูงของต้นวัดจากโคนต้นถึงปลายใบ (เซนติเมตร) ความยาวราก (เซนติเมตร) จำนวนใบต่อต้น ค่าความเขียวของใบด้วยเครื่อง chlorophyll meter (Minolta SPAD-502) โดยวัดที่ใบอ่อน (ใบที่สองนับจากยอด) และวัดที่ใบแก่ (ใบแรกนับจากโคนต้น) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (กรัม) ต่อต้นเมื่อดอกบาน พื้นที่ใบรวมต่อต้น (ตารางเซนติเมตร) วัดด้วยเครื่อง leaf area meter (รุ่น LI-3100C) อัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปิดปากใบ อัตราการคายน้ำ การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณใบด้วยเครื่องวัดการสังเคราะห์แสง (LCpro-SD portable โดยวัดที่เวลา 10.00 - 11.00 น. ที่ตำแหน่งใบแรกนับจากโคนต้น) 2) ข้อมูลคุณภาพดอก ได้แก่ ความยาวก้านดอก วัดจากโคนก้านดอกถึงกลีบดอก (เซนติเมตร) ความยาวดอก วัดจากโคนกลีบดอกถึงปลายกลีบดอก (เซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดอก (เซนติเมตร) จำนวนวันตั้งแต่ปลูกถึงดอกบาน 3) คุณภาพหัวพันธุ์ ที่ระยะ 8 สัปดาห์หลังปลูก ได้แก่ เส้นรอบวงหัว (เซนติเมตร) น้ำหนักสด (กรัม) จำนวนหัวใหม่ (หัว)

วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม Statistix 8 (SXW Tallahassee, FL, USA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้ค่า least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโต

จากผลการทดลองพบว่า การปลูกทิวลิปด้วยสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในระยะ 4 สัปดาห์หลังปลูก พบว่า กรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 0, 1.0, 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ให้ค่าความสูงต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพืชมีค่าความสูงเฉลี่ยที่ 29.9, 29.3, 28.9 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งให้ค่าความสูงต้นน้อยที่สุด ส่วนกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นที่ 27.9 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าการได้รับสารละลายที่ค่า EC 0 และ 1.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (Table 1)(Figure 1) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากค่าของ EC ที่ 2.0 - 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เป็นระดับที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตจากความเป็นพิษของความเข้มข้นของสารละลายที่มากเกินไป Hsiao (1973) รายงานว่า สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงมีปริมาณไอออนของธาตุอาหารมากทำให้ค่าแรงดันออสโมซิส (osmotic pressure) ของสารละลายสูง ส่งผลทำให้ค่าศักย์ (water potentials) ในเซลล์พืชต่ำมีผลให้น้ำแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์พืชลดลง ทำให้แรงดันเต่ง (turgor pressure) ภายในเซลล์พืชต่ำ การขยายขนาดของเซลล์พืชจึงลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Savvas *et al.* (2002) ที่พบว่า การให้สารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC สูง (EC 2.1 - 3.8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ทำให้ความสูงต้นของเจอบีร่าลดลง ในส่วนข้อมูลจำนวนใบต่อต้น ในแต่ละกรรมวิธีทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน โดยค่าเฉลี่ยของจำนวนใบในแต่ละกรรมวิธีเท่ากับ 3 ใบต่อต้น (ไม่ได้แสดงข้อมูล)

Table 1. Effect of different nutrient solution concentrations on growth parameters of tulips grown hydroponics at flowering stage (4 weeks after planting)

EC levels (dS/m)	Plant growth at the flowering stage (4 weeks after planting)						
	Plant height (cm) ¹	Root length (cm) ¹	Leaf greenness (SPAD unit) ¹		Leaf area (cm ²) ¹	Total fresh weight (g) ¹	Total dry weight (g) ¹
			Young leaf	Old leaf			
0	29.9 a	10.7	38.0 b	35.6 b	235.9 b	92.5 a	10.18
1.0	29.3 a	11.7	42.0 a	36.6 b	256.5 a	84.8 ab	10.15
1.5	28.9 ab	10.5	38.6 b	35.3 b	237.7 b	82.9 ab	11.29
2.0	27.9 bc	10.9	41.9 a	40.3 a	237.3 b	78.4 bc	11.13
2.5	27.1 c	11.0	40.8 a	43.9 a	224.1 c	70.4 c	10.75
%CV	3.98	8.79	5.91	4.18	2.45	7.09	17.34
LSD _{0.05}	*	ns	*	*	*	*	ns

¹ Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by LSD test at $P \leq 0.05$

^{ns} not significant

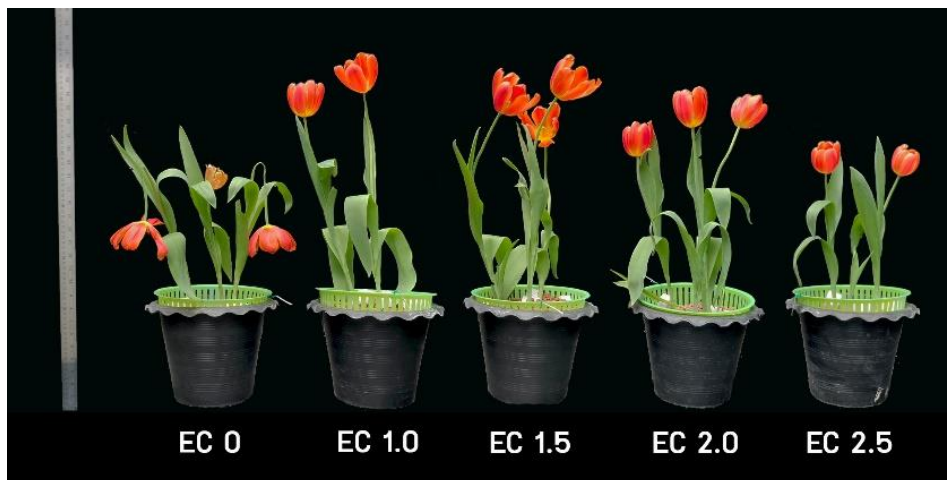


Figure 1. Visible effect of different nutrient solution concentrations on 'Orange Juice' tulip growth attributes after 4 weeks of treatment. Left to right: EC 0, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 dS/m

ในการทดลองนี้ยังพบว่า ค่าความเขียวของใบที่ใบอ่อนอยู่ในช่วง 38.0 - 42.0 SPAD unit กรรมวิธีที่ให้ค่า EC ที่ 2.0 และ 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าความเขียวของใบที่ใบอ่อนมากกว่ากรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 0,

1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งในระยะนี้ใบอยู่ในช่วงกำลังพัฒนายังไม่เจริญเติบโตเต็มที่ ดังนั้น ค่าความเขียวของใบจึงยังมีความแปรปรวนอยู่บ้าง ส่วนในใบแก่ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วพบว่า การให้ความเข้มข้น

สารละลายธาตุอาหารที่ค่า EC 0, 1.0, 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทำให้ค่าความเขียวของใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 35.6, 36.6, 35.3 ตามลำดับ ซึ่งทั้งสามกรรมวิธีมีค่าความเขียวของใบน้อยกว่ากรรมวิธีที่ค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยค่าความเขียวของใบสูงที่สุดที่ 43.9 และกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าความเขียวของใบรองลงมาซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 40.3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะที่ใบแก่ที่เจริญเติบโตเต็มที่ มีการสร้างคลอโรฟิลล์ได้มากกว่าใบอ่อน เมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC สูง มีปริมาณธาตุอาหารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างคลอโรฟิลล์ เช่น ไนโตรเจน แมกนีเซียม เหล็ก สูงตามด้วย ทำให้พืชมีการสร้างคลอโรฟิลล์มากขึ้น ส่งผลให้ใบพืชมีสีเขียวเข้ม สอดคล้องกับรายงานของ Saloner and Bernstein (2020) ที่กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณธาตุไนโตรเจนที่มากเกินไป ความต้องการส่งผลให้ใบแก่จะมีสีเขียวเข้ม เนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น และในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ อาจทำให้ปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอในการสร้างคลอโรฟิลล์ ทำให้ใบมีสีซีดจางถึงเหลืองได้

พื้นที่ใบ พบว่า กรรมวิธีที่ให้สารละลายธาตุอาหารที่ EC 1.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทำให้พืชมีค่าพื้นที่ใบมากที่สุดมีค่าเฉลี่ย 256.5 ตารางเซนติเมตร กรรมวิธีที่ค่า EC 0, 1.5 และ 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าพื้นที่ใบรองลงมา (เฉลี่ย 235.9, 237.7 และ 237.3 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ) กรรมวิธีที่ค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าพื้นที่ใบน้อยที่สุดเฉลี่ย 224.1 ตารางเซนติเมตร ทั้งนี้ อาจมีสาเหตุจากค่า EC ที่สูงเกินไปทำให้เกิดอาการเป็นพิษในทิวลิป ส่งผลให้การเจริญเติบโตและพื้นที่ใบของพืชลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Li and Stanghellini (2001) การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารส่งผลให้พื้นที่ใบของมะเขือเทศลดลง เช่นเดียวกับการทดลองในผักกาดหอม (Samarakoon *et al.*, 2006)

ในส่วนของค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง พบว่า กรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดน้อยที่สุด (เฉลี่ย 70.4 กรัม)

และไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (เฉลี่ย 78.4 กรัม) กรรมวิธีที่ให้ค่าน้ำหนักสดมากที่สุดคือกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 1.0, 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (เฉลี่ย 92.5, 84.8, 82.9 กรัม ตามลำดับ) ในส่วนของน้ำหนักแห้งทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะที่ 4 สัปดาห์ พืชมีการใช้ธาตุอาหารที่สะสมในหัวพันธุ์ในการเจริญเติบโตและยังไม่ได้มีการสะสมอาหารและสร้างหัวใหม่ จึงทำให้น้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน และในส่วนค่าน้ำหนักสดพืชมีการเติบโตแตกต่างกัน ซึ่งในกรรมวิธีที่ได้รับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ค่า EC 2.0 - 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดต่ำกว่ากรรมวิธีอื่น อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารไม่เหมาะสม ส่งผลต่อกระบวนการลำเลียงน้ำซึ่งมีผลโดยตรงทำให้แรงดันเต่ง (turgor pressure) ภายในเซลล์พืชลดลง มีผลทำให้ขยายขนาดของเซลล์ได้น้อย พื้นที่ภายในเซลล์ที่ใช้สะสมสารที่เป็นของเหลวหรือน้ำลดลงทำให้น้ำหนักสดน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ นอกจากนั้นยังส่งผลต่อไปยังกลไกการเปิด-ปิด ปากใบ (Van Ieperen, 1996) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง ทั้งนี้ การลำเลียงน้ำและธาตุอาหารซึ่งมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในพืช โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นส่วนประกอบสำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิก และฮอร์โมน ไฮโดรโคติน ออกซิน มีบทบาทในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดเซลล์ (Sruamsiri, 2012) สอดคล้องกับงานทดลองของ Sonneveld and Voogt (2008) พบว่า น้ำหนักสดของลิลลี่ลดลง เมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีระดับความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น

ค่าการเปิดปากใบ การคายน้ำ การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการสังเคราะห์แสง

ในส่วนของค่าการเปิดปากใบ (stomatal conductance) พบว่า กรรมวิธีที่ได้รับสารละลายความเข้มข้น EC 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (Figure 2A) มีค่าสูง

ที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 1.0, 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ กรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ให้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ทั้งนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากแรงดันเต่งในเซลล์พืชที่ลดลง ซึ่งพืชใช้เป็นกลไกหลักในการทำให้เกิดการเปิด-ปิดของเซลล์ปากใบ สอดคล้องกับกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ให้ค่าอัตราการคายน้ำ (transpiration rate) ต่ำที่สุด (Figure 2B) อาจเป็นผลมาจากที่กรรมวิธีที่ค่า EC สูง ส่งผลให้ปากใบเปิดได้ลดลงหรือใช้เวลานานขึ้น ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออัตราการคายน้ำของพืช สำหรับค่าการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (intercellular CO_2) พบว่า ที่ความเข้มข้นต่ำ EC 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ในส่วนค่าอัตราการสังเคราะห์แสง (Figure 2D) พบว่า กรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 1.0, 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และกรรมวิธีที่ได้รับค่า EC 2.5

เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำที่สุด ทั้งนี้ ค่าการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ บ่งบอกถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในเซลล์พืช ซึ่งพืชจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อพืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์พืชจึงลดลง นอกจากนั้นผลของค่าการเปิดปากใบ การคายน้ำ และการสังเคราะห์แสง อาจเป็นผลเกี่ยวเนื่องจากแรงดันเต่งในเซลล์พืชซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อการขยายขนาดเซลล์ การเปิด-ปิดปากใบ การขนส่งในท่อลำเลียงน้ำและธาตุอาหาร การขนส่งผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ที่ลดลง (Taiz and Zeiger, 2002) ธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบของสารสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่งผลให้มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ต่ำ สอดคล้องกับอัตราการสังเคราะห์แสงในมะเขือเทศ (Van Ieperen, 1996) และผักกาดหอม (Albornoz *et al.*, 2014) ลดลงเมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีระดับความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น

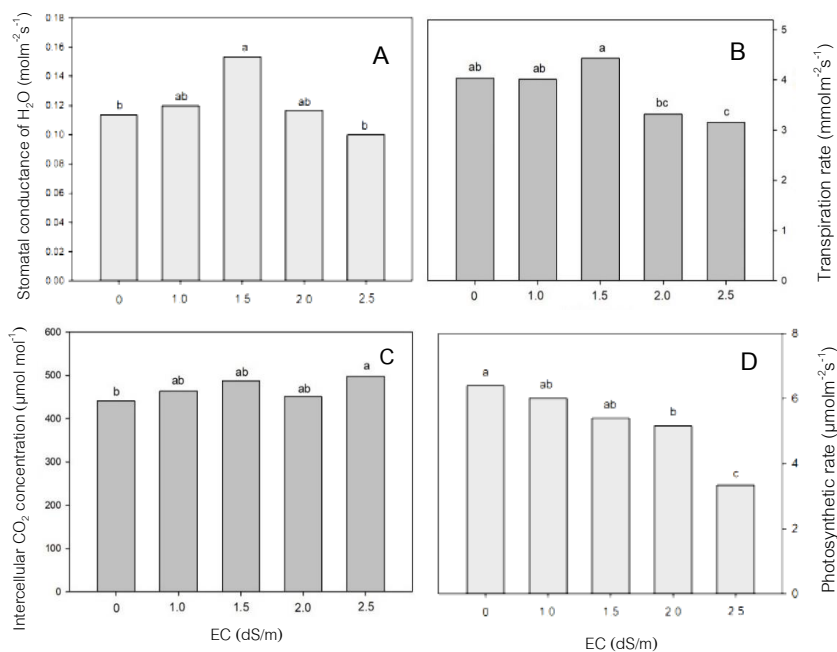


Figure 2. Effect of different electrical conductivity (EC) treatments on stomatal conductance (A), transpiration rate (B), intercellular CO_2 concentration (C) and photosynthetic rate (D) after 4 weeks of treatment

คุณภาพดอก

การให้สารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นแตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพดอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า การให้สารละลายธาตุอาหารที่ค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ให้ค่าความยาวก้านดอกที่ต่ำที่สุด และรองลงมาคือกรรมวิธีที่ให้ค่า EC 2.0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (28.5, 37.1 เซนติเมตร ตามลำดับ)(Table 2) สอดคล้องกับการทดลองของ Savvas *et al.* (2002) พบว่า ในเจอบีราเมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นสูงส่งผลให้ความยาวก้านดอกลดลงโดยทั่วไปแล้วการผลิตทิวลิปตัดดอกในเชิงการค้าก้านดอกควรยาวมากกว่า 30 เซนติเมตร ซึ่งจากการทดลองให้สารละลายธาตุอาหารที่ค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทำให้คุณภาพของทิวลิปไม่สามารถที่จำหน่ายได้นอกจากนี้ ในกรรมวิธีที่ค่า EC 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ให้ค่าความยาวก้านดอกสูงที่สุดและพบอาการก้านดอกหัก (stem topple)(Figure 3A) มีค่าเฉลี่ย 66.6 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของ Nelson and Niedziela (1998) พบว่า ทิวลิปที่ได้รับเพียงน้ำบริสุทธิ์ส่งผลให้

ก้านดอกยืดยาวและแสดงอาการก้านดอกหัก ซึ่งทิวลิปมีส่วนของใบที่เปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่เป็นส่วนของสมอาหาร ทำให้สามารถเจริญเติบโตได้ในระยะแรก แม้ไม่ได้รับธาตุอาหารจากสารละลาย เมื่อมีการใช้ธาตุอาหารที่สะสมจนไม่เพียงพอจึงจะแสดงอาการผิดปกติ ซึ่งอาการก้านดอกหักอาจเกิดจากการปริมาณของแคลเซียมไม่เพียงพอในช่วงการยืดยาวอย่างรวดเร็วของเซลล์ก้านดอก ทำให้ชั้นของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ไม่สมบูรณ์สูญเสียความแข็งแรง จึงไม่สามารถรับน้ำหนักดอกได้เมื่อดอกบาน (De Hertogh, 1974) ในส่วนของอาการดอกแห้ง (Figure 3B) พบในกรรมวิธีที่ค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าเฉลี่ย 22.2 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่าพืชมีการดูดใช้น้ำและขนส่งธาตุอาหารลดลง ส่งผลให้ธาตุแคลเซียมไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถชักนำให้เกิดการอาการดอกแห้งได้ (Nelson and Niedziela, 1998) ซึ่งลักษณะที่ผิดปกติของทั้งสองอาการจะทำให้ผลผลิตไม่มีคุณภาพ ทำให้ไม่สามารถนำไปจำหน่ายเชิงการค้าได้

Table 2. Effect of different nutrient solution concentrations on flower quality parameters of tulips grown hydroponics at full flowering stage (4 weeks after planting)

EC levels (dS/m)	Flower quality							
	Days to flowering	Flower period	Flower width	Flower length	Stalk length	Stalk diameter	Flower abortion	Stem topple
	(day) ¹	(day) ¹	(mm) ¹	(cm) ¹	(cm) ¹	(mm) ¹	(%)	(%)
0	31.0	10.5 c	35.8 a	5.7 a	39.5 a	5.7	0	66.6
1.0	31.2	12.7 a	36.7 a	5.6 a	39.2 ab	5.6	0	0
1.5	31.2	13.0 a	34.5 ab	5.2 ab	38.1 ab	5.5	0	0
2.0	31.0	12.7 a	37.0 a	5.5 a	37.1 b	5.5	0	0
2.5	31.2	11.5 b	32.1 b	4.7 b	28.5 c	5.2	22.2	0
%CV	1.24	5.00	6.32	6.66	4.14	4.63	-	-
LSD _{0.05}	ns	*	*	*	*	ns	-	-

¹ Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by LSD test at $P \leq 0.05$

ns not significant



Figure 3. The characteristic of stem topple symptoms (A) and flower abortion symptoms (B) in tulip

ในด้านความกว้างและความสูงดอก พบว่าความเข้มข้นที่ระดับค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าเฉลี่ยของความกว้างดอกและความสูงดอกน้อยที่สุด (37.0 มิลลิเมตร และ 5.5 เซนติเมตร ตามลำดับ) (Table 2) สอดคล้องกับรายงานของ De Hertogh (1974) การให้ปริมาณธาตุอาหารที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ความสูงต้นและขนาดดอกของเอสเตอร์ลิสดลง และ Rouphael *et al.* (2008) รายงานว่า เจอรานิยมที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารความเข้มข้นสูงมีผลให้ขนาดดอกลดลง

ระยะเวลาบานดอก พบว่า กรรมวิธีที่ค่า EC 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีระยะเวลาบานดอกน้อยที่สุด (10.5 วัน) รองลงมาคือกรรมวิธีที่ให้ค่า EC 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (11.5 วัน) (Table 2) เนื่องมาจากเกิดความเสียหายจากอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เกิดจากปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช (Taiz and Zeiger, 2002) ด้วยที่กาบใบที่เป็นแหล่งสะสมอาหารอาจช่วยส่งเสริมการเจริญและพัฒนาของช่อดอกในระยะแรกได้และเมื่อปลูกเลี้ยงในสภาพความเข้มข้นสูงจึงจำกัดโดยการดูดใช้ธาตุอาหารที่ลดลงจากสภาวะเครียดของพืช (Van Ieperen, 1996) ส่งผลให้คุณภาพดอกและระยะเวลาในการบานดอกลดลง

คุณภาพหัวพันธุ์

ในส่วนของคุณภาพหัวพันธุ์ พบว่า ที่ระยะ 8 สัปดาห์หลังจากได้รับการกรูมวิธีทดลอง ทุกกรรมวิธีมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของหัวใหม่ต่อต้น ค่าเฉลี่ยเส้นรอบวงหัวใหม่ ค่าเฉลี่ยจำนวนใหม่ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเส้นรอบวงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.6 - 9.0 เซนติเมตร (Table 3) ในส่วนจำนวนหัวใหม่ มีค่าเฉลี่ย 4.5 - 5.5 หัวต่อต้น (Table 3) ส่วนน้ำหนักสดของหัวใหม่ต่อต้น มีค่าเฉลี่ย 33.9 - 39.9 กรัม (Table 3) โดยปกติการวัดคุณภาพของหัวพันธุ์ในเชิงการค้าสามารถวัดได้จากเส้นรอบวงหัวพันธุ์ ซึ่งมีขนาดอยู่ที่ 13 เซนติเมตรขึ้นไป จากการทดลองหัวพันธุ์ที่ได้ทุกกรรมวิธีมีขนาดค่อนข้างเล็ก ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมในโรงเรือนมีอุณหภูมิสูงเกินไปสำหรับการสร้างหัวอุณหภูมิที่สูงกว่า 20 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง (Ruamrungsri, 2015) ทำให้การลำเลียงและสะสมอาหารไปเก็บไว้ที่หัวใหม่ยังไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ผลการทดลองทุกกรรมวิธีให้ผลไม่แตกต่างกัน ซึ่งอุณหภูมิต่ำช่วยให้การเสื่อมสภาพของเซลล์เกิดได้ช้า ทำให้การสร้างอาหารของใบและการสะสมอาหารของหัวใหม่มีระยะเวลายาวนาน จึงส่งผลต่อขนาดของหัวใหม่ (Khodorova and Boitel-Conti, 2013)

Table 3. Effect of different nutrient solution concentrations on bulb quality parameters of tulips grown hydroponically at 8 weeks after planting

EC levels (dS/m)	Bulbs quality		
	Bulb fresh weight (g) ¹	Bulb circumference (cm) ¹	Number of new bulbs per plant (bulb) ¹
0	37.0	8.6	5.3
1.0	34.6	8.8	4.5
1.5	37.3	8.8	4.5
2.0	33.9	8.7	5.0
2.5	39.9	9.0	5.5
%CV	23.43	6.61	26.47
LSD _{0.05}	ns	ns	ns

¹ Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by LSD test at $P \leq 0.05$

^{ns} not significant

สรุป

การให้สารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความนำไฟฟ้า หรือ EC 1.0 และ 1.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร สำหรับปลูกเลี้ยงทิวลิปในระบบไฮโดรพอนิกส์ในระบบการปลูกพืชในน้ำนิ่ง แบบเติมอากาศ (deep water culture) ในโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อม มีแนวโน้มทำให้ทิวลิปมีการเติบโตและคุณภาพดอกดีกว่ากรรมวิธีอื่น ส่วนการปลูกทิวลิปในน้ำปราศจากไอออน (DI water, EC = 0 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) พบว่า ทิวลิปสามารถเติบโตได้ แต่ให้คุณภาพดอกต่ำกว่า เนื่องมาจากเกิดความเสียหายจากการขาดธาตุอาหารส่งผลให้แสดงอาการก้านดอกล้ม สำหรับระดับของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าสูง EC 2.0 - 2.5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีผลให้การเจริญเติบโตและคุณภาพดอกลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท พีทีที แอลเอ็นจี จำกัด สำหรับการสนับสนุนงบประมาณการวิจัย และหัวพันธุ์ทิวลิปใช้ในการทดลอง และศูนย์บริการการพัฒนา

ขยายพันธุ์ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่อันเนื่องมาจากพระราชดำริที่สนับสนุนสถานที่ทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Albornoz, F. , J. H. Lieth and J. A. González-Fuentes. 2014. Effect of different day and night nutrient solution concentrations on growth, photosynthesis, and leaf NO_3^- content of aeroponically grown lettuce. Chilean Journal of Agricultural Research 74(2): 240-245.
- De Hertogh, A. 1974. Principles for forcing tulips, hyacinths, daffodils, Easter lilies and Dutch irises. Scientia Horticulturae 2(4): 313-355.
- Dole, J. M. and H. F. Wilkins. 1999. Floriculture Principles and Species. 2nd ed. Prentice-Hall, New Jersey. 1048 p.
- Gorbe, E. and A. Calatayud. 2010. Optimization of nutrition in soilless systems: A Review. Advances in Botanical Research 53: 193-245.

- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950. The Water-Culture Method for Growing Plants Without Soil. Circular 347. California Agricultural Experiment Station, The College of Agriculture, University of California, Berkeley. 32 p.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology 24: 519-570.
- Ho, L.C. and P. Adams. 1995. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. Acta Horticulturae 396: 33-44.
- Klougart, A. 1980. Calcium uptake of tulips during forcing. Acta Horticulturae 109: 89-95.
- Lee, K.H. and J.-K. Suh. 2005. Effects of nutrient solution composition and plant growth retardants on growth and flowering in hydroponics of cut tulip. pp. 519-523. In: International Symposium on Flower Bulbs, Niigata.
- Le Nard, M. and A.A. De Hertogh. 1993. Tulipa. pp. 617-682. In: A.A. De Hertogh and M. Le Nard (eds.) . The Physiology of Flower Bulbs. Elsevier, Amsterdam.
- Li, Y. L. and C. Stanghellini. 2001. Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato. Scientia Horticulturae 89(1): 9-21.
- Maslanka, M. and A. Bach. 2014. Induction of bulb organogenesis in *in vitro* cultures of tarda tulip (*Tulipa tarda* Stapf.) from seed-derived explants. In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant 50(6) : 712-721.
- Miller, W.B. 2002. A primer on hydroponic cut tulips. Greenhouse Product News 12(8): 8-12.
- Khodorova, N.V. and M. Boitel-Conti. 2013. The role of temperature in the growth and flowering of geophytes. Plants 2(4): 699-711.
- Nelson, P.V. and C.E. Niedziela Jr. 1998. Effects of calcium source and temperature regime on calcium deficiency during hydroponic forcing of tulip. Scientia Horticulturae 73(2-3): 137-150.
- Olympios, C.M. 1999. Overview of soilless culture: Advantages, constraints and perspectives for its use in Mediterranean countries. Cahiers Options Méditerranéennes 31: 307-324.
- Puripunyanich, V., A. Pagpianb and W. La-ongsri. 2019. First endeavour to produce Tulip bulbs in Thailand. pp. 356-362. In: Proceedings of the Burapha University International Conference 2019. Chonburi. (in Thai)
- Rouphael, Y., M. Cardarelli, E. Rea and G. Colla. 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. Scientia Horticulturae 118(4): 328-337.
- Royal FloraHolland. 2017. The value of cut flowers on Royal FloraHolland (Online). Available: <https://np-royalfloraholland-production.s3-eu-west-1.amazonaws.com/3-Financieel/Documenten/Jaarverslagen/royal-floraholland-annual-report-2017-EN.pdf> (December 1, 2021)
- Ruamrungsri, S. 2015. Physiology of Flowers Bulbs. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 276 p. (in Thai)
- Saloner, A. and N. Bernstein. 2020. Response of medical cannabis (*Cannabis sativa* L.) to nitrogen supply under long photoperiod.

- Frontiers in Plant Science 11: 572293, doi: 10.3389/fpls.2020.572293.
- Samarakoon, U.C., P.A. Weerasinghe and W.A.P. Weerakkody. 2006. Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce. Tropical Agricultural Research 18: 13-21.
- Savvas, D. , G. Manos, A. Kotsiras and S. Souvaliotis. 2002. Effects of silicon and nutrient-induced salinity on yield, flower quality and nutrient uptake of gerbera grown in a closed hydroponic system. Journal of Applied Botany 76: 153-158.
- Sonneveld, C. and W. Voogt. 2008. Nutrient concentrations of plant tissues of greenhouse crops as affected by the EC of the external nutrient solution. Acta Horticulturae 779: 313-320.
- Sruamsiri, P. 2012. Mineral Nutrient in Horticultural Crop Production. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 326 p. (in Thai)
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. Plant Physiology, 3rd ed. Sinauer Associates, Sunderland Massachusetts. 623 p.
- Van Ieperen, W. 1996. Effects of different day and night salinity levels on vegetative growth, yield and quality of tomato. Journal of Horticultural Science 71(1): 99-111.
-

ผลของการตัดแต่งกิ่งต่อการเติบโตด้านทรงพุ่มและ ผลผลิตของมะเดื่อฝรั่งพันธุ์แบล็คแจ็ค

Effects of Pruning on Canopy Growth and Yield of 'Black Jack' Fig

กoonทลี้รัฐ พิมพิลา¹ ประธาน เรียงลาด² และ ศิวดล แจ่มจรัส^{3*}
Koonthaleerat Pimpila¹, Prathan Rienglard² and Siwadon Chaemchamrat^{3*}

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จ. เพชรบูรณ์ 67000

¹Division of Mathematics, Faculty of Education, Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000, Thailand

²สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จ. เพชรบูรณ์ 67000

²Division of Animal Production Technology, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000, Thailand

³สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จ. เพชรบูรณ์ 67000

³Division of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000, Thailand

*Corresponding author: Email: siwadon.cha@pcru.ac.th

(Received: 19 September 2022; Accepted: 13 March 2023)

Abstract: This study of figs pruning was done to determine the potential of vegetative growth affecting yield and yield quality, and obtain the proportion of leaf area suitable for figs quality. The experiment was conducted on 1 year old 'Black Jack' figs grown in plastic baskets diameter 14 inches in a semi-closed greenhouse. Pruning was done to allow the number of branches to grow and produce different amounts of yield after the first year of harvesting. The experiment was performed as a randomized complete block design (RCBD) with 4 treatments based upon the pruning method i.e.1) no pruning 2) pruning to leave 2 branches 3) pruning to leave 4 branches, and 4) pruning to leave 6 branches. The results showed that pruning figs did not affect canopy width but pruning to leave 4 branches resulted in the tallest fig plant. No pruning treatment produced the most number of leaves per plant, but also the smallest leaves. The total leaf area was similar to pruning to leave 4 - 6 branches. Pruning to leave 2 and 4 branches had higher PSII (YII) light efficiency than no pruning and pruning to leave 6 branches. The pruned plant had fruit weight and size greater than no pruning. Plants in pruning to leave 6 branches had the highest number of fruits per plant and yield. Plants in pruning to leave 2 and 6 branches had less ratio of leaf area to fruit weight and leaf area per number of fruits than no pruning. As for the ratio of the number of leaves per fruit, plants in all pruning methods had fewer leaves per fruit than no pruning. There was no difference in the peel color at harvest time. It can be concluded that the proper pruning of fig is to leave 6 branches per plant.

Keywords: Fig, pruning, leaf area

บทคัดย่อ: การศึกษาการตัดแต่งกิ่งมะเดื่อฝรั่งเพื่อให้ทราบถึงศักยภาพของการเจริญเติบโตทางกิ่งใบที่ส่งผลต่อการให้ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต และได้ทราบถึงสัดส่วนของพื้นที่ใบที่เหมาะสมกับผลผลิตมะเดื่อฝรั่งที่มีคุณภาพ โดยทำการทดลองกับมะเดื่อฝรั่งพันธุ์แบล็คแจ๊คอายุ 1 ปี ที่ปลูกในตะกร้าพลาสติกขนาด 14 นิ้ว ในโรงเรือนแบบกึ่งปิด โดยทำการตัดแต่งกิ่งให้เหลือจำนวนกิ่งในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตในปริมาณที่แตกต่างกันหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต 1 ปีแรก วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ประกอบด้วย 1) ไม่ตัดแต่งกิ่ง 2) ตัดแต่งกิ่งเหลือ 2 กิ่ง 3) ตัดแต่งกิ่งเหลือ 4 กิ่ง และ 4) ตัดแต่งกิ่งเหลือ 6 กิ่ง พบว่าการตัดแต่งกิ่งมะเดื่อฝรั่งไม่มีผลต่อความกว้างของทรงพุ่ม แต่การตัดแต่งกิ่งเหลือ 4 กิ่ง มีผลทำให้ต้นมะเดื่อฝรั่งสูงที่สุด การไม่ตัดแต่งกิ่งทำให้มีจำนวนใบต่อด้านมากที่สุดแต่ก็มีผลทำให้ใบมีขนาดเล็กที่สุดด้วยเช่นกัน ซึ่งทำให้มีพื้นที่ใบรวมไม่ต่างจากการตัดแต่งกิ่งเหลือ 4 - 6 กิ่ง ต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 2 และ 4 กิ่ง ใบมีประสิทธิภาพการให้แสงของระบบ PSII (YII) มากกว่าการไม่ตัดแต่งกิ่งและการตัดแต่งกิ่งเหลือ 6 กิ่ง การตัดแต่งกิ่งมีผลทำให้น้ำหนักต่อผลและขนาดของผลมากกว่าการไม่ตัดแต่งกิ่ง ต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 6 กิ่งมีจำนวนผลต่อด้านและน้ำหนักผลทั้งต้นมากที่สุด ต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 2 และ 6 กิ่ง มีสัดส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักผลและพื้นที่ใบต่อจำนวนผลน้อยกว่าการไม่ตัดแต่งกิ่ง จำนวนใบต่อจำนวนผลนั้นการตัดแต่งกิ่งในทุกวิธีการมีจำนวนใบต่อผลน้อยกว่าการไม่ตัดแต่งกิ่ง ส่วนสีผิวของผลขณะเก็บเกี่ยวไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการตัดแต่งกิ่งมะเดื่อฝรั่งที่เหมาะสมคือตัดแต่งกิ่งเหลือ 6 กิ่งต่อต้น

คำสำคัญ: มะเดื่อฝรั่ง ตัดแต่งกิ่ง พื้นที่ใบ

คำนำ

มะเดื่อฝรั่ง (Fig: *Ficus carica* Linn.) วงศ์ Moraceae เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดกลางที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน ซึ่งเป็นพืชที่นิยมปลูกในหลายพื้นที่ทั่วโลกได้แก่ประเทศในแถบเมดิเตอร์เรเนียน อิตาลี สเปน ตุรกี และอเมริกา เป็นต้น โดยในส่วนของประเทศไทยนั้นเริ่มทดลองปลูกโดยกรมวิชาการเกษตร ร่วมกับมูลนิธิโครงการหลวง ซึ่งทำการทดลองบนพื้นที่สูงของประเทศไทย พบว่า มะเดื่อฝรั่งเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการปลูกในประเทศไทย ซึ่งเป็นพืชที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและคุณค่าทางอาหารสูง (Posawang, 2020) มะเดื่อฝรั่งเป็นพืชที่ต้องมีการตัดแต่งกิ่งทุกปี โดยการปลูกมะเดื่อฝรั่งในโรงเรือนให้ผลผลิตได้ดีกว่าการปลูกนอกโรงเรือน เนื่องจากการปลูกนอกโรงเรือนพืชต้องเจอสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงและเสี่ยงต่อการเกิดโรคและแมลงรบกวน และจากการทดลองปลูกมะเดื่อฝรั่งในโรงเรือน พบว่า มะเดื่อฝรั่ง

เจริญทางกิ่งใบและเจริญเติบโตดี มีการแตกกิ่งก้านได้มาก เมื่อโน้มกิ่งจะออกดอกติดผลอย่างสม่ำเสมอ (Public Relations of Kasetsart University, 2006)

การเจริญเติบโตของพืชโดยทั่วไปทั้งในด้านลำต้นและการให้ผลผลิตส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับศักยภาพในการสังเคราะห์แสง (Jeen-on, 2007) ซึ่งศักยภาพในการสังเคราะห์แสงมีประสิทธิภาพเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พื้นที่ใบ การได้รับแสง ปริมาณการได้รับน้ำ เป็นต้น (Seanpheug *et al.*, 2016) โดยในส่วนของพื้นที่ใบนั้นเป็นปัจจัยที่สามารถจัดการได้ตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นปลูก โดย Sakdiset and Sanputawong (2016) ได้ศึกษาการควบคุมทรงพุ่มและการจัดกิ่งประธานในการผลิตมังคุดซึ่งพบว่า ปริมาณของกิ่งที่ตัดเหลือไว้มีผลต่อปริมาณของแสงที่ส่องผ่านทรงพุ่มโดยการไว้กิ่งประธาน 20 กิ่งทำให้แสงส่องผ่านทรงพุ่มน้อยลงจากการที่มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นส่งผลให้ได้ผลผลิตมังคุดต่อด้านสูงที่สุด และในส่วนของมะเดื่อฝรั่งนั้น Hosomi *et al.*, (2015) ได้ศึกษาการตัดแต่งกิ่งมะเดื่อฝรั่ง

พันธุ์ Masui Dauphine ในประเทศญี่ปุ่นโดยการตัดแต่งกิ่งแบบเหลือตอสั้นและยาวจากกิ่งประธาน 2 กิ่งหลัก ซึ่งโน้มกิ่งให้ขนานกับพื้นและยื่นออกจากลำต้นในด้านตรงข้ามกันโดยให้มีกิ่งย่อยที่แตกออกมาใหม่ 16 - 17 กิ่งของแต่ละกิ่งประธาน ซึ่งพบว่าการตัดแต่งกิ่งแบบสั้นแล้วปล่อยให้มีการแตกยอดใหม่ช่วยลดการหลุดร่วงของผลได้ เช่นเดียวกับรายงานของ Zare (2021) ที่รายงานว่าต้นมะเดื่อฝรั่งที่ปลูกมาระยะหนึ่งควรได้รับการตัดแต่งกิ่งออกบ้าง โดยการตัดแต่งกิ่งออกประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ของทั้งต้น นอกจากช่วยให้กิ่งและใบที่แตกใหม่มีขนาดใหญ่ขึ้นแล้วยังช่วยลดการหลุดร่วงของผล ปริมาณผลผลิตที่มีคุณภาพทางการค้าเพิ่มขึ้น ดังนั้น การจัดการทรงพุ่มเพื่อให้มีพื้นที่ใบที่เหมาะสมมีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตมะเดื่อฝรั่ง ผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญของการตัดแต่งกิ่งให้เหลือกิ่งที่เหมาะสมกับระบบและพื้นที่ปลูกเพื่อให้ทราบถึงสัดส่วนของกิ่งและใบต่อปริมาณการให้ผลผลิตและคุณภาพผลผลิต

อุปกรณ์และวิธีการ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ประกอบไปด้วย 4 สิ่งทดลอง สิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ ทำการทดลองในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงกรกฎาคม ประกอบด้วยสิ่งทดลอง ดังนี้ 1) ไม่ตัดแต่งกิ่ง 2) ตัดแต่งกิ่งเหลือไว้ 2 กิ่ง 3) ตัดแต่งกิ่งเหลือไว้ 4 กิ่ง และ 4) ตัดแต่งกิ่งเหลือไว้ 6 กิ่ง (Figure 1) โดยทำการศึกษากับต้นมะเดื่อฝรั่งที่ปลูกในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งปลูกภายในโรงเรือนแบบกึ่งปิดโดยปลูกในตะกร้าพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 นิ้ว ลึก 10 นิ้ว ต้นมะเดื่อฝรั่งที่ใช้ในการศึกษามีอายุ 1 ปี ทำการตัดแต่งกิ่งหลังการเก็บเกี่ยวและเมื่อมีการผลิใบ 1 ชุดใบ ในช่วงของการเริ่มต้นของการทดลองมีขนาดของทรงพุ่มและจำนวนกิ่งเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกัน โดยมีจำนวนกิ่งอยู่ในช่วง 11.67 - 13.33 กิ่ง มีความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 64.67 - 70.83 เซนติเมตร และมีความสูงต้นอยู่ในช่วง 41.33 - 48.33 เซนติเมตร สุ่มต้น



Figure 1. The pruning systems of fig tree a) no pruning b) pruning to leave 2 branches c) pruning to leave 4 branches, and d) pruning to leave 6 branches

เพื่อทำการตัดแต่งกิ่งและเหลือจำนวนกิ่งตามสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ โดยทำการบันทึกข้อมูล ดังนี้ 1) ขนาดทรงพุ่ม ทำการวัดความกว้างทรงพุ่มจากปลายกิ่งจากทิศเหนือ-ใต้ และ ตะวันออก-ตะวันตก นำค่าที่ได้ทั้งสองค่ามาหาค่าเฉลี่ยเป็นความกว้างทรงพุ่ม 2) ประสิทธิภาพการใช้แสงของระบบ PSII (quantum photosynthetic yield of PSII (YII)) หน่วยวัดคือ $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ วัดจากใบที่เกิดใหม่และคลี่เต็มที่ด้านบนสุดของทรงพุ่ม โดยใช้เครื่อง advanced pulse modulated portable chlorophyll fluorometer รุ่น OS5p+(Opti-Sciences, USA) 3) พื้นที่ใบทั้งหมด ทำการสุ่มใบในแต่ละครั้งที่มีการผลิใบอ่อนในช่วงหลังการตัดแต่งกิ่งจนถึงช่วงที่ต้นมะเดื่อฝรั่งเริ่มให้ผลผลิตเป็นเวลา 4 เดือน เพื่อนำมาเป็นตัวอย่งในการบันทึกข้อมูลโดยสุ่มครั้งละ 3 ใบ และหลังจากเก็บผลผลิตจึงนำใบที่ทำการสุ่มไว้มาหาพื้นที่ใบด้วยเครื่อง CI-202 portable laser leaf area meter ของบริษัท Bio-Science ประเทศสหรัฐอเมริกา จากนั้นหาค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบของแต่ละชุดใบและนำมาคูณกับจำนวนใบในแต่ละชุดใบที่ได้ทำการบันทึกไว้รวมเป็นพื้นที่ใบทั้งต้น 4) ปริมาณผลต่อต้นทำการบันทึกผลในช่วง 4 เดือนแรกของการให้ผลผลิตหลังจากการตัดแต่งกิ่ง 5) น้ำหนักผลผลิตต่อต้น นำผลมะเดื่อฝรั่งที่เป็นตัวอย่างในการบันทึกข้อมูลชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง และ 6) ขนาดผล โดยทำการวัดความกว้างผล 2 ครั้ง ในด้านตรงข้ามกัน ส่วนความสูงของผลวัดจากก้นผลถึงฐานของขั้วผลโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิตอล 7) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่อง Hand Refractometer รุ่น Atago Hand-held Refractometer N-1 ประเทศญี่ปุ่น และ 8) ค่าสีของมะเดื่อฝรั่งด้วยเครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter lab รุ่น MiniScan EZ 45/0 LAV วัดในระบบ CIE L*, a* และ b* โดยค่า Hue (h°) คือ ค่ามุมของสีที่คำนวณได้จากสูตร $\text{Hue} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ (Chatsuwan and Areekul, 2010)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโตทางลำต้น

หลังการตัดแต่งกิ่ง 4 เดือน พบว่า ความกว้างทรงพุ่มไม่แตกต่างกันโดยมีความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 105.50 - 116.50 เซนติเมตร แต่มีความสูงที่แตกต่างกันโดยต้นที่ตัดแต่งกิ่งเหลือไว้ 4 กิ่ง มีความสูงของต้นมากที่สุด ($P < 0.05$) โดยมีความสูงเท่ากับ 72.00 เซนติเมตร ต้นที่ไม่ได้ตัดแต่งกิ่งมีจำนวนใบต่อต้น 108.50 ใบ มากกว่าต้นที่ตัดแต่งกิ่งเหลือ 2 และ 4 กิ่ง ($P < 0.01$) (Table 1) ส่วนพื้นที่ใบเฉลี่ยนั้นการตัดแต่งกิ่งในทุกกรรมวิธีทำให้มีพื้นที่ใบเฉลี่ยมากกว่าการไม่ตัดแต่งกิ่งทั้งในใบชุดที่ 2 และ 3 โดยในใบชุดที่ 2 ของต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งมีพื้นที่ใบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200.84 - 223.32 ตารางเซนติเมตร ส่วนในใบชุดใบที่ 3 มีพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 150.54 - 194.69 ตารางเซนติเมตร แต่เมื่อนำมาคำนวณพื้นที่ใบทั้งหมดพบว่า ต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 4 และ 6 กิ่ง มีพื้นที่ใบ 13,394.90 และ 11,895.20 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับมากกว่าต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 2 กิ่ง ที่มีพื้นที่ใบ 7,868.80 ตารางเซนติเมตร แต่ไม่ต่างจากต้นที่ไม่ได้รับการตัดแต่งกิ่งที่มีพื้นที่ใบ 10,983.40 ตารางเซนติเมตร โดยการตัดแต่งกิ่งเหลือ 4 และ 6 กิ่ง ถึงแม้มีจำนวนใบน้อยกว่าการไม่ตัดแต่งกิ่งแต่ใบมีขนาดใหญ่กว่าเมื่อคำนวณพื้นที่ใบรวมจึงมีพื้นที่ใบไม่แตกต่างกัน (Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Zare (2021) ที่พบว่าการตัดแต่งกิ่งมะเดื่อฝรั่งช่วยเพิ่มขนาดของใบและความยาวยอดเมื่อเทียบกับต้นที่ไม่ได้ตัดแต่งกิ่ง โดยเป็นผลมาจากการตัดแต่งกิ่งช่วยลดการสูญเสียน้ำของใบ

ประสิทธิภาพการใช้แสงของระบบ PSII (YII) มีความแตกต่างกันตั้งแต่ช่วงแรกของการตัดแต่งกิ่งจนถึงช่วงที่มีการติดผลในระยะ 8 สัปดาห์หลังตัดแต่งกิ่งโดยต้นที่ได้รับการตัดแต่งเหลือ 2 และ 4 กิ่ง ใบมีประสิทธิภาพการใช้แสงของระบบ PSII (YII) มากกว่าการไม่ตัดแต่งกิ่งและการตัดแต่งกิ่งเหลือ 6 กิ่ง โดยมี YII อยู่ในช่วง 0.526 - 0.590 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และ 0.415 - 0.417

$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ($P < 0.01$) (Table 3) ซึ่งการตัดแต่งให้เหลือจำนวนกิ่งน้อยลงทำให้ต้นมะเดื่อฝรั่งมีจำนวนใบที่น้อยลงแต่พื้นที่ใบสำหรับรับแสงไม่ลดลงเนื่องจากใบมีขนาดใหญ่ขึ้น ต่างจากต้นที่ไม่ได้ตัดแต่งกิ่งที่ใบมีมากกว่าแต่มีขนาดเล็กทำให้ใบเรียงซ้อนกันลดความสามารถของการได้รับแสงที่สม่ำเสมอ ทำให้ใบของต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งสามารถรับแสงได้ดียิ่งขึ้น

ซึ่งตามรายงานของ Jeen-on (2007) กล่าวว่ารูปแบบของทรงพุ่มพืชแต่ละแบบมีผลต่อการได้รับแสงที่ส่องผ่านทรงพุ่มเมื่อได้รับแสงต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของใบพืชเช่นเดียวกับ Qiu *et al.* (2020) ที่รายงานว่า การลดพื้นที่ใบลงให้เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการสังเคราะห์แสงและสามารถเพิ่มผลผลิตพืชได้

Table 1. Canopy size and number of leaves of fig plants at 4 months after pruning

Treatment	Canopy width (cm) ¹	Plant height (cm) ¹	Number of leaf per leaf set			Total leaves per plant ¹
			1 st flushing	2 nd flushing	3 rd flushing	
No pruning	105.50	61.33 ^b	32.50 ^a	41.00 ^a	35.00 ^a	108.50 ^a
Pruning to leave 2 branches	106.33	55.67 ^b	16.33 ^c	19.67 ^c	11.67 ^b	47.67 ^c
Pruning to leave 4 branches	114.17	72.00 ^a	19.00 ^{bc}	30.00 ^b	27.50 ^a	76.50 ^{bc}
Pruning to leave 6 branches	116.50	61.33 ^b	24.50 ^b	29.50 ^b	27.00 ^a	81.00 ^{ab}
F-test	ns	*	**	*	*	**
CV %	5.66	7.32	6.24	11.03	14.06	7.05

¹Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using DMRT; **, * significantly different at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively, ns; not significant

Table 2. Fig leaf area after pruning

Treatment	Average leaf area for each set of leaves (cm ²)			Total leaf area (cm ²) ¹
	1 st flushing	2 nd flushing	3 rd flushing	
No pruning	79.04	108.37 ^b	101.19 ^b	10,983.40 ^{ab}
Pruning to leave 2 branches	68.53	214.75 ^a	194.69 ^a	7,868.80 ^b
Pruning to leave 4 branches	68.04	223.32 ^a	192.14 ^a	13,394.90 ^a
Pruning to leave 6 branches	74.88	200.84 ^a	150.54 ^a	11,895.20 ^a
F-test	ns	**	**	**
CV %	8.39	6.04	5.27	5.78

¹Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using DMRT; ** significantly different at 0.01 probability level, ns; not significant

Table 3. Light efficiency of the PSII (YII) system of fig leaves after pruning

Treatment	Light efficiency of the PSII ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ¹			
	Weeks after pruning			
	2	4	6	8
No pruning	0.354 ^b	0.379 ^b	0.408 ^b	0.415 ^b
Pruning to leave 2 branches	0.496 ^a	0.619 ^a	0.529 ^a	0.590 ^a
Pruning to leave 4 branches	0.407 ^{ab}	0.621 ^a	0.512 ^{ab}	0.526 ^a
Pruning to leave 6 branches	0.436 ^{ab}	0.378 ^b	0.486 ^{ab}	0.417 ^b
F-test	*	**	**	**
CV %	9.32	2.39	7.08	5.09

¹Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using DMRT; **, * significantly different at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively

ผลผลิต

ต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 6 กิ่ง มีจำนวนผลต่อต้นมากกว่าต้นที่ไม่ตัดแต่งกิ่งและต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 2 กิ่ง โดยมีจำนวนผลต่อต้นเท่ากับ 20.50, 14.00 และ 12.33 ผล ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักผลต่อต้นพบว่า ต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 6 กิ่ง มีน้ำหนักผลต่อต้นมากกว่าต้นที่ไม่ตัดแต่งกิ่งและต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 2 กิ่ง โดยมีน้ำหนักผลต่อต้นเท่ากับ 1096.10, 546.34 และ 711.80 กรัม ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองของ Zare (2021) ที่พบว่า การตัดแต่งกิ่งมะเดื่อฝรั่งออก 50 เปอร์เซ็นต์ทำให้ผลผลิตมะเดื่อฝรั่งต่อต้นเพิ่มขึ้นโดยปริมาณที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลผลิตที่มีคุณภาพรวมทั้งสามารถลดการหลุดร่วงของผลโดยเป็นผลมาจากการตัดแต่งกิ่งช่วยให้ได้กิ่งใหม่ที่ใหญ่และแข็งแรงขึ้น และสอดคล้องกับการทดลองของ Sakdiset and Sanputawong (2016) ที่ตัดแต่งกิ่งมังคุดและไ้วกิ่งประธานในปริมาณต่างกันและพบว่า การตัดกิ่งไ้วกิ่งประธาน 20 กิ่ง ที่ความสูงต้น 5 เมตร มีผลทำให้ได้ผลผลิตต่อต้นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการไ้วกิ่งประธาน 10 และ 15 กิ่ง โดยเกิดจากมีพื้นที่ในการติดผลเพียงพอและสอดคล้องกับการได้รับแสงอย่างทั่วถึงเพียงพอต่อการสร้างอาหารให้กับผลผลิต

ต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 2 และ 6 กิ่ง มีผลทำให้สัดส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักผลและพื้นที่ใบต่อจำนวนผลน้อยที่สุด โดยมีพื้นที่ใบต่อน้ำหนักผลเท่ากับ 10.92 - 11.03 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม และมีพื้นที่ใบต่อจำนวนผลเท่ากับ 583.97 - 635.85 ตารางเซนติเมตรต่อผล ต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งในทุกวิธีการมีจำนวนใบต่อจำนวนผลเท่ากับ 3.87 - 4.51 ใบต่อผล น้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับการตัดแต่งกิ่งที่มีค่า 7.81 ใบต่อผล (Table 4) ซึ่งมีผลคล้ายกับรายงานของ Snelgar and Martin (1997) ที่กล่าวว่าค่าดัชนีพื้นที่ใบต่อผลที่เพิ่มขึ้นมากเกินไปมีผลทำให้ขนาดผลของกีวี่ฟรุตลดลง ซึ่งตามรายงานของ Jeen-on *et al.* (2008) การปลดใบลำไยออก 40 - 60 เปอร์เซ็นต์ ขณะติดผลอายุ 60 วัน มีผลทำให้เกิดการส่องผ่านของแสงผ่านทรงพุ่มได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ปลดใบและปลดใบออก 20 เปอร์เซ็นต์ และมีสัดส่วนผลต่อใบประมาณ 1 ผลต่อพื้นที่ใบ 100 ตารางเซนติเมตร โดยส่วนหนึ่งอาจเป็นผลจากความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งผลิต (source) กับแหล่งใช้ (sink) รวมทั้งจากรายงานของ Jarassamrit *et al.* (2007) ที่พบว่า สัดส่วนใบที่ใกล้เคียงกับจำนวนผลของลำไยพันธุ์ดอคือ 1 ใบ ต่อ 1.24 ผล หรือ 20 ใบ ต่อ 30 ผล มีผลทำให้ได้ผลผลิตที่มีขนาดใกล้เคียงกับลำไยเกรด A

Table 4. Number of fruits per plant and the proportion of leaves area per fruit of 'Black Jack' figs

Treatment	Number of Fruit per tree ¹	Fruit weight per tree (g) ¹	Leaf area/fruit weight (cm ² /g) ¹	Leaf area/fruit (cm ² /fruit) ¹	Number of leaves/fruit ¹
No pruning	14.00 ^{bc}	546.34 ^b	20.11 ^a	794.77 ^a	7.81 ^a
Pruning to leave 2 branches	12.33 ^c	711.80 ^b	11.03 ^c	635.85 ^b	3.87 ^b
Pruning to leave 4 branches	17.00 ^{ab}	874.30 ^{ab}	15.44 ^b	782.69 ^a	4.51 ^b
Pruning to leave 6 branches	20.50 ^a	1096.10 ^a	10.92 ^c	583.97 ^b	3.97 ^b
F-test	*	**	*	*	**
CV %	12.01	12.16	8.66	4.81	6.30

1Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using

DMRT; **, * significantly different at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively

ในส่วนของการตัดแต่งกิ่งต่อผลพบว่า การตัดแต่งกิ่งมีผลทำให้มะเดื่อฝรั่งมีน้ำหนักต่อผลมากกว่าการไม่ตัดแต่งกิ่งโดยมีน้ำหนักต่อผลอยู่ในช่วง 51.73 - 57.64 กรัม ส่วนต้นที่ไม่ได้ตัดแต่งกิ่งมีน้ำหนักต่อผลเพียง 37.36 กรัม ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับขนาดของผล โดยมะเดื่อฝรั่งที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งมีความกว้างผลมากกว่าผลจากต้นที่ไม่ได้ตัดแต่งกิ่งโดยมีความกว้างผลอยู่ในช่วง 47.58 - 49.05 เซนติเมตร ส่วนความสูงผลนั้นต้นที่ได้รับการตัดแต่งเหลือ 2 กิ่ง มีความสูงของผลมากกว่าการไม่ตัดแต่งกิ่งโดยมีความสูงของผลเท่ากับ 41.44 เซนติเมตร ส่วนต้นที่ไม่ได้ตัดแต่งกิ่งมีความสูงของผลเท่ากับ 33.93 เซนติเมตร แต่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผล (TSS) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยมีค่าอยู่ในช่วง 11.77 - 12.49 เปอร์เซ็นต์ (Table 5) ต่างจากการทดลองของ Zare (2021) ที่พบว่า การตัดแต่งกิ่งมะเดื่อฝรั่งออกประมาณ 30 - 80 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลมะเดื่อฝรั่งสูงกว่าผลมะเดื่อฝรั่งจากต้นที่ไม่ได้ตัดแต่งกิ่ง ซึ่งอาจเกิดจากการตัดกิ่งช่วยให้ได้กิ่งใหม่ที่ใหญ่และแข็งแรง

มากขึ้นรวมทั้งใบที่มีมากและใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับต้นที่ไม่ตัดแต่งกิ่งซึ่งเป็นกิ่งเก่าและทำให้ต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งมีผลที่สูงเร็วขึ้น ต่างจากการทดลองในครั้งนี้ที่เป็นการตัดแต่งจากกิ่งที่เริ่มต้นจากการแตกกิ่งใหม่ของลำต้นเดิม แต่มีการกำหนดจำนวนกิ่งที่เหลือไว้เพื่อความเหมาะสมของขนาดทรงพุ่มลดการบังแสงของใบภายในต้นเดียวกันและผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยวมีความสุกของผลที่ใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาจากสีผิวของผลที่ไม่แตกต่างกัน

สีผิวของผลมะเดื่อฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวไม่มีความแตกต่างกันในทุกเขตสีโดยมีค่า L* อยู่ในช่วง 27.81 - 31.24 ค่า a* อยู่ในช่วง 11.63 - 18.85 ค่า b* อยู่ในช่วง 7.10 - 9.90 และค่า Hue (h°) อยู่ในช่วง 23.43 - 30.77 ซึ่งสามารถระบุได้ว่าผลผลิตมะเดื่อฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยวมีสีค่อนข้างแดง (Table 6) ซึ่งมะเดื่อฝรั่งพันธุ์แบล็คแจ็คเมื่อแก่เต็มที่มีสีผิวของผลเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง โดยการตัดแต่งกิ่งในทุกกรรมวิธีผลมะเดื่อฝรั่งยังสามารถได้รับแสงที่ส่องผ่านทรงพุ่มได้ ซึ่งแสงเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาสีผิวของผล

Table 5. Fruit weight, fruit size, and soluble solid content of 'Black Jack' figs

Treatment	Fruit weight (g) ¹	Fruit width (cm) ¹	Fruit height (cm) ¹	TSS (%) ¹
No pruning	37.36 ^b	42.35 ^b	33.93 ^b	12.32
Pruning to leave 2 branches	57.64 ^a	48.09 ^a	41.44 ^a	12.49
Pruning to leave 4 branches	51.73 ^a	47.58 ^a	36.80 ^{ab}	12.22
Pruning to leave 6 branches	55.07 ^a	49.05 ^a	38.39 ^{ab}	11.77
F-test	**	**	**	ns
CV %	5.79	3.27	4.32	12.11

¹Means within the same column followed by the same letters indicate no significantly different among treatments using DMRT; ** significantly different at 0.01 probability level, ns; not significant

Table 6. 'Black Jack' fig fruit color value, L*, a*, b*, and hue angle

Treatment	L*	a*	b*	H°
No pruning	30.48	16.51	9.90	30.77
Pruning to leave 2 branches	30.76	17.80	7.66	23.43
Pruning to leave 4 branches	27.81	11.63	7.10	31.66
Pruning to leave 6 branches	31.24	18.85	8.80	25.46
F-test	ns	ns	ns	ns
CV %	3.15	14.08	14.13	8.27

ns; not significant

สรุป

การตัดแต่งกิ่งมะเดื่อฝรั่งไม่มีผลต่อความกว้างของทรงพุ่ม แต่การตัดแต่งกิ่งเหลือ 4 กิ่ง มีผลทำให้ต้นมะเดื่อฝรั่งสูงที่สุด ส่วนการไม่ตัดแต่งกิ่งทำให้มีจำนวนใบต่อด้านมากที่สุดแต่ก็มีผลทำให้ใบมีขนาดเล็กที่สุดด้วยเช่นกัน แต่เมื่อคำนวณพื้นที่ใบรวมแล้วไม่ต่างจากต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 4 - 6 กิ่ง การตัดแต่งกิ่งมีผลทำให้น้ำหนักต่อผลและขนาดของผลมากกว่าการไม่ตัดแต่งกิ่ง ส่วนต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 6 กิ่ง มีจำนวนผลต่อด้านและน้ำหนักผลทั้งต้นมากที่สุด ต้นที่ได้รับการตัดแต่งกิ่งเหลือ 2 และ 6 กิ่ง มีสัดส่วนพื้นที่

ใบต่อน้ำหนักผล และพื้นที่ใบต่อจำนวนผลน้อยกว่าต้นที่ไม่ได้รับการตัดแต่งกิ่ง จึงสามารถสรุปได้ว่าต้นมะเดื่อฝรั่งอายุ 1 ปี การตัดแต่งกิ่งที่เหมาะสมคือตัดแต่งกิ่งเหลือ 6 กิ่งต่อด้าน เนื่องจากมีสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อผลที่เหมาะสมและมีพื้นที่ในการติดผลที่เพียงพอสำหรับให้ได้ผลผลิตที่ดีทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพรวมทั้งใช้เวลาในการตัดแต่งกิ่งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Chatsuwan, N. and V. Areekul. 2010. Color parameters, total phenolic and anthocyanin content in various rice cultivars. pp. 252-260. *In: Proceedings of 48th Kasetsart University Annual Conference Agro-Industry, Bangkok.* (in Thai)
- Hosomi, A., T. Isobe and Y. Miwa. 2015. Shoot growth and fruit production of the 'Masui Dauphine' variety of fig (*Ficus carica* L.) undergoing renewal long pruning. *Japan Agricultural Research Quarterly* 49(4): 391-397.
- Jarassamrit, N., T. Jaroenkit and S. Ratanamarno. 2007. Longan fruit quality development to create value added by fruit thinning and fruit bagging. Research report. Maejo University, Chiang Mai. 78 p. (in Thai)
- Jeen-on, S. 2007. Fruit quality improvement of "Daw" longan (*Dimocarpus longan* Lour.) by tree training: A study of leaf area index in relation to number of fruit. M.S. Thesis. Maejo University, Chiang Mai. 119 p. (in Thai)
- Jeen-on, S., P. Manochai, A. Pintaluk and N. Jarassamrit. 2008. Development of fruit quality in "Daw" longan (*Dimocarpus longan* Lour.) by mature leaf thinning. *Agricultural Science Journal* 39 (Suppl. 3): 1-4. (in Thai)
- Posawang, S. 2020. Testing of fig varieties on highland. *Journal of Agricultural Production* 2(2): 31-38. (in Thai)
- Public Relations of Kasetsart University. 2006. Fig Healthy fruit. (Online). Available: http://pr.ku.ac.th/pr_news/research/Acrobat/2549/390-49.pdf (March 15, 2022). (in Thai)
- Qiu, X., H. Zhang, B. Wang, C. Duan, H. Zhang, H. Li, H. Wang, B. Xiong and Z. Wang. 2020. Effects of different leaf area index on fruit quality and production of Huangguogan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 474(3): 032013, doi: 10.1088/1755-1315/474/3/032013.
- Sakdiset, N. and S. Sanputawong. 2016. The canopy height control and arrangement main branch for quantity and quality of mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.) *Songklanakarin Journal of Plant Science* 3(Suppl. 1): 76-80. (in Thai)
- Seanpheug, T., S. Simla and B. Harakotr. 2016. Influence of plant density on yield and agronomic traits of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Science and Technology, Mahasarakham University* 35(1): 123-132. (in Thai)
- Snelgar, W.P. and P.J. Martin. 1997. Relationship between leaf area index and fruit size in kiwifruit. *Acta Horticulturae* 444: 199-204.
- Zare, H., 2021. Effects of different methods of pruning intensity on old fig (Sabz cultivar) trees under rainfed conditions. *International Journal of Fruit Science* 21(1): 379-391.

การผลิตไวน์เหลืองจากสับปะรดผสมน้ำสกัดเห็ดถังเช่าสีทอง

Yellow Wine Production from Pineapple Mixed with *Cordyceps militaris* Extract

ณัฐพงษ์ สิงห์ภูงา* และ รัตนะ ยศเมธากุล
Natthapong Singpoonga* and Rattana Yosmethakun

สาขาวิชาชีววิทยาและเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ จ. นครสวรรค์ 60000

Department of Biology and Biotechnology, Faculty of Science and Technology,
Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan 60000, Thailand

*Corresponding author: Email: natthapong.s@nsru.ac.th

(Received: 9 December 2022; Accepted: 27 March 2023)

Abstract: This research aims to develop the yellow wine from pineapple juice mixed with extract of *Cordyceps militaris* and to study the consumer's preference of the wine. Five ratios of pineapple juice and the extracted *C. militaris* were 1 : 9, 7 : 3, 5 : 5, 3 : 7, and 9 : 1 (v/v). Distilled water was used as a control in this experiment. The total soluble solid (TSS) of substrates was adjusted by adding sugar to 22 °Brix, and the pH was adjusted at 5.5. *Saccharomyces cerevisiae* was fermented by using 10% inoculum as starter for 15 days at 30 °C. Samples were randomly taken at every 3 days during fermentation and after 30 days of incubation to measure alcohol content, total soluble solids (TSS), total acid content, pH, color, and bioactive compounds (adenosine and cordycepin analysis). It was found that wine contained between 9.76 to 12.23 percent alcohol, TSS in range of 5.56 to 10.63 °brix, pH in range of 3.64 to 4.23 and acid percent in range of 0.57 to 0.70 after 15 days of fermentation. The result of wine physical test showed the highest yellow value (b^*) of 48.11 from the ratio of pineapple juice and extract of *C. militaris* at 9 : 1 (v/v). The content of bioactive compounds including adenosine and cordycepin; both of them were decreased with increasing fermentation time. However, adenosine and cordycepin were able to detect in range of 349.08-546.89 mg/kg and 260.20 - 372.49 mg/kg, respectively after 15 days of fermentation. The yellow wine from pineapple juice mixed with extract of *C. militaris* at 9:1 (v/v) showed the highest color. The result of satisfaction test was found that score of 8.60. The other satisfactions of wine including clarity, odor, and flavor in all treatments showed the average scores in the same criterion (moderately like) while the overall liking was obtained the highest average scores at 8.67 from the ration of pineapple juice per extract of *C. militaris* with 9 : 1 (v/v).

Keywords: Yellow wine, pineapple, *Cordyceps militaris*, bioactive compound

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไวน์เหลืองสับปะรดผสมผสมน้ำสกัดเห็ดถังเช่าสีทอง และทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค โดยศึกษาอัตราส่วนของน้ำสับปะรดต่อน้ำสกัดเห็ดถังเช่าสีทอง 5 อัตราส่วนที่แตกต่างกัน คือ 1 : 9, 7 : 3, 5 : 5, 3 : 7 และ 9 : 1 (v/v) และสูตรที่เติมน้ำกลั่นแทนน้ำสกัดเห็ดถังเช่าสีทองเป็นชุดควบคุม ปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ด้วยน้ำตาลเท่ากับ 22 องศาบริกซ์ และค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 5.5 ตามลำดับ ทำการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นหัวเชื้อ เป็นเวลา 15 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 3 วัน ในระหว่างการหมักและหลังจากการบ่มเป็นเวลา 30 วัน เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอลกอฮอล์ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) ปริมาณกรดทั้งหมด ค่า pH ค่าสี และปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารอะดีโนซีนและสารคอร์โดเซปิน พบว่า หลังจากหมักเป็นเวลา 15 วัน ไวน์มีปริมาณแอลกอฮอล์อยู่ในช่วงร้อยละ 9.76 - 12.23 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 5.56 - 10.63 องศาบริกซ์ ค่า pH ของไวน์ขาวสีทองอยู่ในช่วง 3.64 - 4.23 และค่าร้อยละกรดอยู่ในช่วง 0.57 - 0.70 ผลการทดสอบทางกายภาพด้านสีของไวน์ แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนของน้ำสับปะรดต่อน้ำสกัดเห็ดถังเช่าสีทองที่ 9 : 1 (v/v) มีค่าสีเหลือง (b^*) มากที่สุดเท่ากับ 48.11 สำหรับปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารอะดีโนซีนและคอร์โดเซปิน สารทั้งสองชนิดมีค่าลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาหมักเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ สารอะดีโนซีนและคอร์โดเซปินถูกตรวจพบได้ในช่วง 349.08 - 546.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 260.20 - 372.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ผลการทดสอบความพึงพอใจของไวน์ พบว่า คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีของไวน์เหลืองสับปะรดผสมผสมน้ำสกัดเห็ดถังเช่าสีทองที่อัตราส่วน 9 : 1 (v/v) มีระดับคะแนนสูงสุดเท่ากับ 8.60 ความพึงพอใจด้านอื่น ๆ เช่น ด้านของความใส ด้านกลิ่น และรสชาติ ของไวน์ในทุกสูตรแสดงระดับคะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์เดียวกันคือ ชอบปานกลาง ในขณะที่ความพึงพอใจโดยรวมได้รับคะแนนเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 8.67 จากอัตราส่วนของน้ำสับปะรดต่อน้ำสกัดเห็ดถังเช่าสีทองที่ 9 : 1 (v/v)

คำสำคัญ: ไวน์เหลือง สับปะรด เห็ดถังเช่าสีทอง สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

คำนำ

ไวน์เหลืองเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีมาตั้งแต่สมัยโบราณและนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในประเทศจีน (Tapingkae, 2012) ในภาษาจีนเรียกว่า “ฮวงจิ่ว” ลักษณะเด่นของไวน์ชนิดนี้คือ มีสีเหลืองอ่อน วัตถุดิบที่นิยมใช้ในการหมักไวน์เหลืองมีหลายชนิด ได้แก่ ข้าวเหนียว ข้าวสาลีดำ และลูกเดือย เป็นต้น ไวน์เป็นเครื่องดื่มที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกายหากดื่มในปริมาณที่พอเหมาะ ในไวน์ประกอบด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ วิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ ประมาณ 15 - 20 ชนิด กรดอินทรีย์มากกว่า 22 ชนิด สารจำพวกฟีนอลิก เช่น แอนโทไซยานิน (anthocyanins) และฟลาโวนอล (flavonols) เป็นต้น (Jin et al., 2009)สรรพคุณของไวน์ เช่น ช่วยกระตุ้นการหลั่งน้ำย่อยช่วยให้เจริญอาหาร ช่วยทำให้หลอดเลือดขยายตัวทำให้ระบบหมุนเวียนโลหิตทำงาน

เป็นปกติและช่วยในการขับปัสสาวะ เป็นต้น (Tangtumniyom, 1997)

ปัจจุบันมีการปลูกสับปะรดกันมากขึ้นในเขตพื้นที่จังหวัดอุทัยธานี และในบางพื้นที่ของจังหวัดนครสวรรค์ โดยพบว่า มีการปลูกสับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวียมากกว่าหมื่นไร่ จากการเพาะปลูกเป็นจำนวนมาก จากข้อมูลพบว่า จังหวัดอุทัยธานีมีเนื้อที่ปลูกประมาณ 19,204 ไร่ มีจำนวนครัวเรือนผู้ปลูก 1,568 ครัวเรือน คิดเป็นเนื้อที่ปลูกเฉลี่ยต่อครัวเรือน 12.25 ไร่ (Department of Agriculture Extension, 2021) ทำให้เกิดปัญหาภาวะล้นตลาดและมีราคาตก ในการแก้ปัญหาดังกล่าวมีการนำเอาสับปะรดมาแปรรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่หลากหลาย การนำสับปะรดมาใช้ในการผลิตไวน์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่สับปะรด

เห็ดถังเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) จัดเป็นสมุนไพรจีนที่นำมาใช้เป็นยาอายุวัฒนะใช้รักษา

สารพัดโรคและบำรุงร่างกายมาตั้งแต่สมัยโบราณ (Tapingkae, 2012) ลักษณะเด่นของเห็ดชนิดนี้คือ มีสีเหลืองส้ม เห็ดถังเช่าสีทองมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอะดีโนซีน (adenosine) และสารคอร์ไดเซปิน (cordycepin) สารทั้งสองชนิดนี้มีสรรพคุณทางยาที่สำคัญ เช่น ช่วยช่วยป้องกันและรักษาภาวะโรคหัวใจล้มเหลว กระตุ้นการไหลเวียนของโลหิต ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันของร่างกาย ด้านการเกิดเนื้องอกและเซลล์มะเร็ง (Weil and Chen, 2011) เป็นต้น โดยปกติแล้วเห็ดถังเช่าสีทองอบแห้งเมื่อสกัดโดยแช่ในน้ำร้อนแล้ว ให้สีเหลืองทองและมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง (Shashidhar *et al*, 2013) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เด่นชัด อีกทั้งในปัจจุบันยังไม่พบผลิตภัณฑ์ไวน์สับปะรดที่นำวัตถุดิบที่เป็นเห็ดถังเช่าสีทองมาหมักผสมรวมกัน เพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์ไวน์เหลือจากสับปะรดผสมน้ำสกัดเห็ดถังเช่าสีทอง และศึกษาความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ เพื่อยกระดับคุณภาพของไวน์ให้เป็นผลิตภัณฑ์ตัวเลือกหนึ่งในด้านเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพของผู้บริโภค และยังคงส่งผลการเพิ่มมูลค่าของสับปะรดให้สูงขึ้นอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบและจุลินทรีย์ที่ใช้หมัก

งานวิจัยนี้ใช้สับปะรดสายพันธุ์ปัตตาเวีย จากตลาดศรีนคร ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ที่เพาะปลูกในพื้นที่ อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี สำหรับเชื้อเห็ดถังเช่าสีทอง (*C. militaris*) ที่ได้รับจาก บริษัทถังเช่าทองคำ จำกัด จังหวัดปทุมธานี และยีสต์ที่ใช้หมักเป็นผงยีสต์สำเร็จรูป *Saccharomyces cerevisiae* ตรา LALVIN EC-1118 (Canada)

การเพาะเลี้ยงเห็ดถังเช่าสีทอง

ทำการเตรียมเชื้อเห็ดถังเช่าสีทองตามวิธีการของ Tapingkae (2012) โดยนำเส้นใยเห็ดถังเช่าสีทอง

(*C. militaris*) มาเพาะเลี้ยงในอาหารแข็งพีดีเอ (potato dextrose agar; PDA) ที่ปราศจากเชื้อ บ่มเชื้อในที่มืด อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำมาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวพีดีบี (potato dextrose broth; PDB) บนเครื่องเขย่า (shaker) ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ในที่มืดที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ได้หัวเชื้อเห็ดถังเช่าสีทองในอาหารเหลว ทำการเพาะเลี้ยงเส้นใยเห็ดถังเช่าสีทองจากอาหารเหลวลงบนอาหารแข็งธัญพืชข้าว ประกอบด้วย ข้าวขาวเส้าให้ 50 กรัม ผสมกับอาหารเหลวพีดีบี ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ในขวดแก้วขนาด 32 ออนซ์ นำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายเชื้อเห็ดถังเช่าสีทองที่เจริญในอาหารเหลวลงไปในขวดอาหารแข็งธัญพืชปริมาณ 5 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดแล้วนำไปบ่มในที่มืด ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 - 70 ให้แสงวันละ 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 60 วัน หลังจากถ่ายเชื้อ จากนั้นเก็บผลผลิตเห็ดถังเช่าสีทอง โดยคัดเลือกเฉพาะส่วนที่เป็นดอกเห็ด นำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ได้เห็ดถังเช่าสีทองอบแห้ง (Tapingkae, 2012)

การเตรียมน้ำสกัดเห็ดถังเช่าสีทองและการเตรียมน้ำสับปะรด

นำเห็ดถังเช่าสีทองอบแห้งที่เตรียมไว้แล้วแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนดอกเห็ดต่อน้ำร้อนเท่ากับ 1 : 10 (w/v) เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งเป็นอัตราส่วนโดยประมาณจากการชงชาเห็ดถังเช่าสีทองเพื่อดื่ม (Tapingkae, 2012) จากนั้นกรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำได้น้ำสกัดเห็ดถังเช่าสีทอง สำหรับน้ำสับปะรดเตรียมได้โดยนำผลสับปะรดสุกสายพันธุ์ปัตตาเวียเนื่องจากให้ค่าความหวานสูงมาปอกเปลือกและล้างให้สะอาด บั่นเนื้อสับปะรดด้วยเครื่องปั่นผลไม้ (Sharp EMC-15, Japan) แล้วคั้นและกรองเอาเฉพาะน้ำสับปะรด

การเตรียมวัตถุดิบน้ำหมัก

ในแต่ละชุดการทดลองทำการเตรียมน้ำหมักปริมาณ 1 ลิตร โดยผสมน้ำสับปะรดและน้ำสั้กัดเห็ดถึงเข้าสีทองในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน จำนวน 5 สูตร การทดลองและสูตรที่เติมน้ำกลั่นแทนน้ำสั้กัดเห็ดถึงเข้าสีทองเป็นชุดควบคุม ดังนี้ (1) ชุดควบคุม (control) ประกอบด้วยน้ำสับปะรด 500 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร, (2) สูตรที่ 1 ประกอบด้วยน้ำสับปะรด 100 มิลลิลิตร และน้ำสั้กัดเห็ดถึงเข้าสีทอง 900 มิลลิลิตร (1:9), (3) สูตรที่ 2 ประกอบด้วยน้ำสับปะรด 300 มิลลิลิตร และน้ำสั้กัดเห็ดถึงเข้าสีทอง 700 มิลลิลิตร (3:7), (4) สูตรที่ 3 ประกอบด้วยน้ำสับปะรด 500 มิลลิลิตร และน้ำสั้กัดเห็ดถึงเข้าสีทอง 500 มิลลิลิตร (5:5), (5) สูตรที่ 4 ประกอบด้วยน้ำสับปะรด 700 มิลลิลิตร และน้ำสั้กัดเห็ดถึงเข้าสีทอง 300 มิลลิลิตร (7:3), (6) สูตรที่ 5 ประกอบด้วยน้ำสับปะรด 900 มิลลิลิตร และน้ำสั้กัดเห็ดถึงเข้าสีทอง 100 มิลลิลิตร (9:1) ทำการปรับค่าความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid: TSS) ให้เท่ากับ 22 องศาบริกซ์ ด้วยน้ำตาลทราย เนื่องจากเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อยีสต์ (Chaikulsareewath and Singhapol. 2016) ปรับค่า pH ให้เท่ากับ 5.5 ด้วยกรดซิตริก (0.2 - 0.4 กรัมต่อลิตร)

การเตรียมกล้าเชื้อ (starter)

ทำการเตรียมน้ำหมักที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ของน้ำหมัก 1 ลิตร โดยเตรียมน้ำสับปะรดความเข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ปรับค่า TSS ให้เท่ากับ 22 องศาบริกซ์ ด้วยน้ำตาลทราย ค่า pH ประมาณ 5.5 ด้วยกรดซิตริก (0.2-0.4 กรัมต่อลิตร) ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำยีสต์ผงสำเร็จรูป *S. cerevisiae* ปริมาณ 1 กรัม บ่มบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การหมักไวน์

เติมน้ำยาไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) ร้อยละ 0.10 ลงในน้ำหมักแต่ละสูตรที่เตรียมไว้แล้วเพื่อใช้เป็น

แหล่งไนโตรเจน จากนั้นนำไปต้มฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที เสร็จแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น บรรจุลงในขวดแก้วดูแรนขนาด 2 ลิตร ใส่กล้าเชื้อที่เตรียมไว้แล้วลงไป 100 มิลลิลิตร ทำการหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของไวน์ โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างของน้ำหมักทุก 3 วัน

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณแอลกอฮอล์ โดยใช้เครื่อง Ebulliometer ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) โดยใช้เครื่อง hand refractometer ปริมาณกรดทั้งหมด (หาเป็นค่ากรดซิตริก) ตามวิธีของ AOAC (2000) ค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ 2 ชนิด คือ สารอะดีโนซีนและสารคอร์โดเซปิน ตามวิธีการของ Huang *et al.* (2009) ดังนี้

1. การเตรียมสารสกัดหยาบ นำเห็ดถึงเข้าสีทองมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นสมุนไพรม (OEM grinder654654, China) นำตัวอย่างที่ปั่นละเอียด 1 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า (vortex mixture) จากนั้นนำไปแช่ในเครื่องอัลตราโซนิกชนิดอ่าง (ultrasonic bath) เป็นเวลา 30 นาที และแยกสารละลายส่วนใสโดยนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 9,900 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนใสแล้วกรองสารสกัดที่ได้ผ่านเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 0.45 ไมครอน (syringe filter, nylon -ขนาด 30 มิลลิเมตร) ใส่ในขวดเก็บสารเพื่อเตรียมวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์หาสารอะดีโนซีนและสารคอร์โดเซปิน นำสารที่สกัดหยาบที่เตรียมได้มาแยกและวิเคราะห์หาสารทั้งสองชนิดด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography: HPLC; Shimadzu, Japan) คอลัมน์

ชนิด C18 ใช้ตัวตรวจวัดสัญญาณ (detector) เป็นอัลตราไวโอเล็ต (UV) ที่กำหนดความยาวคลื่นเท่ากับ 254 นาโนเมตร โดยมีสภาวะที่ใช้สำหรับแยกสาร ได้แก่ วัฏภาคไหล (mobile phase) คือ น้ำและสารละลายเมทานอลในอัตราส่วน 90 : 10 (V/V) อัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อนาที ปริมาณสารที่ฉีดเท่ากับ 20 ไมโครลิตร อุณหภูมิของช่องใส่คอลัมน์เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ใช้สารมาตรฐานคอร์โดเซปินและอะดีโนซีน ของบริษัท Sigma Chemical Corporation เตรียมสารละลายมาตรฐานคอร์โดเซปินและอะดีโนซีนในช่วงความเข้มข้นเท่ากับ 0 - 100 และ 0 - 50 ppm ตามลำดับ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ คือ วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (HunterLab ColorQuest XE, U.S.A.) ระบบ CIE โดยแสดงผลค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*)

การบ่มไวน์เหลืองและการวิเคราะห์ผล

นำน้ำหมักมาทำให้ไวน์ใสด้วยวิธีการกรองโดยใช้สารไดอะตอมไมต์ (diatomite) ตรา Celite เป็นสารช่วยกรอง จากนั้นแยกส่วนใสและเติมสารโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) เข้มข้น 150 ppm เพื่อทำลายจุลินทรีย์ปนเปื้อนและหยุดปฏิกิริยาการหมักของยีสต์ทิ้งไว้นาน 3 ชั่วโมง แล้วบรรจุใส่ขวดใหม่ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ปิดจุกให้แน่นแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน สุ่มตัวอย่างไวน์เหลืองมาวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมด ค่าสี ปริมาณสารอะดีโนซีนและสารคอร์โดเซปิน หลังจากบ่มเป็นเวลา 30 วัน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ชุดการทดลองการหมักไวน์นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 15

การทดสอบประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความชอบ โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 9 คะแนน (9-Point Hedonic Scales) (Meilgaard *et al.*, 2006) โดยใช้ผู้ทดสอบที่จำนวน 30 คน ที่อาศัยอยู่อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ดำเนินการเสิร์ฟตัวอย่างพร้อมแบบสอบถามให้กับผู้ทดสอบ โดยเสิร์ฟตัวอย่างปริมาณละ 50 มิลลิตร มีการควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างที่ 10 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเสิร์ฟน้ำดื่มเพื่อให้ผู้ทดสอบทำความสะอาดช่องปากก่อนทดสอบตัวอย่างถัดไป จากนั้นให้ผู้ทดสอบชิมและประเมินความชอบในคุณลักษณะด้านสี ความใส กลิ่น รสชาติและความชอบโดยรวม ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 15

ผลการทดลองและวิจารณ์

องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของไวน์

การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นในการหมักไวน์เหลืองจากน้ำสับปะรดและน้ำสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกันพบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นโดยเพิ่มขึ้นจากความเข้มข้นร้อยละ 0 เป็นความเข้มข้นร้อยละ 9.76 - 12.23 เมื่อเวลาผ่านไป 15 วัน โดยสูตรที่ 5 ผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือร้อยละ 12.23 (โดยปริมาตร) ในขณะที่ในชุดควบคุมผลิตแอลกอฮอล์ได้น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับร้อยละ 9.76 (โดยปริมาตร) และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบ่มไวน์เป็นเวลา 45 วัน พบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์ในทุกสูตรมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการบ่ม โดยมีความเข้มข้นร้อยละ 9.73 - 12.20 ดังแสดงใน Table 1 สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) พบว่าทุกชุดการทดลองมีค่า TSS ลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยลดลงจากความเข้มข้น 22 องศาบริกซ์เหลือ 5.56 - 10.63 องศาบริกซ์ เมื่อเวลาผ่านไป 15 วัน

โดยสูตรที่ 5 มีค่า TSS ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 5.56 องศาบริกซ์ ในขณะที่ชุดควบคุมเหลือความเข้มข้นของค่า TSS สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 10.63 องศาบริกซ์ และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบ่มไวน์เป็นเวลา 45 วัน พบว่า ความเข้มข้นของค่า TSS ในทุกสูตรมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการบ่ม โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 5.50 - 10.46 องศาบริกซ์ ดังแสดงใน Table 2 จากผลการทดลองจะเห็นว่า ผลการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอลกอฮอล์สอดคล้องกับค่า TSS ที่ลดลง เนื่องจากยีสต์ *S. cerevisiae* ผลิตเอนไซม์อินเวอร์เทส (Invertase) ที่สามารถย่อยสลายน้ำตาลซูโครสได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลที่เล็กลง ได้แก่ กลูโคสและฟรุกโทส จากนั้นกลูโคสจึงถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเอนไซม์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในวิถี Embden-Meyerhof-Panas (EMP) ส่งผลให้ค่า TSS ลดลงอย่างรวดเร็ว โดยยีสต์ใช้ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโต พร้อมกับการผลิตแอลกอฮอล์ไปพร้อม ๆ กัน (Wanapu *et al.*, 2003) จากการทดลองนี้พบว่า สูตรที่ 5 ที่หมักด้วยน้ำสับปะรด 900 มิลลิลิตร และ น้ำสั้กั้ดเห็ดถึงเชื้อสั้ทอง 100 มิลลิลิตร (9 : 1) ยีสต์สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้มากที่สุดคือร้อยละ 12.23 อาจเนื่องมาจากสูตรดังกล่าวมีปริมาณของน้ำสับปะรดสูง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีปริมาณสารอาหาร

มากกว่าสูตรอื่น โดยเฉพาะแหล่งไนโตรเจน แหล่งคาร์บอนสำคัญและสารที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโต (growth factor) ในการหมักของยีสต์ (Ribereau-Gayon *et al.*, 2006) จึงทำให้ยีสต์นำมาใช้ในการสร้างแอลกอฮอล์ได้สูงกว่า นอกจากนี้ สารสั้กั้ดเห็ดถึงเชื้อสั้ทองที่เติมลงไปอาจมีผลต่อการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ สังเกตได้จากค่า TSS ของแต่ละสูตรในชุดการทดลองที่เติมสารสั้กั้ดเห็ดถึงเชื้อสั้ทองมีปริมาณน้อยกว่าชุดควบคุม และปริมาณแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้จากแต่ละสูตรในชุดการทดลองที่เติมน้ำสั้กั้ดเห็ดถึงเชื้อสั้ทองมีปริมาณมากกว่าชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าสารสั้กั้ดเห็ดถึงเชื้อสั้ทองอาจมีสารอาหารหรือแร่ธาตุสำคัญที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตและการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ นอกจากนี้ สังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมที่เป็นสารสั้กั้ดเห็ดถึงเชื้อสั้ทองในปริมาณมากขึ้นทำให้ปริมาณแอลกอฮอล์ลดลง ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณที่สูงเกินไปของสารบางอย่างหรือการลดลงของสารสำคัญบางชนิดทำให้มีผลต่อกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ของเชื้อยีสต์ ดังนั้น การผสมน้ำสั้กั้ดเห็ดถึงเชื้อสั้ทองในอัตราส่วนที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญต่อการผลิตแอลกอฮอล์ ซึ่งอาจต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับผลของสารสั้กั้ดเห็ดถึงเชื้อสั้ทองต่อการผลิตแอลกอฮอล์โดยเชื้อยีสต์ต่อไปในอนาคต

Table 1. Impact of ratio of pineapple juice and extract of *Cordyceps militaris* on alcohol production during wine fermentation

Time (Day)	Alcohol content (%) at ratio of pineapple juice and extract of <i>C. militaris</i>					
	Control	Formula 1 (1:9)	Formula 2 (3:7)	Formula 3 (5:5)	Formula 4 (7:3)	Formula 5 (9:1)
0 ^{ns}	0	0	0	0	0	0
3	2.50 ^{ed} ± 0.10	2.80 ^{de} ± 0.10	3.16 ^{ce} ± 0.05	3.43 ^{bd} ± 0.05	3.76 ^{ad} ± 0.05	3.86 ^{ad} ± 0.05
6	4.30 ^{cc} ± 0.10	4.53 ^{cd} ± 0.20	4.92 ^{cd} ± 0.79	5.53 ^{bc} ± 0.20	6.30 ^{ac} ± 0.10	6.50 ^{ad} ± 0.10
9	7.30 ^{db} ± 0.17	7.46 ^{dc} ± 0.15	8.33 ^{cc} ± 0.20	9.06 ^{ab} ± 0.05	10.16 ^{ab} ± 0.05	10.80 ^{ac} ± 0.10
12	9.23 ^{ba} ± 0.05	9.26 ^{bb} ± 0.05	9.46 ^{bb} ± 0.05	9.80 ^{bb} ± 0.10	11.06 ^{aA} ± 0.15	11.40 ^{ab} ± 0.10
15	9.76 ^{da} ± 0.05	10.33 ^{ca} ± 0.05	10.40 ^{ca} ± 0.10	11.10 ^{ba} ± 0.10	11.16 ^{ba} ± 0.05	12.23 ^{aA} ± 0.05
45	9.73 ^{da} ± 0.05	10.36 ^{ca} ± 0.05	10.43 ^{ca} ± 0.05	11.10 ^{ba} ± 0.10	11.13 ^{ba} ± 0.05	12.20 ^{aA} ± 0.10

^{a,b} Means with the different letters in the same row are significant at $P \leq 0.05$. ^{A,B} Means with the different letters in the same column are significant at $P \leq 0.05$.

^{ns} in the same row means are not significant at $P > 0.05$. Value represents from $n = 3$

Table 2. Impact of ratio of pineapple juice and extract of *Cordyceps militaris* on total soluble solid during wine fermentation

Time (Day)	Total soluble solid (°Brix) at ratio of pineapple juice and extract of <i>C. militaris</i>					
	Control	Formula 1 (1 : 9)	Formula 2 (3 : 7)	Formula 3 (5 : 5)	Formula 4 (7 : 3)	Formula 5 (9 : 1)
0 ^{ns}	22	22	22	22	22	22
3	20.40 ^{aA} ± 0.10	20.26 ^{aA} ± 0.05	19.83 ^{bA} ± 0.11	19.60 ^{bA} ± 0.10	19.43 ^{cA} ± 0.05	19.33 ^{cA} ± 0.41
6	18.43 ^{aB} ± 0.15	18.33 ^{aB} ± 0.05	16.80 ^{bB} ± 0.10	16.50 ^{bB} ± 0.10	16.43 ^{bB} ± 0.05	16.16 ^{bB} ± 0.05
9	15.43 ^{aC} ± 0.15	15.63 ^{aC} ± 0.15	14.50 ^{bC} ± 0.20	13.26 ^{cC} ± 0.05	12.83 ^{dC} ± 0.05	12.50 ^{dC} ± 0.10
12	12.70 ^{aD} ± 0.10	11.63 ^{bD} ± 0.15	11.53 ^{bD} ± 0.15	10.43 ^{cD} ± 0.20	9.60 ^{dD} ± 0.10	9.46 ^{dD} ± 0.05
15	10.63 ^{aE} ± 0.15	9.73 ^{bE} ± 0.15	9.76 ^{bE} ± 0.05	8.36 ^{cE} ± 0.15	6.56 ^{dA} ± 0.20	5.56 ^{eE} ± 0.25
45	10.46 ^{aE} ± 0.05	9.60 ^{bE} ± 0.10	9.56 ^{bE} ± 0.05	8.43 ^{cE} ± 0.05	6.60 ^{dE} ± 0.10	5.50 ^{eE} ± 0.20

^{a,b} Means with the different letters in the same row are significant at $P \leq 0.05$. ^{A,B} Means with the different letters in the same column are significant at $P \leq 0.05$.

^{ns} in the same row means are not significant at $P > 0.05$. Value represents from $n = 3$

ปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้ มีความสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไวน์ มอก. ไวน์ 2089 - 2544 ที่ระบุว่า ไวน์ผลไม้ที่หมักจากวัตถุดิบที่เป็นผลไม้ มีแอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 15 (Chumpookam *et al.*, 2014) สำหรับค่า TSS ในการทดลองนี้ได้ปรับให้มีค่าเท่ากับ 22 องศาบริกซ์ ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม เนื่องจากหากใช้ระดับความเข้มข้นน้อยเกินไป มีผลทำให้ไวน์จืดและเชื้อยีสต์เจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ ส่งผลให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่น้อย (Wanapu *et al.*, 2003) ผลการทดลองนี้เป็นไปในทำนองเดียวกันกับผลการวิจัยของ Boondaeng *et al.* (2022) ที่ได้ศึกษาสภาวะการหมักไวน์สับปะรดพบว่า ปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ค่า TSS ลดลง โดยที่อัตราส่วนของน้ำสับปะรดต่อน้ำสะอาดเท่ากับ 2 : 1 ให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดร้อยละ 10.71 (v/v) ในวันที่ 10 ของการหมัก

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในการทดลองนี้ได้วิเคราะห์หากรดซิตริก เนื่องจากในไวน์มีกรดอยู่หลายชนิดได้แก่ กรดซิตริก กรดทาร์ทริก กรดมาลิก ส่วนกรดซัคซินิก กรดแลคติก และกรดไพรูวิก ที่เกิดในระหว่างหมักไวน์ส่งผลให้ค่าพีเอชของไวน์ลดลง (Chanthai and Danvirutai,

2004) จากการทดลองพบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจากความเข้มข้นร้อยละ 0.39 - 0.42 เป็นความเข้มข้นร้อยละ 0.57 - 0.70 เมื่อเวลาผ่านไป 15 วัน โดยสูตรที่ 5 มีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือร้อยละ 0.70 รองลงมาคือ สูตรที่ 4, 3, 1 และ 2 มีปริมาณกรดร้อยละ 0.68, 0.66, 0.64 และ 0.63 ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมมีปริมาณกรดต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือร้อยละ 0.57 และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบ่มไวน์เป็นเวลา 45 วัน พบว่าความเข้มข้นของปริมาณกรดในทุกสูตรมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการบ่ม โดยมีค่าความเข้มข้นร้อยละ 0.57 - 0.71 ดังแสดงใน Table 3

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่า pH ลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยลดลงจาก 5.54 - 5.57 เป็น 3.64 - 4.23 เมื่อเวลาผ่านไป 15 วัน โดยสูตรที่ 5 ค่า pH ลดลงมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 3.64 รองลงมาคือ สูตรที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ โดยมีค่า pH เท่ากับ 3.65, 3.75, 3.95 และ 4.04 ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมมีค่า pH สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 4.23 และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบ่มไวน์เป็นเวลา 45 วัน พบว่า ค่า pH ในทุกสูตรมีค่าคงที่ตลอดระยะ-

เวลาการบ่ม โดยมีค่าระหว่าง 3.63 - 4.24 ดังแสดงใน Table 4 จากผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดในการทดลองนี้จะเห็นว่า ร้อยละกรดทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นจากวันแรกจนถึงวันสุดท้ายของการหมัก สอดคล้องกับการสะสมของร้อยละกรดทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่า pH ลดลง (Chanprasartsuk *et al.*, 2012) และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบ่มไวน์พบว่า ร้อยละกรดทั้งหมดและค่า pH ของไวน์มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการบ่ม ร้อยละกรดทั้งหมดในไวน์มีผลต่อคุณภาพ

ด้านรสชาติของไวน์ กล่าวคือ ในขั้นตอนกระบวนการหมักไวน์นั้นทำให้เกิดการสะสมของกรดที่ทำให้เกิดรสเปรี้ยว เผื่อนฝาด และกลิ่นหอมของประกอบเหล่านี้นำให้เกิดความประทับใจและแสดงถึงคุณภาพที่ดีของไวน์ (Chanthai and Danvirutai, 2004) นอกจากนี้ ยังส่งผลต่อคุณภาพสีของไวน์ โดยไวน์ที่มีค่า pH ต่ำส่งผลให้สีไวน์เข้มและสีไวน์มีความเสถียรมากกว่าไวน์ที่มีค่า pH สูง (Chumpookam *et al.*, 2014)

Table 3. Impact of ratio of pineapple juice and extract of *Cordyceps militaris* on citric acid content during wine fermentation

Time (Day)	Citric acid content (%) at ratio of pineapple juice and extract of <i>C. militaris</i>					
	Control	Formula 1 (1 : 9)	Formula 2 (3 : 7)	Formula 3 (5 : 5)	Formula 4 (7 : 3)	Formula 5 (9 : 1)
0	0.39 ^{cdF} ± 0.00	0.40 ^{cdF} ± 0.00	0.40 ^{cdF} ± 0.00	0.41 ^{bcF} ± 0.01	0.41 ^{abE} ± 0.00	0.42 ^{ae} ± 0.00
3	0.41 ^{ce} ± 0.01	0.42 ^{bcE} ± 0.01	0.42 ^{bcE} ± 0.01	0.44 ^{bE} ± 0.01	0.46 ^{ad} ± 0.01	0.46 ^{ad} ± 0.02
6	0.43 ^{cd} ± 0.00	0.45 ^{cd} ± 0.01	0.45 ^{cd} ± 0.00	0.48 ^{ad} ± 0.00	0.47 ^{bd} ± 0.01	0.48 ^{ad} ± 0.00
9	0.48 ^{ec} ± 0.00	0.49 ^{deD} ± 0.00	0.50 ^{cdC} ± 0.00	0.52 ^{bcC} ± 0.01	0.53 ^{abC} ± 0.01	0.54 ^{ac} ± 0.01
12	0.53 ^{cb} ± 0.02	0.56 ^{bb} ± 0.01	0.54 ^{bcB} ± 0.01	0.57 ^{bb} ± 0.01	0.62 ^{abB} ± 0.01	0.65 ^{ab} ± 0.01
15	0.57 ^{ea} ± 0.01	0.65 ^{ca} ± 0.01	0.63 ^{da} ± 0.01	0.66 ^{ca} ± 0.01	0.68 ^{ba} ± 0.00	0.70 ^{aa} ± 0.00
45	0.57 ^{ea} ± 0.00	0.64 ^{cdA} ± 0.01	0.63 ^{da} ± 0.01	0.66 ^{ca} ± 0.01	0.69 ^{ba} ± 0.01	0.71 ^{aa} ± 0.01

^{a,b} Means with the different letters in the same row are significant at $P \leq 0.05$. ^{A,B} Means with the different letters in the same column are significant at $P \leq 0.05$. Value represents from $n = 3$

Table 4. Impact of ratio of pineapple juice and extract of *Cordyceps militaris* on pH during wine fermentation

Time (Day)	pH at ratio of pineapple juice and extract of <i>C. militaris</i>					
	Control	Formula 1 (1 : 9)	Formula 2 (3 : 7)	Formula 3 (5 : 5)	Formula 4 (7 : 3)	Formula 5 (9 : 1)
0 ^{ns}	5.54 ^A ± 0.01	5.55 ^A ± 0.01	5.55 ^A ± 0.02	5.56 ^A ± 0.01	5.54 ^A ± 0.02	5.57 ^A ± 0.01
3	5.23 ^{ab} ± 0.02	5.14 ^{bB} ± 0.01	5.13 ^{bb} ± 0.01	5.13 ^{abB} ± 0.02	5.12 ^{abB} ± 0.01	5.10 ^{ab} ± 0.00
6	5.05 ^{ac} ± 0.03	4.84 ^{bc} ± 0.04	4.66 ^{cc} ± 0.04	4.45 ^{dc} ± 0.03	4.43 ^{dc} ± 0.02	4.42 ^{dc} ± 0.04
9	4.84 ^{ad} ± 0.04	4.52 ^{bd} ± 0.01	4.53 ^{bd} ± 0.02	4.26 ^{cd} ± 0.01	4.13 ^{dd} ± 0.02	4.13 ^{dd} ± 0.02
12	4.44 ^{ae} ± 0.02	4.37 ^{be} ± 0.01	4.25 ^{ce} ± 0.03	4.08 ^{de} ± 0.03	3.99 ^{ee} ± 0.05	3.99 ^{ee} ± 0.04
15	4.23 ^{af} ± 0.02	4.04 ^{bf} ± 0.01	3.95 ^{cf} ± 0.02	3.75 ^{df} ± 0.01	3.65 ^{ef} ± 0.04	3.64 ^{ef} ± 0.02
45	4.24 ^{af} ± 0.02	4.04 ^{bf} ± 0.02	3.95 ^{cf} ± 0.01	3.75 ^{df} ± 0.02	3.65 ^{ef} ± 0.01	3.63 ^{ef} ± 0.01

^{a,b} Means with the different letters in the same row are significant at $P \leq 0.05$. ^{A,B} Means with the different letters in the same column are significant at $P \leq 0.05$.

^{ns} in the same row means are not significant at $P > 0.05$. Value represents from $n = 3$

จากการศึกษาคุณลักษณะด้านสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของไวน์ โดยทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 0 และ 15 ของการหมัก และหลังจากบ่ม 30 วัน แสดงผลใน Table 5 สำหรับค่า L^* พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่า L^* เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 26.68 - 47.49 เป็น 41.36 - 88.53 ในวันที่ 15 ของการหมัก โดยชุดควบคุมมีค่า L^* สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 88.53 รองลงมาคือ สูตรที่ 5, 4, 3 และ 2 มีค่าเท่ากับ 85.53, 84.47, 66.57 และ 52.51 ตามลำดับ ในขณะที่สูตรที่ 1 มีค่า L^* ต่ำที่สุด เท่ากับ 41.36 และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบ่มไวน์เป็นเวลา 45 วัน พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่า L^* เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 89.55 - 77.67

สำหรับค่า a^* พบว่า มีค่าลดลงในทุกชุดการทดลอง โดยลดลงจาก 5.93 - 15.24 เป็น 0.26 - 6.75 ในวันที่ 15 ของการหมัก โดยสูตรที่ 1 มีค่า a^* สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 6.75 รองลงมาคือ สูตรที่ 2, 3, 4 และ 5 มีค่าเท่ากับ 2.58, 2.19, 2.01 และ 0.66 ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมมีค่า a^* ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.26 และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบ่มไวน์เป็นเวลา 45 วัน พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่า a^* คงที่โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.24 - 6.70

สำหรับค่า b^* พบว่า มีค่าลดลงในทุกชุดการทดลองเช่นเดียวกัน โดยลดลงจาก 50.47 - 57.82 เป็น 29.69 - 48.11 ในวันที่ 15 ของการหมัก โดยสูตรที่ 5 มีค่า b^* สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 48.11 รองลงมาคือสูตรที่ 4, ชุดควบคุม, สูตรที่ 2 และ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 42.20, 39.06, 38.11 และ 31.14 ตามลำดับ ในขณะที่สูตรที่ 1 มีค่า b^* ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 29.69 และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบ่มไวน์เป็นเวลา 45 วัน พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่า b^* คงที่โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 29.10 - 48.07 จากผลการทดลองจะเห็นว่า คุณลักษณะด้านสีของไวน์จะให้ค่า b^* เพิ่มขึ้นตามปริมาณของน้ำสับปะรด โดยมีค่า b^* เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำสับปะรดเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำสับปะรดที่ใช้ในการหมักครั้งนี้มีสีเหลืองตามธรรมชาติ โดยจากผลการทดลองในสูตรที่ 5 หมักโดยใช้น้ำสับปะรด 900 มิลลิลิตร และน้ำสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง 100 มิลลิลิตร (9:1) ให้ค่า b^* สูงที่สุดเท่ากับ 48.11 เมื่อผ่านกระบวนการหมักเป็นเวลา 15 วัน และเมื่อมีการผสมน้ำสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองลงไป พบว่า น้ำหมักมีค่า a^* เพิ่มขึ้น โดยค่า a^* เพิ่มขึ้นเมื่อผสมปริมาณน้ำสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองมากขึ้น เนื่องจากน้ำสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองที่สกัดได้ครั้งนี้มีสีเหลืองอมทองแดง จากผลการทดลองในสูตรที่ 1

Table 5. Impact of ratio of pineapple juice and extract of *Cordyceps militaris* on color during wine fermentation

Factor	Time (Day)	Ratio of pineapple juice and extract of <i>C. militaris</i>					
		Control	Formula 1 (1:9)	Formula 2 (3:7)	Formula 3 (5:5)	Formula 4 (7:3)	Formula 5 (9:1)
L^*	0	47.49 ^{aC} ± 0.14	26.68 ^{cC} ± 0.31	28.62 ^{IC} ± 0.29	33.67 ^{dC} ± 0.25	36.56 ^{cC} ± 0.28	37.80 ^{bC} ± 0.17
	15	88.53 ^{aB} ± 0.23	41.36 ^{IB} ± 0.13	52.51 ^{eB} ± 0.29	66.57 ^{dB} ± 0.36	83.65 ^{cB} ± 0.22	85.53 ^{bB} ± 0.22
	45	89.55 ^{aA} ± 0.37	77.67 ^{dA} ± 0.06	81.53 ^{cA} ± 0.30	83.47 ^{bA} ± 0.36	84.47 ^{bA} ± 0.15	89.42 ^{aA} ± 0.30
a^*	0	5.93 ^{IA} ± 0.06	12.98 ^{CA} ± 0.06	15.24 ^{BA} ± 0.04	13.64 ^{BA} ± 0.12	12.55 ^{DA} ± 0.02	9.01 ^{EA} ± 0.04
	15	0.26 ^{IB} ± 0.01	6.75 ^{AB} ± 0.03	2.58 ^{BB} ± 0.04	2.19 ^{CB} ± 0.03	2.01 ^{DB} ± 0.01	0.66 ^{EB} ± 0.01
	45	0.24 ^{IB} ± 0.03	6.70 ^{AB} ± 0.17	2.50 ^{BB} ± 0.09	2.09 ^{DB} ± 0.06	2.28 ^{CB} ± 0.05	0.64 ^{EB} ± 0.03
b^*	0	57.50 ^{abA} ± 0.16	54.78 ^{CA} ± 0.16	50.47 ^{dA} ± 0.25	54.44 ^{CA} ± 0.29	57.82 ^{aA} ± 0.11	57.17 ^{bA} ± 0.16
	15	39.06 ^{cB} ± 0.03	29.69 ^{IB} ± 0.13	38.11 ^{eB} ± 0.10	31.14 ^{eB} ± 0.07	42.20 ^{bB} ± 0.04	48.11 ^{aB} ± 0.09
	45	38.91 ^{cC} ± 0.05	29.10 ^{IB} ± 0.03	37.81 ^{dC} ± 0.21	30.87 ^{eC} ± 0.08	42.03 ^{bB} ± 0.04	48.07 ^{bB} ± 0.05

^{a,b} Means with the different letters in the same row are significant at $P \leq 0.05$. ^{A,B} Means with the different letters in the same column are significant at $P \leq 0.05$. Value represents from $n = 3$

หมักโดยใช้น้ำสับปะรด 100 มิลลิลิตร และน้ำสกัดเห็ดถึงเช้าสีทอง 900 มิลลิลิตร (1 : 9) ให้ค่า a^* สูงที่สุดเท่ากับ 6.75 เมื่อผ่านกระบวนการหมักเป็นเวลา 15 วัน สำหรับในชุดควบคุมมีค่า L^* มากที่สุดเนื่องจากเป็นน้ำสับปะรดที่ผสมกับน้ำกลั่น ทำให้สีของน้ำสับปะรดเจือจางมากกว่าสูตรอื่น ๆ การทำให้ไวน์ใสในการทดลองนี้ทำโดยการกรองโดยใช้สารไดอะตอมไมต์ (diatomite) หรือดินเบา เป็นสารช่วยกรอง ซึ่งพบว่า ทุกชุดการทดลองค่า b^* ลดลง แสดงว่าการกรองด้วยสาร diatomite สามารถกรองสารสีในตัวอยางไวน์ได้บางส่วน (Riansa-ngawong and Tipkanon, 2015) แต่ก็ยังคงมีสีเหลืองและสีแดงอยู่ นอกจากนี้การลดลงของค่า b^* ในช่วงระยะเวลาของการบ่มไวน์นั้นอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันกับแสง จึงทำให้ค่าสีเหลืองลดลงได้ (Riansa-ngawong and Tipkanon, 2015) นอกจากนี้ ความไม่คงที่ของค่าสีอาจเนื่องมาจากระยะเวลาการบ่มไวน์ที่น้อยเกินไป ไวน์ที่ผ่านการบ่มนานกว่า 6 เดือน สีและรสชาติมีความคงที่ (Chompookam *et al.*, 2014)

เห็ดถึงเช้าสีทองมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีสรรพคุณทางยาหลายชนิด สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญคือ สารอะดีโนซีน และสารคอร์ไดเซปิน (cordycepin

หรือ 3'-deoxyadenosine) ซึ่งพบครั้งแรกในเห็ดถึงเช้าสีทอง (Cunningham *et al.*, 1951) จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ 2 ชนิด ได้แก่ สารอะดีโนซีนและสารคอร์ไดเซปิน โดยทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 0 และ 15 ของการหมัก และหลังจากบ่ม 45 วัน พบว่า ทุกสูตรยกเว้นชุดควบคุม ปริมาณสารอะดีโนซีนและคอร์ไดเซปินมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อหมักเป็นเวลา 15 วัน โดยปริมาณสารอะดีโนซีนมีค่าอยู่ระหว่าง 349.08 - 546.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนสารคอร์ไดเซปินมีค่าอยู่ระหว่าง 260.20 - 372.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบ่มไวน์เป็นเวลา 45 วัน พบว่า ปริมาณสารทั้งสองในทุกสูตรมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการบ่ม โดยปริมาณสารอะดีโนซีนมีค่าอยู่ระหว่าง 354.47 - 535.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนสารคอร์ไดเซปินมีค่าอยู่ระหว่าง 287.41 - 369.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงใน Table 6 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณสารอะดีโนซีนและสารคอร์ไดเซปินมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นของการหมัก ซึ่งอาจเกิดจากกิจกรรมของยีสต์ที่นำสารประกอบที่เป็นโครงสร้างทางเคมีของสารทั้งสองชนิด เช่น น้ำตาลเพนโทส หรือสารประกอบที่เป็นเบสอะดีนีน (Zheng *et al.*, 2011)

Table 6. Impact of ratio of pineapple juice and extract of *Cordyceps militaris* on adenosine and cordycepin content during wine fermentation

Bioactive compound	Ratio of pineapple juice and extract of <i>C. militaris</i>					
	Control	Formula 1 (1 : 9)	Formula 2 (3 : 7)	Formula 3 (5 : 5)	Formula 4 (7 : 3)	Formula 5 (9 : 1)
Adenosine (mg/kg)						
0	0	946.55 ^{ab} ± 24.79	867.42 ^{ba} ± 27.04	810.09 ^{ca} ± 3.06	782.49 ^{cdA} ± 17.57	765.97 ^{dA} ± 20.86
15	0	546.89 ^{ab} ± 17.17	463.19 ^{bb} ± 27.99	440.10 ^{bb} ± 23.14	368.14 ^{cb} ± 21.27	349.08 ^{cb} ± 28.52
45	0	535.75 ^{ab} ± 20.95	460.74 ^{bb} ± 33.53	436.09 ^{bb} ± 22.00	379.56 ^{cb} ± 19.32	354.47 ^{cb} ± 27.71
Cordycepin (mg/kg)						
0	0	654.02 ^{ab} ± 21.80	623.41 ^{abA} ± 8.93	606.72 ^{bca} ± 7.05	578.04 ^{cdA} ± 17.39	570.66 ^{ca} ± 19.49
15	0	372.49 ^{ab} ± 22.07	360.40 ^{ab} ± 27.15	343.15 ^{ab} ± 26.31	269.48 ^{bb} ± 12.04	260.20 ^{bb} ± 24.33
45	0	369.68 ^{ab} ± 12.92	362.55 ^{ab} ± 16.60	333.07 ^{ab} ± 18.82	265.03 ^{bb} ± 10.04	287.41 ^{bb} ± 31.60

^{ab} Means with the different letters in the same row are significant at $P \leq 0.05$. ^{AB} Means with the different letters in the same column are significant at $P \leq 0.05$.

Value represents from n = 3.

มาใช้ในกระบวนการเมทาบอลิซึมในระดับเซลล์ ทำให้โครงสร้างของสารทั้งสองชนิดสูญเสียไป โดยสารอะดีโนซีนและสารคอร์ไดเซปินมีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกันคือ ประกอบด้วยเบสอะดีนีน (adenine) จับกับน้ำตาลที่มีคาร์บอนจำนวน 5 อะตอม แต่มีความแตกต่างกันตรงที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของสารคอร์ไดเซปินไม่มีออกซิเจนมาจับกับไฮโดรเจน (Tuli *et al.*, 2014) ซึ่งเหตุผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลของปริมาณสารอะดีโนซีนและสารคอร์ไดเซปินที่วิเคราะห์ได้หลังจากการบ่มเป็นเวลา 45 วัน พบว่ามีค่าคงที่ หลังจากที่ได้ทำลายจุลินทรีย์ปนเปื้อนและหยุดปฏิกิริยาการหมักของยีสต์ด้วยสารโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) เมื่อกระบวนการหมักครบ 15 วัน อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของยีสต์ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอะดีโนซีนและคอร์ไดเซปินในไวน์เพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

ผลการทดสอบประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบความชอบ ประเมินความชอบในคุณลักษณะด้านสี ความใส กลิ่น รสชาติและความชอบโดยรวมของไวน์เหลืองจากสับปะรดผสมสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองหลังจากบ่มแล้วเป็นเวลา 45 วัน พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสีของไวน์เหลืองจากสับปะรดผสมสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองในสูตรที่ 5 มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมี

คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 8.60 (อยู่ในเกณฑ์มากที่สุด) รองลงมามีคือสูตรที่ 3, 4, 1 และ 2 มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 8.27, 8.05, 7.93 และ 7.67 ซึ่งทั้งสี่สูตรนี้คะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์เดียวกันคือ ชอบมาก ในขณะที่ชุดควบคุมมีคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านสีน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 6.63 (อยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง) คะแนนความชอบด้านความใส พบว่า ทุกสูตรและชุดควบคุม มีคะแนนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ และอยู่ในเกณฑ์เดียวกันคือ ชอบปานกลาง โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.07 - 7.38 คะแนนความชอบด้านกลิ่นของไวน์เหลืองจากสับปะรดผสมสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง พบว่า ทุกสูตรและชุดควบคุม มีคะแนนเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ และอยู่ในเกณฑ์เดียวกันคือ ชอบปานกลาง โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.00 - 7.33 คะแนนความชอบด้านรสชาติของไวน์เหลืองจากสับปะรดผสมสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง พบว่า สูตรที่ 5 มีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 8.73 (อยู่ในเกณฑ์มากที่สุด) ในขณะที่สูตรอื่น ๆ และชุดควบคุมมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์เดียวกันคือ ชอบมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8.20 - 8.47 คะแนนความชอบโดยรวมของไวน์เหลืองจากสับปะรดผสมสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง พบว่า สูตรที่ 5 มีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 8.67 (อยู่ในเกณฑ์มากที่สุด) ในขณะที่สูตรอื่น ๆ และชุดควบคุมมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์เดียวกันคือ ชอบมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.87 - 8.20 ดังแสดงใน Table 7

Table 7. Sensory evaluation of pineapple juice and extract of *Cordyceps militaris* wine by quantitative descriptive analysis

Ratio of pineapple juice and extract of <i>C. militaris</i>	Sensory evaluation results				
	Color	Clarity	Odor	Flavor	Overall liking
Control	6.63 ^d ± 0.61	7.20 ^{ns} ± 0.80	7.33 ^{ns} ± 0.75	8.47 ^{ab} ± 0.72	8.20 ^b ± 0.76
Formula 1 (1:9)	7.93 ^{bc} ± 0.63	7.33 ^{ns} ± 0.75	7.03 ^{ns} ± 0.80	8.33 ^{ab} ± 0.75	8.03 ^b ± 0.80
Formula 2 (3:7)	7.67 ^c ± 0.66	7.27 ^{ns} ± 0.57	7.17 ^{ns} ± 0.69	8.20 ^b ± 0.83	7.87 ^b ± 1.02
Formula 3 (5:5)	8.27 ^b ± 0.58	7.31 ^{ns} ± 0.59	7.13 ^{ns} ± 0.43	8.43 ^{ab} ± 0.72	8.17 ^b ± 0.58
Formula 4 (7:3)	8.07 ^b ± 0.8	7.07 ^{ns} ± 0.85	7.00 ^{ns} ± 0.52	8.37 ^{ab} ± 0.71	8.13 ^b ± 0.84
Formula 5 (9:1)	8.60 ^a ± 0.49	7.22 ^{ns} ± 0.74	7.13 ^{ns} ± 0.62	8.73 ^a ± 0.44	8.67 ^a ± 0.47

^{a,b} Means with the different letters in the same column are significant at $P \leq 0.05$. Value represents from $n = 30$

สรุป

การหมักไวน์เหลืองจากน้ำสับปะรดและน้ำสั้กัดเห็ดถึงเชื้อสีทองในอัตราส่วน 9:1 ให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงที่สุดเมื่อหมักเป็นเวลา 15 วัน ในระหว่างการหมักปริมาณของสารอะดีโนซีนและสารคอร์โรเซปินในน้ำสั้กัดเห็ดถึงเชื้อสีทองมีค่าลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไวน์เหลือง พบว่า ผู้ทดสอบชอบผลิตภัณฑ์ไวน์ด้านสี ด้านรสชาติ และความชอบโดยรวมที่ได้จากการหมักน้ำสับปะรดและน้ำสั้กัดเห็ดถึงเชื้อสีทอง ในอัตราส่วน 9:1 มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามเนื่องจากไวน์ที่ผลิตได้ในการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อจัดให้เป็นไวน์ดื่มเพื่อบำรุงร่างกาย ดังนั้นควรมีการศึกษาลักษณะของการดื่มไวน์ดังกล่าวต่อผู้บริโภคในเชิงด้านสุขภาพเพิ่มเติมในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่สำหรับดำเนินงานวิจัย บริษัทถึงเชื้อสีทองคำ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อเห็ดถึงเชื้อสีทองสำหรับดำเนินงานวิจัย งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ปีงบประมาณ 2564

เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.

Boondaeng, A., S. Kasemsumran, K. Ngowsuwan, P. Vaithanomsat, W. Apiwatanapiwat, C. Trakunjae, P. Janchai, S. Jungtheerapanich and N. Niyomvong. 2022. Fermentation

condition and quality evaluation of pineapple fruit Wine. Fermentation 8(1): 11, doi: 10.3390/fermentation8010011.

Chaikulsareewath, A. and S. Singhapol. 2016. Wine production from pineapple mixed with carrot. Agricultural Science Journal 47(Suppl. 2): 165-169. (in Thai)

Chanprasartsuk, O., K. Pheanudomkitler and D. Toonwai. 2012. Pineapple wine fermentation with yeasts isolated from fruit as single and mixed starter cultures. Asian Journal of Food and Agro-Industry 5(2): 104-111.

Chanthai, S. and P. Danvirutai. 2004. Chemical analysis of locally produced wines. Journal of University Academic Service Center 12(1): 23-29. (in Thai)

Chompookam, J., V. Subnum and T. Jaruwatanaphan. 2014. Effect of component ratio on coffee pulp wine quality and consumer's satisfaction. Khon Kaen Agriculture Journal 42(Suppl. 3): 415-420. (in Thai)

Cunningham, K.G., S.A. Hutchinson, W. Manson and F.S. Spring. 1951. Cordycepin, a metabolic product from cultures of *Cordyceps militaris* (Linn.) Link. Part I. Isolation and characterization. Journal of the Chemical Society doi: 10.1039/JR9510002299.

Department of Agriculture Extension. 2021. Situation of pineapple production review. (Online). Available: [https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/holdland%2063\(3\).pdf](https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/holdland%2063(3).pdf) (May 15, 2021). (in Thai)

Huang, L., Q. Li, Y. Chen, X. Wang and X. Zho. 2009. Determination and analysis of cordycepin and adenosine in products of *Cordyceps* spp. African Journal of Microbiology Research 3(12): 957-961.

- Jin, Z.-M., J.-J. He, H.-Q. Bi, X.-Y. Cui and C.-Q. Duan. 2009. Phenolic compound profiles in berry skins from nine red wine grape cultivars in northwest China. *Molecules* 14(12): 4922-4935.
- Meilgaard, M.C., G.V. Civille and B.T. Carr. 2006. *Sensory Evaluation Techniques*, 4th ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Riansa-ngawong, W. and S. Tipkanon. 2015. Development of golden rice wine by rice husk. *Khon Kaen Agriculture Journal* 43(4): 613-622. (in Thai)
- Ribéreau-Gayon, P., Y. Glories, A. Maujean and D. Dubourdieu. 2006. *Handbook of Enology, Volumn 2: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Chichester. 441 p.
- Shashidhar, M.G., P. Giridhar, K.U. Sankar and B. Manohar. 2013. Bioactive principles from *Cordyceps sinensis*: A potent food supplement-A review. *Journal of Functional Foods* 5(3): 1013-1030.
- Tangtumniyom, K.1997. *All About Wine*. Duangkamol Printing, Bangkok. 248 p. (in Thai)
- Tapingkae, T. 2012. *Cordyceps Mushroom Cultivation*. Two Four Printing Co., Ltd., Chiang Mai. 93 p. (in Thai)
- Tuli, H.S., S.S. Sandhu and A.K. Sharma. 2014. Pharmacological and therapeutic potential of *Cordyceps* with special reference to Cordycepin. *3 Biotech* 4(1): 1-12.
- Wanapu, C., N. Boonkerd and L. Dithavibool. 2003. *Winemaker 1*. Somboon Printing Co., Ltd, Nakhon Ratchasima. 222 p. (in Thai)
- Weil, M.K. and A.P. Chen. 2011. PARP inhibitor treatment in ovarian and breast cancer. *Current Problems in Cancer* 35(1): 7-50.
- Zheng, P., Y. Xia, G. Xiao, C. Xiong, X. Hu, S. Zhang, H. Zheng, Y. Huang, Y. Zhou, S. Wang, G.-P. Zhao, X. Liu, R.J. St. Leger and C. Wang. 2011. Genome sequence of the insect pathogenic fungus *Cordyceps militaris*, a valued traditional Chinese medicine. *Genome Biology* 12: R116, doi: 10.1186/gb-2011-12-11-r116.

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร
ผู้ปลูกมันสำปะหลัง ตำบลโปแดง อำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น

Factors Related to Pesticide Use Behavior of Cassava Farmers
in Po Daeng Subdistrict, Chonnabot District, Khon Kaen Province

ปวันรัตน์ หวานนอก และ ปิยานนท์ หาพุทธา*
Pawanrat Wannok and Piyanon Haputta*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จ. ปทุมธานี 12120
Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Pathum Thani 12120, Thailand
*Corresponding author: Email: piyanonk@tu.ac.th

(Received: 24 June 2022; Accepted: 14 February 2023)

Abstract: Nowadays, chemical pesticides are generally applied in cultivation despite having negative impacts on human health and environment. To provide the recommendations towards more appropriate pesticides use behavior, this study aims at studying on farmers' chemical pesticides use behavior and analyzing the factors that related to the behavior. The samples of this study were 188 cassava farmers in Po Daeng subdistrict, Chonnabot district, Khon Kaen province. The relationship between considered factors and farmers' chemical pesticides use behavior was analyzed using chi-square test. The results showed that 50.53 percent of the cassava farmers have a moderate level of correct pesticides use behavior. The factors that are related to the appropriate pesticide use behavior of farmers at a significance level of 0.05 were age, income, type of insecticide, the knowledge level on the use of pesticides, and the knowledge level on the effects of pesticide use. The results of this study bring about the suggestions that are useful to the change of farmers' pesticides use towards more environmentally friendly cultivation and sustainable agricultural production.

Keywords: Pesticides use behavior, Cassava, Farmers

บทคัดย่อ: ปัจจุบันเกษตรกรมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชควบคู่ไปกับการทำเกษตร แม้การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ไม่เหมาะสมของเกษตรกร การศึกษานี้จึงมุ่งศึกษาพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร โดยทำการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังในตำบลปอแดง อำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น จำนวน 188 คน และทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชด้วยสถิติ chi-square test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 50.53 มีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการอยู่ในระดับปานกลาง และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร คือ อายุ รายได้ การไม่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทสารเคมีกำจัดแมลง ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และความรู้เกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการของเกษตรกร โดยผลการศึกษา นำมาซึ่งข้อเสนอแนะด้านการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เป็นประโยชน์ ซึ่งจะสามารถนำไปสู่การผลิตสินค้าเกษตรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: พฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช มันสำปะหลัง เกษตรกร

คำนำ

การเกษตรกรรมเป็นอาชีพที่อยู่คู่คนไทยมาอย่างช้านาน เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่เอื้ออำนวยต่อการทำเกษตร (Thongmeethip, 2021) ในอดีตเกษตรกรมุ่งเน้นทำการเกษตรเพื่อบริโภคภายในครัวเรือนเป็นหลัก แต่เมื่อประชากรในประเทศมีจำนวนเพิ่มขึ้น ประกอบกับการส่งเสริมการปลูกพืชเศรษฐกิจเพื่อการส่งออก ส่งผลให้ความต้องการผลผลิตทางเกษตรเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพื่อให้ผลผลิตทางเกษตรเพียงพอต่อความต้องการของประเทศจึงมีการนำเอาวิธีการและเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาช่วยในการทำเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช

ปัจจุบันเกษตรกรมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างแพร่หลาย จากข้อมูลปริมาณและมูลค่าการนำเข้าวัตถุดิบทางการเกษตร พบว่า ในระหว่างปี พ.ศ. 2557 - 2560 มีปริมาณการนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเฉลี่ย 238,245.75 ตัน แต่หลังจากที่คณะกรรมการวัตถุอันตราย กระทรวงอุตสาหกรรม มีมติห้ามใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช 3 ชนิดในปี พ.ศ. 2562 (BBC News, 2019) และมีการประกาศยกเลิกการใช้สารเคมีกำจัด

ศัตรูพืช ได้แก่ พาราควอตและคลอร์ไพริฟอส อย่างเป็นทางการในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย (ฉบับที่ 6) พ.ศ. 2563 (Royal Thai Government Gazette, 2020) ส่งผลให้ปริมาณการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในการเกษตรเฉลี่ยลดลง 133,563 ตัน ระหว่างปี พ.ศ. 2561 - 2563 อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชยังคงมีบทบาทสำคัญในภาคเกษตรกรรมของประเทศไทย โดยเกษตรกรนำสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเข้ามาใช้ประโยชน์เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิต ควบคุมและกำจัดศัตรูพืช รวมถึงเพื่อการเก็บถนอมรักษาเมล็ดพันธุ์สำหรับเพาะปลูก โดยประเภทสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่มีการนำเข้ามามากที่สุด คือ สารกำจัดวัชพืช (herbicide) รองลงมาคือ สารกำจัดแมลง (insecticide) และสารป้องกันและกำจัดโรคพืช (fungicide) ตามลำดับ (Office of Agricultural Economics, 2021)

การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในแต่ละครั้งเกษตรกรมักใช้ในปริมาณมากและหลากหลายชนิดรวมกัน ซึ่งในการใช้แต่ละครั้งนั้นจะส่งผลให้ศัตรูพืชเกิดการต้านฤทธิ์หรือดื้อต่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ทำให้ในครั้งต่อไปเกษตรกรต้องเพิ่มปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืช จนกระทั่งสารเคมีกำจัดศัตรูพืชนั้น

ไม่มีประสิทธิภาพ เกษตรกรจะเปลี่ยนไปใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่นที่มีฤทธิ์รุนแรงกว่าเดิม ส่งผลให้เกษตรกรมีความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชมากขึ้น เป็นอันตรายทั้งต่อสุขภาพของเกษตรกรผู้ใช้และผู้บริโภค (Ungsoongnern, 2015) โดยกรมควบคุมโรคได้รายงานสถานการณ์ปัญหาโรคและภัยสุขภาพจากการประกอบอาชีพ พบว่า ผู้ป่วยด้วยโรคพิษสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในปี พ.ศ. 2560 มีอัตราป่วย 16.81 ต่อประชากรแสนราย (Department of Disease Control, 2020) นอกจากนี้ การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพียงร้อยละ 0.1 จะถูกส่งไปยังศัตรูพืชเป้าหมาย ซึ่งหมายความว่าอีกร้อยละ 99.9 จะปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมจนกว่าสารเคมีจะมีการสลายตัวไปโดยธรรมชาติ ภายหลังการฉีด พ่น หยด หรือหว่าน สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะถูกดูดซึมเข้าไปในพืช อยู่บนต้นพืชในบางส่วน และที่เหลือจะปลิวไปในอากาศหรือรอเวลาที่น้ำจากแปลงเกษตรจะชะสารเคมีลงสู่ดินหรือแหล่งน้ำใกล้เคียง (BioThai, 2011)

ปัญหาผลกระทบของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่มีต่อเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นนั้นสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ไม่ถูกต้องของเกษตรกร มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างฟุ่มเฟือย ใช้มากเกินไปจนความจำเป็นซึ่งการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในปริมาณมากเกินไปเกี่ยวเนื่องมาจากการมีพื้นที่ในการทำการเกษตรมาก ในประเทศไทยมีพื้นที่ในการทำการเกษตรประเภทพืชไร่มากที่สุด โดยมันสำปะหลังเป็นพืชไร่และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย จากข้อมูลพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 - 2563 พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2563 มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังทั้งหมด 9,439,009 ไร่ ผลผลิตรวม 28,999,122 ตัน (Office of Agricultural Economics, 2021)

ตำบลปอแดง อำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีการปลูกมันสำปะหลังเป็นจำนวน

มาก เกษตรกรส่วนหนึ่งปลูกมันสำปะหลังเป็นอาชีพหลัก และได้มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพื่อกำจัดวัชพืชในการทำการเกษตร ซึ่งการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชดังกล่าวควบคุมไปกับการปลูกมันสำปะหลังนี้ย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อทั้งสิ่งแวดล้อมและปัญหาสุขภาพของประชาชน การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรรวมถึงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ประโยชน์ในการวางแผน จัดการ และสร้างแนวทางในการแก้ไขปรับเปลี่ยนพฤติกรรม การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรให้มีความเหมาะสม ให้เกิดความปลอดภัยต่อทั้งตัวเกษตรกร ผู้ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อมรวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาผลกระทบของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษครั้งนี้เป็นการศึกษาภาคตัดขวาง (Cross sectional study) โดยประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ตำบลปอแดง อำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น จำนวน 353 คน ซึ่งเป็นตัวแทนเกษตรกรหลังคาเรือนละ 1 คน (Chonnabot District Agricultural Extension Office, 2021) กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างด้วยสูตรของ ทาโรยามาเน่ (Yamane, 1967) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยยอมให้เกิดความความคลาดเคลื่อนในการสุ่มตัวอย่างได้ 5 เปอร์เซ็นต์ ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 188 ราย และทำการสุ่มตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาคือแบบสอบถาม (questionnaire) ซึ่งผู้ศึกษาได้ประยุกต์มาจากงานวิจัยของ Phadungsil (2013) และ Tonpoo (2017) โดยยึดหลักการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชอย่างปลอดภัยของกรมวิชาการเกษตร (Department of Agriculture, 2020) ทั้งนี้ แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล ประกอบด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้เฉลี่ย ของครอบครัว พื้นที่ในการปลูกมันสำปะหลัง ประสบการณ์ในการปลูกมันสำปะหลัง แหล่งที่มา หรือข่าวสารของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ประสบการณ์ ในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ประเภทของสารเคมี กำจัดศัตรูพืชที่เลือกใช้ และค่าใช้จ่ายสำหรับซื้อสาร-เคมีกำจัดศัตรูพืช รวมคำถามจำนวน 10 ข้อ ลักษณะ ของคำถามเป็นแบบตรวจสอบรายการและเติมข้อความ

- ส่วนที่ 2 แบบสอบถามความรู้เกี่ยวกับ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ประกอบด้วย 2 หมวด หมวดที่ 1 แบบสอบถามความรู้เกี่ยวกับการใช้ สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ประกอบด้วยคำถามจำนวน 14 ข้อ ลักษณะคำถามเป็นการวัดแบบมาตราส่วน ประมาณค่า (rating scale) 3 ระดับ คือ ใช่ ไม่ใช่ และ ไม่ทราบ โดยข้อ 1, 2, 4, 6, 9, 10, 13 ตอบใช่ ได้ 1 คะแนน ตอบไม่ใช่/ไม่ทราบ ได้ 0 คะแนน ข้อ 3, 5, 7, 8, 11, 12, 14 ตอบไม่ใช่ ได้ 1 คะแนน ตอบใช่/ไม่ทราบ ได้ 0 คะแนน เกณฑ์วัดระดับแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ได้คะแนน 0 - 7 คะแนน (ต่ำกว่าร้อยละ 60) ระดับปานกลาง ได้คะแนน 8 - 10 คะแนน (ร้อยละ 60 - 79.99) และระดับสูง ได้คะแนน 11 - 14 คะแนน (ร้อยละ 80 ขึ้นไป) หมวดที่ 2 แบบสอบถามความรู้ เกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ประกอบด้วยคำถามจำนวน 10 ข้อ ลักษณะของคำถาม เป็นการวัดแบบมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับ คือ ใช่ ไม่ใช่ และไม่ทราบ โดยข้อ 3, 4, 7, 8, 10 ตอบใช่ ได้ 1 คะแนน ตอบไม่ใช่/ไม่ทราบ ได้ 0 คะแนน ข้อ 1, 2, 5, 6, 9 ตอบไม่ใช่ ได้ 1 คะแนน ตอบใช่/ไม่ทราบ ได้ 0 คะแนน กำหนดเกณฑ์วัดระดับแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ได้คะแนน 0 - 5 คะแนน (ต่ำกว่าร้อยละ 60) ระดับปานกลาง ได้คะแนน 6-8 คะแนน (ร้อยละ 60 - 79.99) และระดับสูง ได้คะแนน 9 - 10 คะแนน (ร้อยละ 80 ขึ้นไป)

- ส่วนที่ 3 แบบสอบถามพฤติกรรมการใช้ สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ประกอบด้วยคำถามจำนวน 10 ข้อ ซึ่งเป็นข้อคำถามที่บ่งบอกถึงลักษณะของพฤติกรรม การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องและปลอดภัย

ได้แก่ (1) เกษตรกรอ่านรายละเอียดของฉลากสารเคมี กำจัดศัตรูพืชทุกครั้งก่อนซื้อ (2) เกษตรกรปฏิบัติตาม คำแนะนำที่กำหนดไว้ในฉลากอย่างเคร่งครัด (3) เกษตรกรผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในปริมาณที่ กำหนดไว้ในฉลากอย่างเคร่งครัด (4) ขณะใช้สารเคมี กำจัดศัตรูพืช เกษตรกรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันตัว (5) ขณะฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเกษตรกรยืนอยู่เหนือทิศลม (6) ขณะฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เกษตรกรไม่สูบบุหรี่หรือรับประทานอาหาร (7) หลัง การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เกษตรกรทำความสะอาด ร่างกายและอุปกรณ์ที่ใช้ในทันที (8) ไม่ทิ้งสารเคมี กำจัดศัตรูพืชที่เหลือลงในแหล่งน้ำและพื้นดิน (9) หลังการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ภาชนะและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชถูกแยกเก็บ (10) ภาชนะบรรจุสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ใช้หมดแล้ว ถูกฝังกลบหรือแยกทิ้งในขยะประเภทขยะอันตราย ลักษณะคำถามเป็นการวัดแบบมาตราส่วนประมาณ ค่า 3 ระดับ คือ ปฏิบัติทุกครั้ง (3 คะแนน) ปฏิบัติบางครั้ง (2 คะแนน) และไม่เคยปฏิบัติ (1 คะแนน) กำหนดเกณฑ์ วัดระดับแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ได้คะแนน 10 - 18 คะแนน (ต่ำกว่าร้อยละ 60) ระดับปานกลาง ได้คะแนน 19 - 25 คะแนน (ร้อยละ 60 - 79.99) และ ระดับสูง ได้คะแนน 26 - 30 คะแนน (ร้อยละ 80 ขึ้นไป)

การวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคล ความรู้ และ พฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ใช้ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัยต่าง ๆ กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ของเกษตรกรใช้การทดสอบไคสแควร์ (chi-square test) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงกลุ่ม 2 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรในระดับมาตรานามบัญญัติ (nominal scale) และมาตราเรียงอันดับ (Ordinal scale) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทาง สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยทางสังคมศาสตร์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย (จำนวนร้อยละ 72.87 ของตัวอย่างเกษตรกรทั้งหมด) มีอายุระหว่าง 51 - 60 ปี (จำนวนร้อยละ 47.87) มีระดับการศึกษาสูงสุดคือ ระดับประถมศึกษา (จำนวนร้อยละ 49.47) มีรายได้ของครัวเรือนอยู่ในช่วง 100,001 - 200,000 บาทต่อปี (จำนวน

ร้อยละ 55.85) เกษตรกรส่วนใหญ่จำนวนร้อยละ 81.91 ได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจากร้านค้าขายสารเคมีกำจัดศัตรูพืช และมีการเลือกใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทสารเคมีกำจัดวัชพืชมากที่สุด (จำนวนร้อยละ 99.47) มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเฉลี่ยคือ 13.10 ไร่ มีประสบการณ์ในการปลูกมันสำปะหลังเฉลี่ย 21.46 ปี และมีประสบการณ์ในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเฉลี่ย 12.03 ปี กลุ่มตัวอย่างใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเฉลี่ย 560.32 มิลลิลิตรต่อไร่ (Table 1)

Table 1. Socio-economic background and pesticide use of cassava farmers in Po Daeng subdistrict, Chonnabot district, Khon Kaen province n = 188

Socio-economic background and pesticide used	Number	Percent
Gender		
Male	137	72.87
Female	51	27.13
Age (year)		
≤ 30	4	2.12
31-40	11	5.85
41-50	47	25.00
> 50	126	67.02
Education level		
Illiteracy	5	2.66
Primary school	93	49.47
Junior high school	62	32.98
High school	22	11.70
Vocational education	4	2.13
Bachelor and higher	2	1.06
Income (Baht/year)		
≤ 100,000	41	21.81
100,001-200,000	105	55.85
200,001-300,000	36	19.15
> 300,000	6	3.19
Source of information or news of pesticides		
Neighbors	103	54.79
Pesticide stores	154	81.91
Government agencies	51	27.13
Television	26	13.83
Social media (e.g. Facebook, YouTube, etc.)	26	13.83
Types of pesticides		
Herbicides	187	99.47
Chemical insecticide	45	23.94
Cassava cultivation area (rai)	Mean = 13.10, S.D. = 7.28, Min = 3, Max = 50	
Cassava cultivation experience (year)	Mean = 21.46, S.D. = 9.98, Min = 1, Max = 49	
Pesticide use experience (year)	Mean = 12.03, S.D. = 5.99, Min = 1, Max = 31	
Amount of pesticide use (ml/rai)	Mean = 560.32, S.D. = 376.48, Min = 8, Max = 2,000	

ในด้านความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช พบว่า เกษตรกรร้อยละ 56.38 มีความรู้ในระดับปานกลาง และความรู้เกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช พบว่า เกษตรกรร้อยละ 63.83 มีความรู้ในระดับปานกลาง (Table 2) การศึกษาพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช พบว่า เกษตรกรร้อยละ 50.53 มีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชถูกต้องตามหลักวิชาการในระดับปานกลาง (Table 3) ซึ่งพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับปานกลางนี้ หมายถึง การที่เกษตรกรมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ถูกต้อง เหมาะสม และปลอดภัยต่อตัวเกษตรกรและสิ่งแวดล้อม แต่ยังมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชบางประการที่ไม่ถูกต้อง เหมาะสม และปลอดภัย ซึ่งควรได้รับการแก้ไข เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า พฤติกรรมที่เกษตรกรจำนวนเกินครึ่งหนึ่งเล็กน้อย (ร้อยละ 50 - 62) ปฏิบัติทุกครั้ง ได้แก่ อ่านรายละเอียดของฉลากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทุกครั้ง

ก่อนใช้สารเคมี (ร้อยละ 51.06) สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันตัวขณะใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช (ร้อยละ 53.19) และไม่สูบบุหรี่หรือรับประทานอาหารขณะฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (ร้อยละ 61.70) พฤติกรรมที่เกษตรกรจำนวนเกินครึ่งหนึ่งเล็กน้อย (ร้อยละ 50 - 58) ปฏิบัติบางครั้ง ได้แก่ ปฏิบัติตามคำแนะนำที่กำหนดไว้ในฉลากอย่างเคร่งครัด (ร้อยละ 52.13) ผสมสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในปริมาณที่กำหนดไว้ในฉลากอย่างเคร่งครัด (ร้อยละ 57.98) ยืนอยู่เหนือทิศลมขณะฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเกษตรกร (ร้อยละ 50.00) และทำความสะอาดร่างกายและอุปกรณ์ที่ใช้ในทันทีหลังการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช (ร้อยละ 51.60) และพฤติกรรมที่เกษตรกรประมาณหนึ่งในสาม (ร้อยละ 29-32) ไม่ปฏิบัติ ได้แก่ การเก็บภาชนะและอุปกรณ์ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ใช้แล้วในที่ปลอดภัย (ร้อยละ 28.72) และฝังกลบหรือแยกภาชนะบรรจุยาฆ่าแมลงเปล่าออกเป็นขยะอันตราย (ร้อยละ 32.45) (Table 4)

Table 2. Knowledge level on pesticides use and effect of pesticide of cassava farmers

n = 188

	Knowledge level	Number	Percent
Knowledge of the use of pesticides	Low (0-7)	31	16.49
	Moderate (8-10)	106	56.38
	High (11-14)	51	27.13
(Mean= 9.29, S.D. = 1.85, Min = 5, Max = 14)			
Knowledge of the effects of pesticide	Low (0-5)	31	16.49
	Moderate (6-8)	120	63.83
	High (9-10)	37	19.68
(Mean = 7.09, S.D. = 1.63, Min = 0, Max = 10)			

Table 3. The level of accuracy in the use of pesticide by cassava farmers

n = 188

Behavior level of pesticide use	Number	Percent
Low (10-18)	31	16.49
Moderate (19-25)	95	50.53
High (26-30)	62	32.98
(Mean= 23.57, S.D. = 4.08, Min = 15, Max = 30)		

Table 4. Pesticide use behavior of cassava farmers

Behavior of pesticide use	Practice		
	Always	Sometimes	Never
	Number (Percent)	Number (Percent)	Number (Percent)
1. Read the details of pesticide labels every time before purchasing	96 (51.06)	84 (44.68)	8 (4.26)
2. Strictly follow the instructions given on the labels	86 (45.74)	98 (52.13)	4 (2.13)
3. Mix pesticides in the amount specified in the label strictly	78 (41.49)	109 (57.98)	1 (0.53)
4. Wear personal protective equipment while using pesticides	100 (53.19)	88 (46.81)	0 (0.00)
5. Stand above the wind while spraying pesticides	87 (46.28)	94 (50.00)	7 (3.72)
6. Not smoke or eat while spraying pesticides	116 (61.70)	66 (35.11)	6 (3.19)
7. Clean bodies and equipment immediately after using pesticides	77 (40.96)	97 (51.60)	14 (7.45)
8. Not dispose of residual pesticides into water and soil	85 (45.21)	93 (49.47)	10 (5.32)
9. After using pesticides. Containers and equipment used for spraying pesticides are kept separately	59 (31.38)	75 (39.89)	54 (28.72)
10. Landfill or separate empty pesticide containers into hazardous waste	63 (33.51)	64 (34.04)	61 (32.45)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับระดับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ถูกต้องของเกษตรกร พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ($P < 0.05$) ได้แก่ อายุ รายได้ การไม่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช

ประเภทสารเคมีกำจัดแมลง และปัจจัยเกี่ยวกับความรู้ที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ($P < 0.05$) ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และความรู้เกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช (Table 5)

Table 5. Factors related to accuracy pesticide use behavior of cassava farmers

Factors	Behavior level of pesticide use			X ²	P-value
	Low	Moderate	High		
	Number (Percent)	Number (Percent)	Number (Percent)		
Personal factors					
Age (year)				36.713	0.000*
≤ 30	3 (1.59)	0 (0.00)	1 (0.53)		
31-40	5 (2.66)	2 (1.06)	4 (2.13)		
41-50	14 (7.45)	18 (9.57)	15 (7.98)		
> 50	9 (2.66)	75 (39.89)	42 (22.34)		
Income (Baht/year)				21.389	0.006*
≤ 100,000	13 (6.91)	19 (10.11)	9 (4.79)		
100,001 - 200,000	12 (6.38)	59 (31.38)	34 (18.09)		
200,001 - 300,000	3 (1.60)	16 (8.51)	17 (9.04)		
> 300,000	3 (1.59)	1 (0.53)	2 (1.06)		
Types of pesticides					
Chemical insecticide				10.496	0.005*
Use	3 (1.60)	32 (17.02)	10 (5.32)		
Don't use	28 (14.89)	63 (33.51)	52 (27.66)		
Knowledge factors					
Knowledge level of the use of pesticides				90.220	0.000*
Low	22 (11.70)	5 (2.66)	4 (2.13)		
Moderate	4 (2.13)	70 (37.23)	32 (17.02)		
High	5 (2.66)	20 (10.64)	26 (13.83)		
Knowledge level of the effects of pesticide				105.462	0.000*
Low	23 (12.23)	4 (2.13)	4 (2.13)		
Moderate	2 (1.06)	80 (42.55)	38 (20.21)		
High	6 (3.19)	11 (5.85)	20 (10.64)		

* Factors related to pesticide use behavior at a significance level of 0.05

จากการทดสอบไคสแควร์ พบว่า อายุมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ($P < 0.05$) โดยเกษตรกรที่มีอายุมากมีแนวโน้มที่จะใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้ถูกต้องตามหลักวิชาการมากกว่าเกษตรกรที่มี

อายุน้อยกว่า เนื่องมาจากกลุ่มตัวอย่างโดยส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรที่มีอายุมากกว่า 40 ปี และมีระดับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ถูกต้องอยู่ในระดับปานกลางเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นกลุ่มเกษตรกรที่มีประสบการณ์และระยะเวลาในการประกอบอาชีพ

มากกว่า จึงทำให้เป็นกลุ่มเกษตรกรที่มีความรู้ในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ดีกว่าเกษตรกรที่มีอายุน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sharafi *et al.* (2018) และ Prasarthinphimai *et al.* (2018) ที่ระบุว่า เกษตรกรที่มีอายุมากมักเป็นผู้มีประสบการณ์ในการประกอบอาชีพและการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชมากกว่าเกษตรกรที่มีอายุน้อย เกษตรกรที่มีอายุมากจึงมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ดีกว่า

รายได้มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ($P < 0.05$) คือเกษตรกรที่มีรายได้สูงมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ดีกว่าเกษตรกรที่มีรายได้ต่ำ เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรที่มีรายได้สูงมีความสามารถในการซื้ออุปกรณ์ในการป้องกันตนจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้อย่างครบครัน เช่น หน้ากากที่มีไส้กรองอากาศ ถุงมือ หมวก เป็นต้น รวมทั้งสามารถซื้ออุปกรณ์ที่มีมาตรฐานได้มากกว่าเกษตรกรที่มีรายได้ต่ำ ซึ่งการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอย่างครบครันและใช้อุปกรณ์ที่มีมาตรฐานเป็นพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรที่ถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Tonpoo (2017) ที่ระบุว่าเกษตรกรที่รายได้สูงเป็นกลุ่มเกษตรกรที่มีทุนในการศึกษาและซื้ออุปกรณ์ป้องกันในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช จึงส่งผลให้เกษตรกรที่มีรายได้สูงมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้ดีกว่าเกษตรกรที่มีรายได้ต่ำ

ประเภทของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช พบว่าการไม่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทสารเคมีกำจัดแมลง มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมที่ถูกต้องในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ($P < 0.05$) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรที่มีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับปานกลางและสูงส่วนใหญ่ไม่ใช้สารเคมีกำจัดแมลง จึงอธิบายได้ว่าเกษตรกรที่ไม่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทสารเคมีกำจัดแมลง มีพฤติกรรมในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องและปลอดภัยกว่าเกษตรกรที่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทสารเคมีกำจัดแมลง

ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและความรู้เกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเกษตรกรที่มีความรู้ในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชมากมีพฤติกรรมในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องมากกว่าเกษตรกรที่มีความรู้น้อยกว่า กล่าวคือ เกษตรกรยิ่งมีความรู้ยิ่งมีพฤติกรรมในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย เช่นเดียวกันเกษตรกรที่มีความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชมากตระหนักในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชมาก ส่งผลให้เกษตรกรมีพฤติกรรมในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องมากกว่าเกษตรกรที่ไม่มีความรู้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chupan (2011), Baothong and Inmuang (2013) และ Phadungsil (2013) ที่พบว่า ความรู้ในการใช้สารเคมีมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช รวมไปถึงการศึกษาของ Jallow *et al.* (2017) ระบุว่า การได้รับความรู้ด้านผลกระทบจากสารเคมีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมี และการศึกษาของ Berni *et al.* (2021) ที่ระบุว่าเกษตรกรที่รับรู้ถึงความรุนแรงของความเสี่ยงต่อสุขภาพจะมีพฤติกรรมในการใช้สารเคมีอย่างปลอดภัยขึ้นเช่นกัน

สรุป

การศึกษครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังในตำบลปอแดง อำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น โดยอาศัยการทดสอบ chi-square test จากการศึกษาค้นพบว่าเกษตรกรโดยส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ถูกต้องในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 50.53 เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรพบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรม

การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ได้แก่ รายได้ และการไม่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภท สารเคมีกำจัดแมลง โดยเกษตรกรที่มีอายุมากขึ้น มี รายได้สูง และไม่เลือกใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภท สารเคมีกำจัดแมลง มีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัด ศัตรูพืชที่ถูกต้องมากกว่าเกษตรกรที่มีลักษณะตรงข้าม หรือมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ถูกต้อง และปลอดภัยมากกว่า นอกจากนี้พบว่า ปัจจัยเกี่ยวกับ ความรู้ซึ่งประกอบไปด้วย ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมี กำจัดศัตรูพืช และความรู้เกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้ สารเคมีกำจัดศัตรูพืช มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการ ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร โดยเกษตรกร ที่มีความรู้เกี่ยวกับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชมีพฤติกรรมการ ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ดีกว่าเกษตรกรผู้ไม่มี ความรู้ ทั้งนี้ ผลการศึกษานี้เป็นประโยชน์ต่อการ ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของเกษตรกรข้างต้น ซึ่งจะสามารถ นำมาสู่การผลิตสินค้าเกษตรที่มีความเป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อมและยั่งยืนในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาข้างต้น จึงนำเสนอข้อเสนอนี้ สำหรับการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัด ศัตรูพืชของเกษตรกรให้มีความเหมาะสมมากขึ้น คือ หน่วยงานของรัฐหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการให้ ความรู้แก่เกษตรกร โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มเกษตรกร ผู้ที่มีอายุน้อย กลุ่มเกษตรกรรายย่อยหรือกลุ่มเกษตรกร ที่เริ่มต้นปลูกมันสำปะหลัง ทั้งนี้ ควรให้ความรู้ทั้งความรู้ เกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและความรู้เกี่ยวกับ ผลกระทบจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เพื่อให้ เกษตรกรมีความรู้ และเกิดความตระหนักถึงผลกระทบ ที่ตามมา นอกจากนี้ภาครัฐควรมีการสนับสนุน และ/หรือ ส่งเสริมให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงอุปกรณ์ในการป้องกัน ตนจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้อย่างทั่วถึง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกษตรกรที่มีรายได้น้อย เพื่อให้เกษตรกร สามารถใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้อย่างถูกต้องและ ปลอดภัยตามหลักวิชาการ และลดผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Baothong, S. and U. Inmuang. 2013. Behavior of pesticide use by tomato farmers in Ban Ladnapeang, Sawatee sub-district, Muang district, Khon Kaen province. Research and Development Journal, Loei Rajabhat University 8(25): 65-72. (in Thai)
- BBC News. 2019. Paraquat: The Hazardous Substances Committee issues a resolution to ban the use of 3 pesticides. (Online). Available: <https://www.bbc.com/thai/Thailand-50134830> (December 20, 2021). (in Thai)
- Berni, I., A. Menouni, I. Ghazi El, R-C. Duca, M-P. Kestemont, L. Godderis and S. Jaafari El. 2021. Understanding farmers' safety behavior regarding pesticide use in Morocco. Sustainable Production and Consumption 25: 471-483.
- BioThai. 2011. Pesticides and ecological degradation. (Online). Available: <https://biothai.net/node/8688> (December 20, 2021). (in Thai)
- Chonnabot District Agricultural Extension Office. 2021. Agricultural information. (Online). Available: <http://chonnabot.khonkaen.doe.go.th/> (January 13, 2022). (in Thai)
- Chupan, S. 2011. Behavior of pesticide use among cassava farmers, Bueng O sub-district, Kham Thale So district, Nakhon Ratchasima province. Journal of Nakhon Ratchasima College 5(1): 45-53. (in Thai)
- Department of Agriculture. 2020. Recommendations for the prevention and removal of insects and pests safety from research. (Online). Available: <https://www.doe.go.th/psco/> (December 4, 2022). (in Thai)

- Department of Disease Control. 2020. Surveillance operation situation report prevention and control of disease and health hazards for informal workers for the year 2020. (Online). Available: <https://ddc.moph.go.th/uploads/publish/1139520210507084901.pdf> (December 20, 2021). (in Thai)
- Jallow, M.F.A., D.G. Awadh, M.S. Albaho, V.Y. Devi and B.M. Thomas. 2017. Pesticide risk behaviors and factors influencing pesticide use among farmers in Kuwait. *Science of the Total Environment* 574: 490-498.
- Office of Agricultural Economics. 2021. Agricultural economic information. (Online). Available: <https://oaezone.oae.go.th/view/1/%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B9%81%E0%B8%A3%E0%B8%81/TH-TH> (December 20, 2021). (in Thai)
- Phadungsil, S. 2013. Farmers' knowledge and behaviours in the use of insecticides, Wang Sapparot sub-district, Khlung district, Chanthaburi province. Special Problem. Dissertation. Burapha University, Chon Buri. 81 p. (in Thai)
- Prasarthinphimai, W., P. Kiatsuranont and C. Wongsamun. 2018. Behaviors on pesticide application in chilli growing of famers in Kham Sakaesaeng district, Nakhon Ratchasima province. pp. 642-654. *In: Proceedings of the 14th Mahasarakham University Research Conference.* Mahasarakham University, Maha Sarakham. (in Thai)
- Royal Thai Government Gazette. 2020. The notification of Ministry of Industry: list of hazardous substances (No. 6) B.E. 2020. (Online). Available: <https://www.diw.go.th/webdiw/wp-content/uploads/2021/07/law-haz-moi-19052563.pdf> (December 20, 2021). (in Thai)
- Sharafi, K., M. Pirsaeheb, S. Maleki, H. Arfaeinia, K. Karimyan, M. Moradi and Y. Safari. 2018. Knowledge, attitude and practices of farmers about pesticide use, risks, and wastes; a cross-sectional study (Kermanshah, Iran). *Science of the Total Environment* 645: 509-517.
- Thongmeethip, K. 2021. Agricultural development in Thailand in terms of community development and quality of life. *PSDS Journal of Development Studies* 4(1): 132-162. (in Thai)
- Tonpoo, P. 2017. Factors related to the use of pesticide behavior that affecting to corn farmer's health at Sathan sub-district, Nanoi district, Nan province. M.P.H. Independent study. Thammasat University, Pathum Thani. 113 p. (in Thai)
- Ungsoongnern, S. 2015. Environmental impact from pesticide utilization. *EAU Heritage Journal Science and Technology* 9(1): 50-63. (in Thai)
- Yamane, T. 1967. *Statistics: An Introductory Analysis.* 2nd ed. Harper and Row, New York. 919 p.
-

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ (ต่อ)

1.7 กรณีอ้างอิงเป็นภาษาอื่น เช่น ภาษาไทย ต้องแปลเป็นภาษาอังกฤษ และเปลี่ยนปี พ.ศ. เป็น ปี ค.ศ.

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

1.9 กรณีมีผู้แต่งที่มีทั้งบุคคลและเป็นหน่วยงาน ให้ใส่ชื่อผู้แต่งตามด้วยหน่วยงาน และใช้ (.) คั่นระหว่างชื่อผู้แต่งและหน่วยงาน

2. การเขียนเอกสารอ้างอิง มีรูปแบบการเขียนมีดังนี้

วารสาร (Journals) อ้างอิงวารสารที่มีความทันสมัยและเป็นปัจจุบันมากที่สุด

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

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

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

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.

เรื่องย่อในคำรณหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องเขียน และมีบรรณานุกรม

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

TH: Krainiksh, 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. Rounchaiapikun 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. (ระบุออนไลน์). แหล่งข้อมูล: ที่อยู่ของไฟล์หรือเว็บไซต์ (URL) (เดือน วันปี, ปีที่ สืบค้นข้อมูล).

(ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลปีที่ตีพิมพ์ ให้ระบุเป็นปีที่เราสืบค้นข้อมูล)

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

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

การพิจารณาบทความ

1) ต้นฉบับที่ไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับของวารสารเกษตร จะไม่ได้รับการพิจารณา

2) ทุกบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารเกษตร ต้องผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่น้อยกว่า 3 ท่าน

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

4) หากบทความใดขาดการติดต่อกิน 6 เดือน กองบรรณาธิการจะดำเนินการลบบทความดังกล่าวออกจากระบบ ThaiJo 2.0 เพื่อให้การจัดทำวารสารเกษตรเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีคุณภาพ

5) ผู้เขียนไม่สามารถดำเนินการร้องขอเพิ่มชื่อผู้เขียนบทความหรือขอลบชื่อผู้เขียนบทความในวารสารเกษตรได้ หากมีความประสงค์ที่จะเปลี่ยนชื่อ First author หรือ Corresponding author สามารถดำเนินการได้ (เปลี่ยนชื่อภายในบทความเท่านั้น ไม่สามารถเพิ่มหรือเปลี่ยนเป็นชื่อผู้เขียนท่านอื่นนอกเหนือจากที่ปรากฏในบทความต้นฉบับได้) ทั้งนี้การร้องขอเปลี่ยนแปลงดังกล่าว สามารถดำเนินการได้ในระหว่างกระบวนการพิจารณาบทความเท่านั้น หากได้รับเอกสารตอบรับการตีพิมพ์เรียบร้อยแล้วไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

สำนักงานและการติดต่อสอบถาม (Office and Inquiries)

กองบรรณาธิการวารสารเกษตร

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

JOURNAL OF AGRICULTURE

A Technical Journal of Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

Volume 39, Issue 2 May - August 2023

Enzyme Production and Antifungal Activity of Antagonistic Bacterium <i>Streptomyces cavourensis</i> BUU135 Apinya Bunkhean, Witawat Jangiam, Yothin Teethaisong and Marut Tangwattanachuleeporn.....	117
Effects of Brown Seaweed Extract in Combination with Foliar Fertilizer on Growth of Chinese Kale Chanthanipa Maneema, Sutisa Chaikul and Yadrung Suwannarat.....	129
Effects of Bypass Protein-Fat Mixed Product Supplementation on Feed Intake, Nutrient Digestibility, Milk Production, and Milk Composition in Lactating Dairy Cows Duangruethai Sawanthong, Wuttikorn Srakaew, Sukunya Poolthajit, Athichat Thongnum and Chalong Wachirapakorn.....	141
Response of Rice to Silicon Fertilizer Application and Its Effects on Silicon Availability in Soil of Phra Nakhon Si Ayutthaya, Thailand Saychol Sukyankij, Sopida Sukyankij, Mutchima Phun-iam and Thanawan Panich-pat.....	155
A Comparison of Visible Spectroscopy and Atomic Absorption Spectroscopy Techniques to Determine Silicon Availability in Sugarcane Growing Clayey Soils Karuna Poomsong, Saowanuch Tawornpruek and Worachart Wisawapipat.....	169
Inspection of Spongy Tissue in 'Namdokmai Sithong' Mango Fruit by Near Infrared Spectroscopy Jutamas Sanguansub, Pimjai Seehanam, Chantalak Tiyyon, Somsak Kramchote and Phonkrit Maniwara.....	183
Effects of Electrical Conductivity of Nutrient Solution on Growth and Flower Quality of Tulip Grown in Hydroponics System Weerasak Wichapeng, Chaiartid Inkham, Kanokwan Panjama and Soraya Ruamrungsri.....	197
Effects of Pruning on Canopy Growth and Yield of 'Black Jack' Fig Koonthaleerat Pimpila, Prathan Rienglard and Siwadon Chaemchamrat.....	209
Yellow Wine Production from Pineapple Mixed with <i>Cordyceps militaris</i> Extract Natthapong Singpoonga and Rattana Yosmethakun.....	219
Factors Related to Pesticide Use Behavior of Cassava Farmers in Po Daeng Subdistrict, Chonnabot District, Khon Kaen Province Pawanrat Wannok and Piyanon Haputta.....	233