



วารสารเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURE

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 39 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566

ผลของการเสริมฮีสต์ที่มีวิตามินดีสูงต่อผลผลิตน้ำมัน องค์ประกอบน้ำมัน

และระดับไขมันในกระแสดเลือดในโคนม

ปฏิภาณ หน่อแก้ว อภิชาติ ศรีภัย สิริพร อ่ำสุข ประหยัด ทิราวาศ และ เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ.....245

ผลการเสริมไบโกระท่อมแห้งและฮีสต์ (*Candida tropicalis* KKU20) ในอาหารผสมสูตรรวมต่อปริมาณการกินได้

กระบวนการหมัก และประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของแพะ

Va Soklin ชนะดล สุภาพงษ์ และ ปิ่น จันจุฬา.....259

ผลของการเสริมสารสกัดกัญชงในน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคแชนซ์แข็งต่อ

คุณภาพของอสุจิหลังการละลาย

กรัณทาร์นี ในเวียง วาที คงบรรทัด พชรพร ตาดี ตะวัน จัตรสูงเนิน

วรรณลักษณ์ ถาวร พัทรี พรหมตัน และ วิวัฒน์ พัฒนาวาศ.....273

การประเมินความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกอ้อย

ที่มีเนื้อดินต่างกันโดยใช้โปรแกรม RETC

บรรณพิชญ์ สัมฤทธิ์ ณัฐพล จิตมาตย์ และ สุรเชษฐ์ อร่ามรักษ์.....285

อิทธิพลการรูก้าน้ำเค็มต่อคุณภาพน้ำในสวนมะม่วงน้ำดอกไม้มัสทอง

ทราย ห้วยหงษ์ทอง และ สุกัญญา แยมประชา.....299

การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์และการทำนายปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

จวรรณก ปรีสงค์ อารดา บุญอาจ นันทนัช ชาวพะเยาว์

ทราย ห้วยหงษ์ทอง และ สุกัญญา แยมประชา.....317

การใช้กรดจิบเบอเรลลิกเพื่อยืดช่อดอก ชักน้ำให้ไร่เมล็ด

และเพิ่มขนาดของผลองุ่นพันธุ์ไวท์มะละกา

สุวรรณา วันคำ เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์ และ ภาสันต์ ศารทูลทัต.....331

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการป้องกันโรคใบด่างมันสำปะหลังของเกษตรกร

ในอำเภอหนองบัวระเหว จังหวัดชัยภูมิ

ขวัญสุดา ชันบุตร อนันต์ พลธานี ไกรเลิศ ทวีกุล ยศ บริสุทธิ์ และ ไชยธีระ พันธุ์ภักดี.....341

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ของ

สมาชิกสหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่ฝางจำกัด อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่

วรางคณา ตีบไปฮา สุกิจ กันจันะ รุจ ศิริสัญลักษณ์ และพิมพ์ใจ สีหะนาม.....355

การศึกษาดีเอ็นเอบาร์โค้ดและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการเพื่อการจำแนกชนิด

ที่เชื่อถือได้ของแมลงวันหนอนชอนใบ (Diptera: Agromyzidae) ในประเทศไทย

ยุวรินทร์ บุญทบ สุนัดดา เชาวลิต ชัยพร บัวมาศ เกตุสุดา สนศิริ และ เฉลิมจุฑา สมปาก.....365

ISSN 0857-0841

TCI กลุ่มที่ 1

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

เรื่องที่ต้องพิมพ์

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

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) กำกับท้ายนามสกุลของผู้เขียน 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 หรือผู้ที่ช่วยเหลือในงานวิจัย 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 ลิ้มนิรันดร์กุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. จีรวรรณ กิจชัยเจริญ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รศ.ดร. ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. ต่อนภา ผุสดี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. ฉันทลักษณ์ ดิยายอน 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 Tiyyanon, 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 จันทราบัตย์
 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
 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
 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
 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 วารสารเกษตรฉบับนี้เป็นปีที่ 39 ฉบับที่ 3 ประจำเดือนกันยายน - ธันวาคม พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นฉบับสุดท้ายของปีที่ 39 โดยประกอบด้วยบทความทางวิชาการที่มีต้นฉบับเป็นภาษาไทยทั้งหมด จำนวน 10 เรื่อง ประกอบด้วย สาขาการผลิตและนวัตกรรมอาหาร 1 เรื่อง สาขาส่งเสริมและเผยแพร่การเกษตร 1 เรื่อง สาขาสัตวศาสตร์ 3 เรื่อง สาขาปฐพีศาสตร์ 3 เรื่อง สาขาพืชสวน 1 เรื่อง สาขาส่งเสริมและเผยแพร่การเกษตร 2 เรื่อง และสาขาวิชาภูมิวิทยา 1 เรื่อง

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

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐา โพธารมณ์

บรรณาธิการวารสารเกษตร

ผลของการเสริมยีสต์ที่มีวิตามินดีสูงต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม และระดับไขมันในกระแสเลือดในโคนม

Effects of Vitamin D Enriched Yeast Supplementation on Milk Yield, Milk Composition and Blood Lipid Profiles in Dairy Cows

ปฏิภาณ นน่อแก้ว¹ อภิชาติ ศรีภักย์¹ สิริพร อ่ำสุข²
ประหยัด ทิราวงศ์^{1,3} และ เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ^{1*}
Patipan Hnokaew¹, Apichart Seepai¹, Siriporn Umsook²,
Prayad Thirawong^{1,3} and Saowaluck Yammuan-Art^{1*}

¹ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

²กลุ่มงานสัตวแพทย์ อนุรักษ์และวิจัย ฝ่ายบริหารจัดการสัตว์ สำนักงานเชียงใหม่ไนท์ซาฟารี จ. เชียงใหม่ 50230

²Veterinary, Conservation and Research Section, Animal Management Division,

Chiang Mai Night Safari, Chiang Mai 50230, Thailand

³ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. นครปฐม 73140

³Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen,

Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140, Thailand

*Corresponding author: Email: saowaluck.y@cmu.ac.th

(Received: 18 January 2023; Accepted: 11 May 2023)

Abstract: The purpose of this study was to evaluate the effects of vitamin D enriched yeast supplementation on milk yield, milk composition and blood lipid profiles in dairy cows. Six crossbred Holstein Friesian cows, an average age of 3.0 ± 0.5 years old, milk production (11.5 ± 2.5 kg/day), body weight (BW; 420.0 ± 35.0 kg), and days in milk (DIM; 95.0 ± 15.0 day) were randomly allocated to treatments by using a 3 x 3 replicated Latin square design, including a control group (T1), 5 g live yeast supplementation (T2), and 5 g vitamin D enriched yeast supplementation (160,000 IU/head/day; T3). Milk production was recorded daily, milk samples were collected on days 14 and 35 of each trial period, and blood samples were collected on days 0, 7, 14, and 21 of each collection period for analyzing milk composition, vitamin D content in milk, and blood lipid profiles. The result showed that milk fat of T2 and T3 groups was significantly higher than T1 group (4.12 and 4.15 compared to 3.23 %, respectively; $P < 0.05$). The vitamin D enriched yeast supplementation group had significantly higher vitamin D content in milk than the T1 and T2 groups (646.84 compared to 523.82 and 552.31ng/L, respectively; $P < 0.05$). Moreover, the vitamin D enriched yeast supplementation group had 25-hydroxyvitamin D concentration in blood that were significantly higher than those from other comparable groups at days 7, 14 and 21 of the trial periods ($P < 0.05$). As a result, supplementing vitamin D enriched yeast with dairy cow diets could improve milk yields, milk fat and vitamin D content in milk.

Keywords: Vitamin D, vitamin D enriched yeast, blood lipid profiles, dairy cows

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คือ เพื่อประเมินผลของการเสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงต่อผลผลิตน้ำนม องค์ประกอบน้ำนม และระดับไขมันในกระแสเลือดในโคนม โดยใช้โคนมลูกผสมสายพันธุ์ Holstein Friesian อายุ 3.0 ± 0.5 ปี, น้ำหนักตัว 420.0 ± 35.0 กิโลกรัม ช่วงระยะการให้น้ำนม 95.0 ± 15.0 วัน ให้น้ำนม 11.5 ± 2.5 กิโลกรัมต่อวัน จำนวน 6 ตัว วางแผนการทดลองแบบ Latin square design 3×3 replicated แบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมยีสต์ (T1) กลุ่มที่เสริมยีสต์มีชีวิต 5 กรัมต่อตัวต่อวัน (T2) และกลุ่มที่เสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูง ($160,000$ IU/ตัว/วัน) 5 กรัมต่อตัวต่อวัน (T3) จัดบันทึกปริมาณผลผลิตน้ำนมทุกวัน เก็บตัวอย่างน้ำนมในวันที่ 21 ของแต่ละระยะการทดลอง และเก็บตัวอย่างเลือดในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 ของแต่ละระยะการทดลอง เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำนม วิตามินดีในน้ำนม และระดับไขมันในกระแสเลือด พบว่า กลุ่ม T2 และ T3 มีเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมสูงกว่ากลุ่ม T1 (4.12 และ 4.15 เทียบกับ 3.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ปริมาณวิตามินดีในน้ำนมของกลุ่ม T3 สูงกว่ากลุ่ม T1 และ T2 (646.84 เทียบกับ 523.82 และ 552.31 ng/L ตามลำดับ) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ กลุ่มที่เสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูง มีปริมาณ 25-hydroxyvitamin D ในกระแสเลือดในวันที่ 7, 14 และ 21 ของการทดลองสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังนั้น การใช้ยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงเสริมร่วมกับอาหารโคนมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตน้ำนม เปอร์เซ็นต์ไขมันและปริมาณวิตามินดีในน้ำนม

คำสำคัญ: วิตามินดี ยีสต์วิตามินดีสูง ระดับไขมันในกระแสเลือด โคนม

บทนำ

โคนมเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนช่วยย่อยอาหารจึงทำให้วิตามินดีในอาหารหรือวิตามินดีที่เสริมร่วมกับอาหารโดยตรงถูกย่อยสลายส่งผลให้โคนมสามารถใช้ประโยชน์วิตามินดีที่เสริมในอาหารได้น้อยลง (Schmid and Walther, 2013) ปริมาณวิตามินดีถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายในกระเพาะมากถึง 75 - 90 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการบ่ม 24 ชั่วโมงในหลอดทดลอง (Sommerfeldt *et al.* 1979) จึงจำเป็นที่จะต้องหาวิธีในการป้องกันให้วิตามินดีไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมน ยีสต์เป็นตัวเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากเจริญเติบโตเร็ว สามารถเลี้ยงโดยใช้กระบวนการอย่างง่าย ไม่เป็นเชื้อโรค ไม่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ที่ได้รับ (Polyorach and Wanapat, 2015) และที่สำคัญยีสต์ยังมีสารตั้งต้น (ergosterol) ในการผลิตวิตามินดีสูง (Shobayashi *et al.*, 2005) เมื่อกระตุ้นด้วยแสงยูวีบีก็สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินดีได้ (Schummer *et al.*,

2021) อีกทั้งยีสต์ยังสามารถดำรงอยู่ได้ภายในกระเพาะรูเมนโดยไม่ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย จึงเป็นการป้องกันไม่ให้วิตามินดีที่อยู่ภายในเซลล์ยีสต์ถูกย่อยสลายไปด้วย (Hnokaew and Yammuen-Art, 2021; Walker, 1998) นอกจากนี้ ยีสต์ยังสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดยยีสต์สามารถเข้าไปแย่งใช้กลูโคสและโพลิโกแซ็กคาไรด์สายเล็ก ๆ ที่ได้จากการย่อยของ amylolytic bacteria ที่เกาะติดอยู่กับเม็ดแป้งทำให้มีกลูโคสที่ใช้ประโยชน์โดยแบคทีเรียที่ทำให้เกิดความเป็นกรด (*Streptococcus bovis*) น้อยลง จึงช่วยรักษาระดับของความเป็นกรดต่างในกระเพาะรูเมน ยีสต์สามารถใช้ออกซิเจนที่เข้าสู่กระเพาะรูเมนโดยทางอาหารและน้ำที่กินเข้าไป เพื่อใช้ในการผลิตพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตของตัวยีสต์เอง ทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนซึ่งเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (Jouany, 2006; Polyorach and Wanapat, 2015; Sirisan, 2017) และช่วยเพิ่ม

การย่อยได้ของเยื่อใยในกระเพาะรูเมน ทำให้การผลิตปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids; VFAs) สูงขึ้นจึงเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในโคนม (Callaway and Martin, 1997; Dias *et al.*, 2018; Galip, 2006) การใช้ยีสต์เป็นแหล่งวิตามินดีสำหรับโคนมจึงมีประโยชน์ทั้งทางด้านการป้องกันการถูกย่อยสลายของวิตามินดีและปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายในกระเพาะรูเมนทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้มากขึ้น ส่งผลให้ได้ผลผลิตสุดท้ายมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้มีโภชนะหรือสารอาหารที่เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์น้ำมันจึงช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตน้ำมันอีกด้วย

จากการที่การเสริมยีสต์มีผลต่อการผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ในกระเพาะรูเมน ซึ่งเมื่อกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดจะมีผลไปยังกระบวนการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลที่ตับ (hepatic cholesterol synthesis) โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ hydroxy-methylglutaryl-coenzyme A reductase (HMG-CoA reductase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ทำหน้าที่สังเคราะห์คอเลสเตอรอลที่ตับ (El-Arab *et al.*, 2009; Kowalik *et al.*, 2012) จึงอาจส่งผลต่อ triglyceride, HDL cholesterol และ LDL cholesterol ในกระแสเลือดด้วยเนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณของ cholesterol ที่ตับสังเคราะห์ขึ้น (Dominiczak, 2009; Remaley *et al.*, 2005) อีกทั้งมีการศึกษาทางด้าน meta-analysis พบว่า การเสริมวิตามินดีมีผลต่อการลดระดับของ triglyceride, total cholesterol และ low-density lipoprotein cholesterol (LDL) ในกระแสเลือด (Dibaba, 2019; Li *et al.*, 2021) เนื่องจากวิตามินดีกระตุ้นการดูดซึมแคลเซียมที่บริเวณลำไส้และลดการดูดซึมกรดไขมัน จึงทำให้ปริมาณการดูดซึมไขมันบริเวณลำไส้ลดลง ส่งผลให้ปริมาณ cholesterol ในกระแสเลือดลดลง (Wang *et al.*, 2016) ไม่เพียงเท่านั้นเมื่อปริมาณแคลเซียมในกระแสเลือดสูงจะกระตุ้นการนำ cholesterol เข้าสู่ตับเพื่อผลิตกรดน้ำดี ส่งผลให้ปริมาณ cholesterol ในกระแสเลือดต่ำลง (Vaskonen *et al.*, 2002) นอกจากนี้วิตามินดียังไปยับยั้งการผลิต parathyroid hormone (PTH) โดยปกติเมื่อมี PTH สูง จะทำให้ lipolytic activity

ลดลง ส่งผลให้ปริมาณ triglyceride ในกระแสเลือดสูง (Song *et al.*, 2013; Zittermann *et al.*, 2009) ในทางตรงกันข้ามหากวิตามินดีไปยับยั้งการผลิต PTH ทำให้ lipolytic activity เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณ triglyceride ในกระแสเลือดลดลง อีกทางหนึ่ง PTH ยังควบคุมการปลดปล่อยแคลเซียมออกจากกระดูก หากมีปริมาณสูงทำให้เกิดการปลดปล่อยแคลเซียมออกจากกระดูกมาก เมื่อปริมาณแคลเซียมสูงจะมีผลต่อการนำ cholesterol เข้าสู่ตับ จึงทำให้ cholesterol ในกระแสเลือดลดลงอีกด้วย (Kim and Jeong, 2019) ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงต่อผลผลิตน้ำมัน องค์ประกอบน้ำมัน และระดับไขมันในกระแสดูดในโคนม สำหรับเป็นองค์ความรู้ใหม่และแนวทางในการใช้ยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงเป็นแหล่งวิตามินดีในอาหารโคนม

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูง

การดำเนินงานวิจัยในส่วนที่เกี่ยวกับการเตรียมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงได้รับการรับรองจากคณะกรรมการควบคุมความปลอดภัยทางชีวภาพมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (Chiang Mai University Institutional Biosafety Committee) ใบอนุญาตเลขที่ A0662002 ทำการเพาะเลี้ยงยีสต์ขนมปัง (*Saccharomyces cerevisiae*) โดยคัดเลือกจากยีสต์แห้งสำเร็จรูปที่ใช้ในการทำขนมปัง เพาะเลี้ยงยีสต์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ YM broth เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนนำเข้าตู้ฉายแสงยูวีบี (UV-B) ขนาด 80 x 120 เซนติเมตร ภายในตู้ฉายแสงมีหลอดไฟ UV-B จำนวน 8 หลอด (311 ± 5 nm, Philips TL 20W/01 RS SLV/25) ระยะห่างระหว่างยีสต์กับหลอดไฟ 15 เซนติเมตร ทำการฉายแสงเป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มปริมาณวิตามินดีในยีสต์ให้มีปริมาณสูงสุด (Hnokaew and Yammuen-Art, 2021) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างยีสต์ที่ไม่ได้รับการฉายแสงและได้รับการฉายแสงเพื่อวิเคราะห์ปริมาณวิตามินดีของยีสต์ โดยใช้วิธีของ AOAC (2000) และ Mattila *et al.* (1994) จากการวิเคราะห์ปริมาณ

วิตามินดีของยีสต์ พบว่า ยีสต์ที่ไม่ได้รับการฉายแสง มีปริมาณวิตามินดีอยู่ในช่วง 58.46 - 72.13 IU/5g DM และยีสต์ที่ได้รับการฉายแสงมีปริมาณวิตามินดีอยู่ในช่วง 158,695.38 - 161,213.72 IU/5g DM

การวางแผนการทดลองและสัตว์ทดลอง

การทดลองในครั้งนี้ได้ปฏิบัติตามข้อปฏิบัติในการใช้สัตว์ทดลองเพื่องานทางวิทยาศาสตร์อย่างเคร่งครัด โดยได้รับอนุญาตการให้ใช้สัตว์ทดลองจากคณะกรรมการดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ (สัตว์เกษตร) คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ใบอนุญาตเลขที่ AG01003/2565) ใช้โคนมสายพันธุ์ Holstein Friesian น้ำหนักตัว 420 ± 35.0 กิโลกรัม ช่วงระยะการให้น้ำนม 95 ± 15 วันให้น้ำนม 11.5 ± 2.5 กิโลกรัมต่อวัน จำนวน 6 ตัว วางแผนการทดลองแบบ Latin square design 3×3 replicated โดยแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมยีสต์ (T1) กลุ่มที่เสริมยีสต์มีชีวิต 5 กรัมต่อตัวต่อวัน (T2) และกลุ่มที่เสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูง (160,000 IU/ตัว/วัน) 5 กรัมต่อตัวต่อวัน (T3) ทำการทดลอง 3 ช่วงระยะการทดลอง (ระยะการทดลอง 35 วัน ประกอบด้วย ระยะปรับอาหาร 14 วันและระยะเก็บตัวอย่าง 21 วัน) โดยผสมยีสต์กับอาหารข้นสำเร็จรูปปริมาณ 200 กรัม แล้วปั่นเป็นก้อนกลมและบ้อนให้โคนมก่อนการรีดนมในตอนเช้า โคนมทดลองได้รับอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนม 11 กิโลกรัมต่อวัน (NRC, 2001) โดยให้กินหญ้าที่สดแบบเต็มที่ (*ad libitum*) และให้อาหารข้นแบบสำเร็จรูป (20% CP) วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 2 กิโลกรัมต่อตัว ก่อนการรีดนมในช่วงเช้าและเย็น (04.30 น. และ 15.30 น.) ภายในคอกมีน้ำสะอาดให้กินได้แบบไม่จำกัดและมีแร่ธาตุก้อน (ไม่มีส่วนผสมของวิตามินดี) สำหรับให้เลียตลอดระยะเวลาการทดลอง โคนมทั้งหมดเลี้ยงในโรงเรือนเปิด (open house) โดยแบ่งเป็น 3 คอก (คอกละ 2 ตัว) ผนังกันคอกสูง 2 เมตร มีรางอาหารอยู่ด้านหน้าพื้นที่การเลี้ยง 12 ตารางเมตรต่อตัว พื้นคอกเป็นคอนกรีต และมีการจัดการทำความสะอาดคอกวันละ 2 ครั้ง (05.00 น. และ 16.00 น.)

สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทุก ๆ 5 วัน ของแต่ละระยะการทดลอง อาหารที่เก็บแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณวัตถุแห้ง (dry matter) นำค่าที่ได้ไปปรับปริมาณการกินได้ของอาหารโดยคิดต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง และส่วนที่ 2 นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง (dry matter, DM) เถ้า (ash) ไขมัน (ether extract, EE) และโปรตีนหยาบ (crude protein, CP) ตามวิธีของ AOAC (2000) และวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อใย ได้แก่ ผนังเซลล์ (neutral-detergent fiber, NDF), ลิกโนเซลลูโลส (acid-detergent fiber, ADF) และ ADL ตามวิธีการของ Van Soest *et al.* (1991) ดังแสดงใน Table 1

การเก็บรวบรวมข้อมูล

บันทึกปริมาณการกินได้ (dry matter intake; DMI) และปริมาณการให้น้ำนมทุกวัน โคนมทั้งหมดได้รับการรีดนมวันละ 2 ครั้ง (04.45 น. และ 15.45 น.) เก็บตัวอย่างน้ำนมตอนเย็นวันที่ 20 และตอนเช้าวันที่ 21 ของแต่ละระยะการทดลอง โดยเก็บปริมาณ 100 ml ในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่าง ทำการแบ่งตัวอย่างนมแต่ละตัวอย่างที่ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันดีแล้ว ใส่ขวดบรรจุตัวอย่างนมขนาดเล็ก 30 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด ตัวอย่างนม 2 ขวด เก็บที่อุณหภูมิ 2 - 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ 2 ข้าง สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบ ในน้ำนม (Nitima *et al.*, 2003) และตัวอย่างนม 1 ขวด เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินดีในน้ำนม เก็บตัวอย่างเลือดในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 ของแต่ละระยะการทดลองจากหลอดเลือดบริเวณลำคอ (jugular vein) โดยใช้หลอดเก็บเลือดที่มีส่วนผสมของสาร lithium heparin ขนาด 4 ml ปั่นแยกพลาสมาด้วยแรงปั่นเหวี่ยง 1,500 g นาน 15 นาที จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจวัดค่าระดับไขมัน (blood lipid profiles: triglyceride, total cholesterol, high-density lipoprotein cholesterol (HDL), low-density lipoprotein cholesterol (LDL)) และปริมาณ 25-hydroxyvitamin D

Table 1. Chemical compositions and detergent fiber analysis of experimental diets

Item	Ingredient	
	Ruzi grass	Concentrate feed
Dry matter (%)	20.24	92.14
Chemical composition (%DM basis)		
Organic matter	90.08	90.49
Crude protein	7.42	20.55
Ether extract	3.63	5.32
NDF	72.12	43.11
ADF	43.11	19.78
ADL	8.66	7.78
Hemicellulose	29.09	32.40
Cellulose	34.44	11.99

DM = Dry matter; NDF = Neutral detergent fiber; ADF = Acid detergent fiber; ADL = Acid detergent lignin

การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณวิตามินดีในน้ำนม

วิเคราะห์องค์ประกอบในตัวอย่างน้ำนมโดยใช้เครื่องวิเคราะห์หัตถโนมิติ (MilkoScan FT 2, FOSS, Denmark) คำนวณปริมาณ 3.5 เปอร์เซนต์ fat-corrected milk (FCM) และ energy-corrected milk (ECM) ตามสมการของ NRC (2001):

$$3.5\% \text{ FCM} = 0.4324 \times \text{milk kg} + (16.218 \times \text{milk fat kg}) \quad (1)$$

$$\text{ECM} = [(0.3246 \times \text{milk yield}) + (12.86 \times \text{fat yield}) + (7.04 \times \text{protein yield})] \quad (2)$$

ตัวอย่างน้ำนมสำหรับวิเคราะห์ปริมาณวิตามินดีถูกสกัดโดยใช้วิธีของ Gong and Ho (1997) ตัวอย่างที่สกัดได้นำไปวัดปริมาณวิตามินดีด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยใช้ reverse phase C18 column (5µm, 4.6 x 250 mm, Restek, USA) ใช้ตัวอย่าง 50 µl ฉีดเข้าเครื่อง HPLC (1220 Infinity II LC, Agilent Technologies, USA) ตรวจวัดโดยใช้ UV detector ที่ความยาวคลื่น 264 nm และใช้ acetonitrile : methanol (75 : 25 v/v) เป็นสารนำพาที่อัตราการไหล 1.3 ml/min และคำนวณปริมาณวิตามินดีโดยการเทียบกับกราฟมาตรฐาน

การวิเคราะห์ระดับไขมันและ 25-hydroxyvitamin D ในกระแสเลือด

ตัวอย่างเลือดสำหรับวิเคราะห์ระดับไขมันในเลือดส่งตรวจ ณ ห้องปฏิบัติการโลหิตวิทยาและชีวเคมี โรงพยาบาลสัตว์เล็ก คณะสัตวแพทยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วิเคราะห์ triglyceride, total cholesterol, HDL และ LDL ด้วยชุดตรวจสำเร็จรูป (commercial kits) ร่วมกับเครื่อง automated clinical chemistry analyzer (Sysmex BX-3010, Sysmex Asia Pacific Pte Ltd., Japan) สำหรับปริมาณ 25-hydroxyvitamin D ในเลือดทำการสกัดตัวอย่างตามวิธีของ Olkowski *et al.* (2003) ตรวจวัดปริมาณ 25-hydroxyvitamin D โดยใช้ reverse phase C18 column (5µm, 4.6 x 150 mm, Restek, USA) ใช้ตัวอย่าง 50 µl ฉีดเข้าเครื่อง HPLC (1220 Infinity II LC, Agilent Technologies, USA) ตรวจวัดโดยใช้ UV detector ที่ความยาวคลื่น 264 nm และใช้ acetonitrile เป็นสารนำพาที่อัตราการไหล 2.0 ml/min และคำนวณปริมาณ 25-hydroxyvitamin D โดยการเทียบกับกราฟมาตรฐาน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ปริมาณการกินได้ ผลผลิตน้ำนม ค่าองค์ประกอบในน้ำนม วิตามินดีในน้ำนม ระดับไขมันในเลือด และปริมาณ 25-hydroxyvitamin ในเลือด วิเคราะห์ความแตกต่างกันทางสถิติด้วยโปรแกรม R (version 4.2.1) โดยใช้ general linear model (GLM) เพื่อพิจารณาอิทธิพลของการเสริมยีสต์ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสังเกตระหว่างกลุ่มทดลอง กำหนดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ และมีแนวโน้มที่เกิดความแตกต่างกันทางสถิติที่ $0.05 < P < 0.10$ และมีแบบแผนการวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

$$y_{ijk} = \mu + \rho_i + \beta_j + \tau_k + e_{ijk}$$

เมื่อ y_{ijk} = ค่าสังเกตของผลการวิเคราะห์ปริมาณการกินได้ ผลผลิตน้ำนม ค่าองค์ประกอบในน้ำนม วิตามินดีในน้ำนม ระดับไขมันในเลือด และปริมาณ 25-hydroxyvitamin ในเลือด

μ = ค่าเฉลี่ยรวมของค่าสังเกต

ρ_i = อิทธิพลของบล็อก (block) คือช่วงเวลาที่เกิดขึ้นตัวอย่างนม

β_j = อิทธิพลของหน่วยทดลอง คือ โคนม

τ_k = อิทธิพลของการเสริมยีสต์มีชีวิตและยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูง

e_{ijk} = random effect ของ τ_k

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการเสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงต่อปริมาณที่กินได้ ผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนมแสดงใน Table 2 พบว่า การเสริมยีสต์มีชีวิต (T2) และเสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูง (T3) ไม่มีผลต่อผลผลิตน้ำนมปรับไขมันที่ 3.5 เปอร์เซนต์ (3.5% FCM) ผลผลิตน้ำนมปรับพลังงาน (ECM) และปริมาณวัตถุแห้งของหญ้าที่กินได้ (DMI) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (T1) ($P > 0.05$) ในขณะที่ผลผลิตน้ำนมต่อวัน (milk yield) ของกลุ่ม T2 และ T3 มีแนวโน้มที่สูงกว่ากลุ่ม T1

(11.68 และ 11.73 เทียบกับ 10.58 kg/d; $P = 0.058$) อาจเนื่องจากยีสต์มีศักยภาพในการเป็นแหล่ง probiotics ในสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในกระเพาะรูเมนได้ ยีสต์สามารถช่วยปรับปรุงระบบนิเวศวิทยาและกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ทำให้ภายในกระเพาะรูเมนมีออกซิเจนต่ำลงด้วยการใช้ออกซิเจนที่ติดมากับอาหารและน้ำที่โคนมกิน ยีสต์ยังสามารถค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยการแย่งใช้กลูโคสและโพลิโกแซ็กคาไรด์ที่ใช้ประโยชน์โดยแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกที่ส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะรูเมนลดลง เช่น *Streptococcus bovis* เมื่อกระเพาะรูเมนอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) และค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในระดับที่จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเหมาะสมต่อการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนภายในกระเพาะรูเมน (Jouany, 2006; Polyorach and Wanapat, 2015; Sirisan, 2017) การเสริมยีสต์ยังช่วยกระตุ้นการผลิตกรดโพรพิโอนิก (Newbold et al., 1990; Plata et al., 1994) เนื่องจากยีสต์ไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดในกระเพาะรูเมนที่สามารถสังเคราะห์กรดโพรพิโอนิกได้โดยเส้นทาง succinate : propionate pathway (Wolin and Miller, 1997) ยีสต์มีส่วนประกอบของสารที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของ *Megasphaera elsdenii* ได้แก่ กรดอะมิโน วิตามิน แร่ธาตุ และกรดอินทรีย์ (Julien et al., 2010; Sirisan, 2017) นอกจากนี้การประเมินองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่สกัดจากยีสต์ *S. cerevisiae* ที่มีผลต่อการเจริญของ *M. elsdenii* พบว่า ยีสต์มีกรดอะมิโนไลซีน (lysine) และฮิสทีดิน (histidine) ค่อนข้างสูง ที่ช่วยกระตุ้นการเจริญของ *M. elsdenii* ได้มากกว่าร้อยละ 18.5 (Rossi et al., 2010) ซึ่ง *M. elsdenii* เป็นแบคทีเรียที่สามารถใช้กรดแลคติกได้ ถึงร้อยละ 60 ถึง 80 ของกรดแลคติกที่ผลิตขึ้นในกระเพาะรูเมนของโคนม (Counotte et al., 1981) *M. elsdenii* เป็นจุลินทรีย์ชนิดหลักที่สำคัญต่อการผลิตกรดโพรพิโอนิกในกระเพาะรูเมนโดยอาศัยกรดแลคติกผ่านวิถีอะครีเรท (acrylate pathway) เปลี่ยนเป็นกรด-

โพพพิโอนิก (Asanuma and Hino, 2001) การเสริมยีสต์จึงสามารถช่วยเพิ่มกรดโพพพิโอนิกในกระเพาะรูเมนได้ (Oeztuerk, 2009) เมื่อมีปริมาณกรดโพพพิโอนิกเพิ่มขึ้นจึงมีผลต่อเนื้อทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น (Acharya and Dhital, 2018) สอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ของ Moallem *et al.* (2009) รายงานว่าการเสริมยีสต์ที่ระดับ 6 กรัมต่อวัน ในโคนมทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น 1.5 kg จาก 36.3 เป็น 37.8 kg/d นอกจากนี้ Nocek and Kautz (2006) รายงานว่า กลุ่มทดลองที่เสริมยีสต์ร่วมกับอาหารโคนมมีปริมาณผลผลิตน้ำนมสูงกว่ากลุ่มควบคุม (39.2 เทียบกับ 39.9 kg/d) และ Alshaikh *et al.* (2002) รายงานว่าการเสริมยีสต์ที่ 15 กรัมต่อวันในโคนมสามารถช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำนมได้สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมยีสต์

สำหรับองค์ประกอบน้ำนม พบว่า กลุ่มที่มีการเสริมยีสต์มีชีวิต (T2) และเสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูง (T3) มีไขมันน้ำนมสูงกว่ากลุ่มควบคุม (T1) (4.12 และ 4.15 เทียบกับ 3.23 เปอร์เซ็นต์) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากยีสต์เป็นแหล่งของ growth factor ประเภท probiotic ของจุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใยภายในกระเพาะรูเมน ทำให้ภายในกระเพาะรูเมนมีออกซิเจนต่ำลง และสามารถรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะรูเมน กระเพาะรูเมนอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic) และค่าความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลางซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเยื่อใยที่ไม่ใช้ออกซิเจนภายในกระเพาะรูเมน (Alshaikh *et al.*, 2002; Fonty and Chaucheyras-Durand, 2006; Jouany, 2006; Mathieu

Table 2. Dry matter intake, milk yields and milk composition of dairy cows fed with or without vitamin D enriched yeast after 21 days of trial periods

Item	Treatments ¹			SEM	P-value
	T1	T2	T3		
DMI, kg/d					
Ruzi grass	8.85	9.35	9.46	0.70	0.268
Concentrate	3.69	3.69	3.69	-	-
Yield, kg/d					
Milk	10.58	11.68	11.73	1.14	0.058
3.5% FCM	10.33	10.56	10.49	0.28	0.517
ECM	10.50	10.80	10.65	0.36	0.623
Milk composition, %					
Fat	3.23 ^a	4.12 ^b	4.15 ^b	0.44	0.043
Protein	3.09	3.25	3.01	0.45	0.217
Lactose	4.34	4.08	4.19	0.23	0.135
Total solid	11.84	12.05	12.00	0.85	0.426
SNF	8.30	8.22	8.14	0.76	0.701
Total vitamin D, ng/L	532.82 ^a	552.31 ^a	646.84 ^b	8.61	0.019

¹ T1 = control group; T2 = live yeast supplementation group; T3 = vitamin D enriched yeast supplementation group. ^{a,b} Means along row among treatments with different superscripts are significantly different at $P < 0.05$. DMI = dry matter intake; FCM = fat-corrected milk; ECM = energy-corrected milk; SNF = solid not fat

et al., 1996; Polyorach and Wanapat, 2015) การศึกษาก่อนหน้านี้ยังรายงานว่ายีสต์ยังสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของ *Fibrobacter succinogenes* S85 และลดระยะพักของ *Ruminococcus albus* 7, *Ruminococcus flavefaciens* FD1 และ *Butyrivibrio fibrisolvens* D1 ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ย่อยเยื่อใยภายในกระเพาะรูเมนได้อีกด้วย (Girard and Dawson, 1995) เมื่อจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยเยื่อใยสามารถเจริญเติบโตได้ดีและมีสภาพที่เหมาะสมก็สามารถเพิ่มการย่อย CF, NDF, and ADF ภายในกระเพาะรูเมน (Callaway and Martin, 1997; Plata et al., 1994) การเสริมยีสต์จึงสามารถผลิตกรดไขมันระเหยง่ายสูงขึ้นตามการย่อยเยื่อใยที่สูงขึ้น (Galip, 2006) ส่วนใหญ่กรดไขมันระเหยง่ายที่ผลิตได้จากการย่อยเยื่อใยจะมีสัดส่วนของกรดอะซิติกในปริมาณที่สูง เมื่อกรดอะซิติกสูงขึ้นจึงส่งผลต่อเนื้อให้ไขมันน้ำนมสูงขึ้น (Dijkstra, 1994) ดังนั้นเมื่อการย่อยได้ของเยื่อใยสูงขึ้นปริมาณของกรดอะซิติกก็เพิ่มสูงขึ้นตาม ส่งผลต่อเนื้อให้ปริมาณไขมันน้ำนมเพิ่มขึ้น (Moallem et al., 2009; Sirisan et al., 2013) สอดคล้องกับ Kalmus et al. (2009) ที่รายงานว่าการเสริมยีสต์ที่ระดับ 10 กรัมต่อวัน ในโคนมมีปริมาณผลผลิตของไขมันในน้ำนมสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม และ Yalcin et al. (2011) ที่เสริมยีสต์มีชีวิตที่ระดับ 1.3×10^8 โคโลนีต่อกรัม พบว่า มีแนวโน้มในการช่วยเพิ่มไขมันน้ำนมในกลุ่มที่ได้รับการเสริมยีสต์มีชีวิต ทั้งนี้การที่ปริมาณไขมันน้ำนมของกลุ่มที่มีการเสริมยีสต์เพิ่มขึ้นอาจเนื่องจากการเสริมยีสต์มีแนวโน้มทำให้ปริมาณการกินได้ของหญ้าสูงขึ้น ซึ่งการย่อยสลายหญ้าในกระเพาะรูเมนทำให้เกิดกรดอะซิติกในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้นและสามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไขมันนมส่งผลให้ปริมาณไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น (Sirisan et al., 2013) ในขณะที่โปรตีนน้ำนม (milk protein) แลกโตสน้ำนม (milk lactose) ของแข็งรวมในน้ำนม (total solid) และของแข็งที่ไม่รวมไขมันในน้ำนม (solid not fat) ของทุกกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ในส่วนของปริมาณวิตามินดีในน้ำนม พบว่ากลุ่มที่เสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูง (T3) มีปริมาณวิตามินดีในน้ำนมสูงกว่ากลุ่มควบคุม (T1) และกลุ่มที่เสริมยีสต์มีชีวิต (T2) (646.84 เทียบกับ 523.82 และ 552.31ng/L) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยปริมาณวิตามินดีในกลุ่มควบคุม (T1) และกลุ่มที่เสริมยีสต์มีชีวิต (T2) มาจากการที่โคนมสามารถสังเคราะห์วิตามินดีเองได้จากการสัมผัสแสงแดด ขณะที่กลุ่มเสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดี 160,000 IU/วัน มีปริมาณวิตามินดีในน้ำนมสูงกว่าเนื่องจากยีสต์เป็นตัวช่วยป้องกันการถูกย่อยสลายของวิตามินดีจากจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน ยีสต์สามารถดำรงอยู่ได้ในสภาพที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน และสามารถใช้ glucose และ oligosaccharide สายเล็ก ๆ ที่ได้จากการย่อยของ amylolytic bacteria ภายในกระเพาะรูเมน รวมถึงสามารถใช้ออกซิเจนจากอาหารและน้ำที่โคกิน เพื่อใช้ในการผลิตพลังงานเพื่อการเจริญโต (Jouany, 2006; Mathieu et al., 1996) แม้ว่าในบางครั้งภายในกระเพาะรูเมนมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำ (pH 3-4) ยีสต์ก็ยังสามารถดำรงชีวิตรอดอยู่ได้ (Walker, 1998) จึงทำให้วิตามินดีที่อยู่ภายในเซลล์ยีสต์ไม่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในกระเพาะรูเมน สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่มีการเสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงในหลอดทดลอง พบว่า กลุ่มที่เสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงมีการสูญเสียวิตามินดีต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมวิตามินดี 2 และวิตามินดี 3 (4.74 เทียบกับ 50.07 และ 54.64 เปอร์เซ็นต์) หลังจากการบ่ม 24 ชั่วโมง (Hnokaew and Yammuen-Art, 2021) ทำให้โคนมสามารถดูดซึมวิตามินดีไปใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น สังเกตได้จากปริมาณของ 25-hydroxyvitamin D ภายในเลือดหลังจากเสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม (Table 3) จึงทำให้กลุ่มที่ได้รับการเสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงมีปริมาณวิตามินดีในน้ำนมสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม

Table 3. The plasma lipid profile and 25-hydroxyvitamin D content of dairy cows fed with or without vitamin D enriched yeast at different periods

Item	Treatments ¹			SEM	P-value
	T1	T2	T3		
Day 0					
25-hydroxyvitamin D (ng/ml)	86.04	85.30	85.91	2.06	0.832
Triglyceride (mg/dL)	11.23	10.56	12.08	1.31	0.561
Total cholesterol (mg/dL)	122.40	125.18	123.84	2.65	0.712
HDL cholesterol (mg/dL)	69.42	70.41	71.13	0.92	0.492
LDL cholesterol (mg/dL)	36.90	38.04	37.15	1.43	0.614
Day 7					
25-hydroxyvitamin D (ng/ml)	86.73 ^a	87.85 ^a	96.77 ^b	2.33	<0.001
Triglyceride (mg/dL)	12.41	12.73	11.21	1.46	0.824
Total cholesterol (mg/dL)	125.40	124.76	125.44	2.19	0.651
HDL cholesterol (mg/dL)	70.81	72.03	71.59	0.90	0.518
LDL cholesterol (mg/dL)	35.77	36.43	37.11	1.30	0.563
Day 14					
25-hydroxyvitamin D (ng/ml)	86.64 ^a	87.48 ^a	97.54 ^b	2.56	<0.001
Triglyceride (mg/dL)	12.07	12.44	13.12	1.28	0.655
Total cholesterol (mg/dL)	126.34	128.02	127.18	2.72	0.811
HDL cholesterol (mg/dL)	67.58	65.93	69.41	1.06	0.396
LDL cholesterol (mg/dL)	36.09	37.89	35.92	1.51	0.477
Day 21					
25-hydroxyvitamin D (ng/ml)	87.88 ^a	86.98 ^a	96.61 ^b	1.98	<0.001
Triglyceride (mg/dL)	13.01	11.95	12.58	1.44	0.401
Total cholesterol (mg/dL)	127.40	124.98	126.34	2.50	0.315
HDL cholesterol (mg/dL)	71.09	70.86	71.39	1.18	0.374
LDL cholesterol (mg/dL)	38.13	37.84	39.22	1.43	0.630

¹ T1 = control group; T2 = live yeast supplementation group; T3 = vitamin D enriched yeast supplementation group. LDL = low-density lipoprotein; HDL = high-density lipoprotein. SEM = standard error of the mean

^{a,b} Means along row among treatments with different superscripts are significantly different at $P < 0.05$

Table 3 แสดงผลการเสริมยีสต์ที่มีวิตามินดีสูงต่อระดับไขมันและ 25-hydroxyvitamin D ในกระแสเลือด พบว่า การเสริมยีสต์มีซีวิต (T2) และยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูง (T3) ไม่มีผลต่อระดับ triglyceride, total cholesterol, HDL cholesterol และ LDL cholesterol ภายในเลือดในวันที่ 7, 14 และ 21 ของการทดลอง ($P > 0.05$) สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ของ Yalcin *et al.* (2011) ที่รายงานว่า การเสริมยีสต์ในอาหารโคนมเฉลี่ย 15 กรัมต่อตัวต่อวัน ไม่ทำให้ระดับ triglyceride และ total cholesterol ภายในกระแสเลือดมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับ Nasiri *et al.* (2022) ที่ได้ทำการศึกษากการเสริมยีสต์มีซีวิตในโคนม 6 กรัมต่อตัวต่อวัน พบว่า ระดับ triglyceride และ total cholesterol ของกลุ่มที่เสริมยีสต์มีซีวิตมีค่าไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริม รวมถึง Kowalik *et al.* (2012) ที่ได้รายงานว่า การเสริมยีสต์มีซีวิตให้กับโคนมที่ 10 กรัมต่อตัวต่อวัน ไม่มีผลต่อระดับของ HDL cholesterol และ LDL cholesterol ในกระแสเลือด และ Bakr *et al.* (2015) ที่รายงานว่า หลังจากการเสริมยีสต์มีซีวิตที่ระดับ 0.5 กรัมต่อตัว ระดับของ HDL cholesterol และ LDL cholesterol ในกระแสเลือดไม่แตกต่างกันในวันที่ 7, 15 และ 30 ของการทดลอง สำหรับปริมาณ 25-hydroxyvitamin D ในกระแสเลือดของกลุ่ม T3 มีค่าสูงกว่ากลุ่ม T1 และ T2 ในวันที่ 7, 14 และ 21 ของการทดลอง (96.77 เทียบกับ 86.73 และ 87.85, 97.54 เทียบกับ 86.64 และ 87.98, 96.61 เทียบกับ 87.88 และ 86.98 ตามลำดับ) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากกลุ่ม T3 เสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีเฉลี่ย 160,000 IU/วัน อีกทั้งยีสต์ยังป้องกันการถูกย่อยสลายของวิตามินดีโดยจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนที่ได้อธิบายไว้ข้างบนแล้วด้วยนั้น ทำให้โคนมได้รับประโยชน์จากการเสริมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงสามารถเพิ่มปริมาณของ 25-hydroxyvitamin D ในกระแสเลือดให้สูงกว่ากลุ่ม T1 และ T2 ซึ่ง 25-hydroxyvitamin D เป็นเมแทบอไลต์ของวิตามินดีถือเป็นตัวบ่งชี้สถานะของวิตามินดีในกระแสเลือด โดยในโคนมวิตามินดีมีความสำคัญต่อกระบวนการดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัส

และกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันทำให้โคนมมีสุขภาพที่ดี (Eder and Grundmann, 2022; Ismailova and White, 2021)

สรุป

การเสริมยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงในโคนมมีผลทำให้ไขมันน้ำนม ปริมาณวิตามินดีในน้ำนม และปริมาณ 25-hydroxyvitamin D ในกระแสเลือดสูงกว่ากลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มจะเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำนมให้สูงขึ้นได้อีกด้วย โดยไม่มีผลต่อระดับของไขมันในกระแสเลือด การใช้ยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการเสริมร่วมกับอาหารโคนม เพื่อช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตของโคนมทั้งในส่วนของการส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน การปรับปรุงองค์ประกอบน้ำนม และเพิ่มปริมาณวิตามินดีในน้ำนม อย่างไรก็ตามการศึกษาต่อไปทางคณะผู้วิจัยจะทำการศึกษากการเสริมที่ระดับแตกต่างกันเพื่อประเมินระดับที่เหมาะสมเนื่องจากอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการผลิตยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงมีต้นทุนค่อนข้างสูง หากสามารถให้ได้ในระดับต่ำกว่า 160,000 IU/day หรือสามารถประยุกต์ใช้กับวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร เช่น กากมันสำปะหลังหมัก ก็จะสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตยีสต์ที่มีปริมาณวิตามินดีสูงสำหรับใช้ในฟาร์มได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการทุนพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) และบริษัทเชียงใหม่เฟรชมิลค์ จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์และฟาร์มโคนมภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ตัวอย่างจากการทดลองและอำนวยความสะดวกให้ใช้โคนมทดลอง ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Acharya, B. and B. Dhital. 2018. The effect of live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on milk yield of crossbred dairy cattle at Krumaltar, Nepal. *Journal of the Institute of Agriculture and Animal Science* 35(1): 217-224.
- Alshaikh, M.A., M.Y. Alsiadi, S.M. Zahran, H.H. Mogawer and T.A. Aalshowime. 2002. Effect of feeding yeast culture from different sources on the performance of lactating Holstein cows in Saudi Arabia. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 15(3): 352-356.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg.
- Asanuma, N. and T. Hino. 2001. Molecular characterization, enzyme properties and transcriptional regulation of phosphoenolpyruvate carboxykinase and pyruvate kinase in a ruminal bacterium, *Selenomonas ruminantium*. *Microbiology* 147(3): 681-690.
- Bakr, H.A., M.S. Hassan, N.D. Giadinis, N. Panousis, D.O. Andric, M.M.A. El-Tawab and J. Bojkovski. 2015. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on health and performance of dairy cows during transition and early lactation period. *Biotechnology in Animal Husbandry* 31(3): 349-364.
- Callaway, E.S. and S.A. Martin. 1997. Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on ruminal bacteria that utilize lactate and digest cellulose. *Journal of Dairy Science* 80(9): 2035-2044.
- Counotte, G.H.M., R.A. Prins, R.H.A.M. Janssen and M.J.A. deBie. 1981. Role of *Megasphaera elsdenii* in the fermentation of DL-[2-¹³C] lactate in the rumen of dairy cattle. *Applied and Environmental Microbiology* 42(4): 649-655.
- Dias, A.L.G., J.A. Freitas, B. Micai, R.A. Azevedo, L.F. Greco and J.E.P. Santos. 2018. Effect of supplemental yeast culture and dietary starch content on rumen fermentation and digestion in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101(1): 201-221.
- Dibaba, D.T. 2019. Effect of vitamin D supplementation on serum lipid profiles: A systematic review and meta-analysis. *Nutrition Reviews* 77(12): 890-902.
- Dijkstra, J. 1994. Production and absorption of volatile fatty acids in the rumen. *Livestock Production Science* 39(1): 61-69.
- Dominiczak, M.H. 2009. Lipoproteins and lipid transport. pp. 219-236. In: J.W. Baynes and M.H. Dominiczak (eds.). *Medical Biochemistry*. 3rd ed. Mosby Elsevier, Philadelphia.
- Eder, K. and S.M. Grundmann. 2022. Vitamin D in dairy cows: metabolism, status and functions in the immune system. *Archives of Animal Nutrition* 76(1): 1-33.
- El-Arab, A.E., S. Foheid and M. El-Said. 2009. Effect of yeast and botanical β -glucan on serum lipid profile and cecum probiotic bacteria using rats fed cholesterol diet. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 59(2): 169-174.
- Fonty, G. and F. Chaucheyras-Durand. 2006. Effects and modes of action of live yeasts in the rumen. *Biologia* 61(6): 741-750.

- Galip, N. 2006. Effect of supplemental yeast culture and sodium bicarbonate on ruminal fermentation and blood variables in rams. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 90(11-12): 446-452.
- Girard, I.D. and K.A. Dawson. 1995. Stimulation of ruminal bacteria by different fractions derived from cultures of *Saccharomyces cerevisiae* strain 1026. *Journal of Animal Science* 73(Suppl. 1): 264-274.
- Gong, B.Y. and J.W. Ho. 1997. Simultaneous separation and detection of ten common fat-soluble vitamins in milk. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies* 20(15): 2389-2397.
- Hnokaew, P. and S. Yammuen-Art. 2021. Vitamin D₂ production and *in vitro* ruminal degradation of UV-B irradiated vitamin D enriched yeast in Thai native cattle. *Veterinary Integrative Sciences* 19(3): 537-556.
- Ismailova, A. and J.H. White. 2021. Vitamin D, infections and immunity. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders* 29: 1-13.
- Jouany, J.P. 2006. Optimizing rumen functions in the close-up transition period and early lactation to drive dry matter intake and energy balance in cows. *Animal Reproduction Science* 96(3-4): 250-264.
- Julien, C., J.P. Marden, F. Enjalbert, C. Bayourthe and A. Troegeler-Maynadier. 2010. Live yeast as a possible modulator of polyunsaturated fatty acid biohydrogenation in the rumen. *Revue de Medecine Veterinaire* 161(8-9): 391-400.
- Kalmus, P., T. Orro, A. Waldmann, R. Lindjarv and K. Kask. 2009. Effect of yeast culture on milk production and metabolic and reproductive performance of early lactation dairy cows. *Acta Veterinaria Scandinavica* 51(1): 32, doi: 10.1186/1751-0147-51-32.
- Kim, M.R. and S.J. Jeong. 2019. Relationship between vitamin D level and lipid profile in non-obese children. *Metabolites* 9(7): 125, doi: 10.3390/metabo9070125.
- Kowalik, B., J. Skomial, J.I. Pajak, M.Taciak, M.P. Majewska and G. Betzecki. 2012. Population of ciliates, rumen fermentation indicators and biochemical parameters of blood serum in heifers fed diets supplemented with yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) preparation. *Animal Science Papers and Reports* 30(4): 329-338.
- Li, Y., C.H. Tong, C.M. Rowland, J. Radcliff, L.A. Bare, M.J. McPhaul and J.J. Devlin. 2021. Association of changes in lipid levels with changes in vitamin D levels in a real-world setting. *Scientific Reports* 11(1): 21536, doi: 10.1038/s41598-021-01064-1.
- Mathieu, F., J.P. Jouany, J. Senaud, J. Bohatier, G. Bertin and F. Mercier. 1996. The effect of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae* on fermentations in the rumen of faunated and defaunated sheep; protozoal and probiotic interactions. *Reproduction Nutrition Development* 36(3): 271-287.
- Mattila, P.H., V.I. Piironen, E.J. Uusi-Rauva and P.E. Koivistoinen. 1994. Vitamin D contents in edible mushrooms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42(11): 2449-2453.
- Moallem, U., H. Lehrer, L. Livshitz, M. Zachut and S. Yakoby. 2009. The effects of live yeast supplementation to dairy cows during the hot season on production, feed efficiency, and digestibility. *Journal of Dairy Science* 92(1): 343-351.

- Nasiri, K., A.A. Sadeghi, A. Nikkhah and M. Chamani. 2022. Effect of hydrolyzed and live yeast supplementation during transition period on colostrum and milk composition and blood biochemical parameters in dairy cows. *Journal of Livestock Science and Technologies* 10(2): 47-54.
- Newbold, C.J., R.J. Wallace and N. McKain. 1990. Effects of the ionophore tetronasin on nitrogen metabolism by ruminal microorganisms *in vitro*. *Journal of Animal Science* 68(4): 1103-1109.
- Nitima, C.L.S., P. Vijchullata, P. Chirattanyuth, S. Surapat, S. Sintuwani and A. Engkagul. 2003. Influence of preservatives on raw milk components and somatic cell counts analysis. pp. 127-135. *In: Proceedings of 41st Kasetsart University Annual Conference: Animals, Veterinary Medicine, Bangkok.* (in Thai)
- Nocek, J.E. and W.P. Kautz. 2006. Direct-fed microbial supplementation on ruminal digestion, health, and performance of pre- and postpartum dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 89(1): 260-266.
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* 7th (ed.). National Academies Press, Washington, DC. 381 p.
- Oeztuerk, H. 2009. Effects of live and autoclaved yeast cultures on ruminal fermentation *in vitro*. *Journal of Animal and Feed Sciences* 18(1): 142-150.
- Olkowski, A.A., G. Aranda-Osorio and J. McKinnon. 2003. Rapid HPLC method for measurement of vitamin D3 and 25(OH)D3 in blood plasma. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* 73(1): 15-18.
- Plata, F., G.D. Mendoza, J.R. Barcena-Gama and S. Gonzalez. 1994. Effect of a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on neutral detergent fiber digestion in steers fed oat straw based diets. *Animal Feed Science and Technology* 49(3-4): 203-210.
- Polyorach, S. and M. Wanapat. 2015. Potential of yeast as probiotics in ruminants. *Khon Kaen Agriculture Journal* 43(Suppl. 1): 191-206. (in Thai)
- Remaley, A.T., J.R. McNamara and G.R. Warnick. 2005. Lipids and lipoproteins. pp. 282-313. *In: M.L. Bishop, E.P. Fody and L. Schoeff (eds.). Clinical Chemistry Principles, Procedures, Correlations.* 5th ed. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore.
- Rossi, F., A.D. Luccia, D. Vincenti and P.S. Cocconcelli. 2004. Effects of peptidic fractions from *Saccharomyces cerevisiae* culture on growth and metabolism of the ruminal bacteria *Megasphaera elsdenii*. *Animal Research* 53(1): 177-186.
- Schmid, A. and B. Walther. 2013. Natural vitamin D content in animal products. *Advances in Nutrition* 4(4): 453-462.
- Schummer, T., G.I. Stangl and W. Watjen. 2021. Safety assessment of vitamin D and its photo-isomers in UV-irradiated baker's yeast. *Foods* 10(12): 3142, doi: 10.3390/foods10123142.
- Shobayashi, M., S.I. Mitsueda, M. Ago, T. Fujii, K. Iwashita and H. Iefuji. 2005. Effects of culture conditions on ergosterol biosynthesis by *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 69(12): 2381-2388.

- Sirisan, V., V. Pattarajinda, K. Vichitphan and R. Leelsing. 2013. Effect of yeast strains on dairy cattle performance . Khon Kaen Agriculture Journal 41(Suppl. 1): 105-109. (in Thai)
- Sirisan, V. 2017. Strategies to reduce ruminal acidosis by using microorganism. Chiang Mai Veterinary Journal 15(1): 51-62. (in Thai)
- Sommerfeldt, J.L., R.L. Horst, T.E. Littledike and D.C. Beitz. 1979. *In vitro* degradation of cholecalciferol in rumen fluid. Journal of Dairy Science 62(1): 192-193.
- Song, S.J., S. Si, J. Liu, X. Chen, L. Zhou, G. Jia, G. Liu, Y. Niu, J. Wu, W. Zhang and J. Zhang. 2013. Vitamin D status in Chinese pregnant women and their newborns in Beijing and their relationships to birth size. Public Health Nutrition 16(4): 687-692.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Method for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74: 3583-3597.
- Vaskonen, T., E. Mervaala, V. Sumuvuori, T. Seppanen-Laakso and H. Karppanen. 2002. Effects of calcium and plant sterols on serum lipids in obese Zucker rats on a low-fat diet. British Journal of Nutrition 87(3): 239-245.
- Walker, G.M. 1998. Yeast Physiology and Biotechnology. John Wiley and Sons, Chichester. 350 p.
- Wang, Y., S. Si, J. Liu, Z. Wang, H. Jia, K. Feng, L. Sun and S.J. Song. 2016. The associations of serum lipids with vitamin D status. PLoS One 11(10): e0165157, doi: 10.1371/journal.pone.0165157.
- Wolin, M.J., T.L. Miller and C.S. Stewart. 1997. Microbe-microbe interactions. pp.467-491. *In*: P.N. Hobson and C.S. Stewart (eds.). The Rumen Microbial Ecosystem. Blackie Academic & Professional, London.
- Yalcin, S., S. Yalcin, P. Can, A.O. Gurdal, C. Bagci and O. Eltan. 2011. The nutritive value of live yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) and its effect on milk yield, milk composition and some blood parameters of dairy cows. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 24(10): 1377-1385.
- Zittermann, A., S. Frisch, H.K. Berthold, C. Gotting, J. Kuhn, K. Kleesiek, P. Stehle, H. Koertke and R. Koerfer. 2009. Vitamin D supplementation enhances the beneficial effects of weight loss on cardiovascular disease risk markers. American Journal of Clinical Nutrition 89(5): 1321-1327.

ผลของการเสริมใบกระท่อมแห้งและยีสต์ (*Candida tropicalis* KKU20)
ในอาหารผสมสูตรรวมต่อ ปริมาณการกินได้ กระบวนการหมัก
และประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของแพะ

Effects of Supplementation of Dried Kratom Leaves (*Mitragyna speciosa* (Korth.)
Havil.) and Yeast (*Candida tropicalis* KKU20) in Total Mixed Ration on Feed
Intake, Rumen Fermentation, and Microbial Population in Goats

Va Soklin¹ ชนะดล สุภาพงษ์² และ ปิ่น จันจุฬา^{1*}
Va Soklin¹, Chanadol Supapong² and Pin Chanjula^{1*}

¹สาขาวิชานวัตกรรมการผลิตสัตว์และการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ. สงขลา 90112

¹Animal Production Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources,
Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla 90112, Thailand

²สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ. นครศรีธรรมราช 80240

²Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Nakhon Si Thammarat 80240, Thailand

*Corresponding author: Email: porlim12345@gmail.com; pin.c@psu.ac.th

(Received: 16 February 2023; Accepted: 27 April 2023)

Abstract: This experiment aimed to study the effects of 2 levels of yeast (*Candida tropicalis* KKU20) (Y; 0 and 0.5 g/kg DM) and dried kratom leaves (DKTL; 0 and 4.44 g/kg DM) in total mixed ration (TMR) on dry matter intake, rumen fermentation and microbial population in rumen of goats. Four goats with an average live weight 20 ± 0.13 kg were randomly assigned according to a 2x2 factorial arrangement in a 4x4 Latin square design to receive four diets, $T_1 = 0Y-0DKTL$, $T_2 = 0Y-4.44DKTL$, $T_3 = 0.5Y-0DKTL$, and $T_4 = 0.5Y-4.44DKTL$, respectively. TMR was given on an *ad libitum* basis. Based on this experiment, goats receiving 0 g/kg DM Y had lower total DMI (kg/d) (g/d and g/kg BW^{0.75}) and propionate (C_3) ($P < 0.05$) than other treatments, except for molar proportion of acetate (C_2), and the ratio of $C_2 + C_4 : C_3$ were higher among treatments and goats receiving 4.44 g/kg DM DKTL had lower protozoa populations ($P < 0.01$) than those receiving 0 g/kg DM Y. Whilst NH_3-N and rumen microorganism populations (bacterial and fungal zoospores) were similar among treatment ($P > 0.05$). Based on this study, 0.5 g/kg DM Y incorporated with 4.44 g/kg DM DKTL in total mixed ration could be efficiently utilized for goats.

Keywords: Yeast, *Candida tropicalis* KKU20, dried kratom leaves, rumen fermentation, goats

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมยีสต์ (*Candida tropicalis* KKU20) (yeast, Y) 2 ระดับ (0 และ 0.5 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง และใบกระท่อมแห้ง (dried Kratom leaves, DKTL) 2 ระดับ (0 และ 4.44 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง) ในอาหารผสมสูตรรวมต่อปริมาณการกินได้ กระบวนการหมัก และประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของแพะ โดยศึกษาในแพะน้ำหนักเฉลี่ย 20 ± 0.13 กิโลกรัม โดยจัดทรีทเมนต์แบบ 2×2 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบ 4×4 จัตุรัสละติน แพะได้รับอาหารผสมสูตรรวมที่มีระดับยีสต์ และใบกระท่อมแห้ง ในสูตรอาหาร 4 สูตร $T_1 = 0Y - 0DKTL$, $T_2 = 0Y - 4.44DKTL$, $T_3 = 0.5Y - 0DKTL$ และ $T_4 = 0.5Y - 4.44DKTL$ ตามลำดับ ให้แพะได้รับอาหารผสมสูตรรวมอย่างเต็มที่ ผลการทดลองพบว่า แพะกลุ่มที่ไม่เสริมยีสต์ (0 g/kg DM Y) มีค่าปริมาณการกินได้ทั้งหมด (g/d and g/kg BW^{0.75}) และความเข้มข้นของกรดโพรพิโอเนตต่ำกว่ากลุ่มอื่น ($P < 0.05$) ยกเว้นมีค่าอะซิเตทและสัดส่วนของอะซิเตทและรวมกับบิวทีเรตต่อโพรพิโอเนตสูงกว่า ($P < 0.05$) และกลุ่มที่เสริม 4.44 g/kg DM ใบกระท่อมแห้ง มีค่าประชากรโปรโตซัวต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมใบกระท่อมแห้ง ($P < 0.01$) ขณะที่ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และประชากรจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย และประชากรสปอร์เชื้อรา) มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า สามารถใช้ยีสต์ (0.5 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง) ร่วมกับใบกระท่อมแห้ง (4.44 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง) ในอาหารผสมสูตรรวมของแพะ

คำสำคัญ: ยีสต์ *Candida tropicalis* KKU20 ใบกระท่อมแห้ง กระบวนการหมักในรูเมน แพะ

บทนำ

ปัจจุบันนักวิจัยด้านโภชนาการอาหารสัตว์ได้ให้ความสนใจศึกษาสารเสริมจากสมุนไพรเพิ่มมากขึ้น โดยมีการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ (Kholif *et al.*, 2017) เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ยาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ เนื่องจากมีการตรวจพบสารตกค้างจากสารปฏิชีวนะ และสารต้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เช่น nitrofurazone, nitrofuratoin, chloramphenicol, dimetridazole, rinidazole, furaltadone และ furazolidone ในเนื้อไก่ และสุกร เป็นต้น ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ยาปฏิชีวนะในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ การศึกษาหาสารทางเลือกจากธรรมชาติเพื่อใช้ทดแทนยาปฏิชีวนะ เช่น สมุนไพร (herbs) และสารสกัดจากพืช (plant extracts) จึงมีความจำเป็น และได้รับความสนใจอย่างมาก (Khan *et al.*, 2016) ปัจจุบันมีการศึกษาสารเสริมจากสมุนไพรธรรมชาติหลายชนิด เช่น บัวบก ฟ้าทะลายโจร ขมิ้นชัน ตะไคร้ และใบพลู เป็นต้น พบว่า สารเสริมจากสมุนไพรสามารถช่วยเพิ่มน้ำหนัก ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหาร และมีคุณภาพเนื้อดีขึ้น (Yusuf *et al.*, 2014) นอกจากนี้ ยังสามารถช่วยลดประชากร

โปรโตซัวในกระเพาะรูเมนได้อีกด้วย (Cherdthong *et al.*, 2019)

กระท่อม (*Kratom*, *Mitragyna speciosa* (Korth.) Havil. เป็นพืชพื้นเมืองของประเทศไทย และมาเลเซีย (Babu *et al.*, 2008) มีลักษณะเป็นไม้ยืนต้นใบเดี่ยวสีเขียว ก้านใบมีทั้งชนิดที่เป็นสีแดง หรือสีเขียว ดอกมีสีขาวอมเหลืองออกเป็นช่อตุ้มกลม สามารถเติบโตได้ดีในที่ชุ่มชื้น ความชื้นสูง ดินอุดมสมบูรณ์ และแดดปานกลาง กระท่อมเป็นพืชที่มีสารสกัดจากกลุ่มแอลคาลอยด์ประกอบอยู่ภายในใบมากที่สุด (Bunsupa, 2016; Sangsanit *et al.*, 2021) ประกอบด้วยสารไมทราไจนีน (mitragynine) สเปซิโงไจนีน (speciogynine) และไพแนนทีน (paynantheine) เป็นต้น (Orio *et al.*, 2012) โดยสารไมทราไจนีนเป็นสารประกอบหลักที่พบมากที่สุดภายในใบกระท่อม (Kikura-Hanajiri, *et al.*, 2009) และพบปริมาณมากเฉพาะ *Mitragyna speciosa* (Shellard, 1989) ไมทราไจนีนสามารถออกฤทธิ์กดประสาทส่วนกลาง (Chittrakarn *et al.*, 2010; Kumarnsit *et al.*, 2007) มีสรรพคุณช่วยกระตุ้นให้ทำงานได้นานขึ้น ลดอาการเมื่อยล้า และอื่น ๆ เมื่อบริโภคในปริมาณต่ำ (Babu *et al.*, 2008) โดยทั่วไปนิยมใช้กระท่อมในกลุ่มคนทำงานกลางแดดจัด เนื่องจากมีฤทธิ์กระตุ้นคล้ายใบโคคา

(coca) หรืออาจใช้แทนฝิ่น ในตำรายาไทยมักใช้ใบกระท่อมช่วยลดหรือแก้อาการปวดท้อง บิด หรือท้องเสีย เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับสารออกฤทธิ์พบว่า มีสารแอลคาลอยด์หลายชนิดที่มีฤทธิ์ฆ่าโปรโตซัว เช่น เชื้อบิด และสารไมทรากไนน์ (mitragynine) ที่มีฤทธิ์แก้ปวด (Department of Medical Services, 2017)

ยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่มีการนำมาใช้ทั้งในอาหารคนและอาหารสัตว์ มีการศึกษาอย่างแพร่หลายทั่วโลกส่วนใหญ่ใช้เพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง พบว่า มีผลต่อนิเวศวิทยาของกระเพาะรูเมนในลักษณะความสัมพันธ์เชิงบวกโดยไปกระตุ้นประชากรแบคทีเรียจำพวกย่อยสลายเยื่อใย โปรตีน และแบคทีเรียทั้งหมด เพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากอาหารเยื่อใย และปรับปรุงกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน โดยพิจารณาจากปริมาณการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนที่เพิ่มขึ้น (Wallace and Newbold, 1993) จากการรายงานของ Abd El-Ghani (2004) พบว่า อาหารที่เสริมด้วยยีสต์ 6 กรัมต่อตัวต่อวัน ทำให้แพะมีผลผลิตน้ำนมสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) เพิ่มปริมาณการกินได้ ปรับปรุงการย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมน และช่วยลดการเกิดกรดแลคติกในกระเพาะรูเมนที่เป็นต้นเหตุการเกิดกรดในกระเพาะรูเมน (Pradhan *et al.*, 2021) อย่างไรก็ตาม ยีสต์ *S. cerevisiae* ยังมีความสามารถจำกัดในด้านการเพิ่มปริมาณการผลิตสารชีวมวล (biomass) เช่น จำนวนเซลล์ ผนังเซลล์ โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น จากการศึกษาของ Suntara *et al.* (2020) ได้รายงานว่ายีสต์ *Candida tropicalis*-KKU20 ในกระเพาะรูเมนเป็นยีสต์ที่มีศักยภาพในการผลิตสารชีวมวลมากกว่า และสามารถปล่อยเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อย่อยสลายปริมาณเยื่อใยต่าง ๆ ในอาหารได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ *S. cerevisiae* นอกจากนี้ ยีสต์ *Candida tropicalis*-KKU20 จัดเป็นยีสต์ในกลุ่ม Crabtree-negative ซึ่งพบว่า มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบ (6.9 เปอร์เซ็นต์) อีกทั้งยังเพิ่มจำนวนแบคทีเรียกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์โปรตีนใน

น้ำนมเมื่อเปรียบเทียบกับ *S. cerevisiae* ซึ่งสามารถใช้เสริมเป็นอาหารโคนมพันธุ์ Thai-Holstein Friesian ได้ดี (Suntara *et al.*, 2021) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการศึกษากการใช้ใบกระท่อมร่วมกับยีสต์ยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะการเสริมใบกระท่อมร่วมกับยีสต์ ดังนั้น การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริมยีสต์และใบกระท่อมแห้งในอาหารผสมสูตรรวมต่อปริมาณการกินได้ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ และประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดยทำการศึกษาในแพะ

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมใบกระท่อมแห้ง และยีสต์ที่ใช้ในการทดลอง

ใบกระท่อม (*Mitragyna speciosa* (Korth.) Havil) ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นสายพันธุ์ก้านแดง เก็บจากตำบลน้ำพุ อำเภอบ้านนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี ครอบครองโดยสถาบันและติดตามการปลูกพืชเสพติดสำนักงานป้องกันและปราบปรามยาเสพติด ตามหนังสือสำคัญผลิต (เลขที่ 10/2563) และหนังสือสำคัญครอบครอง (เลขที่ 3/2563) นำใบกระท่อมจากต้นกระท่อมอายุ 5 ปี มาทำความสะอาด ผึ่ง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เก็บใส่ถุงพลาสติกปิดสนิท บันทึกรับน้ำหนัก และเก็บในห้องเก็บวัตถุดิบควบคุมความชื้น และอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส และนำมาบดให้ละเอียดแล้วแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1) บรรจุใส่ถุงเพื่อเก็บไว้ใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมต่อไป และส่วนที่ 2) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างใบกระท่อมเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณอัลคาลอยด์ ตามวิธีของ Limsuwanchote *et al.* (2014) จากการรายงานพบว่า มีค่าเฉลี่ยสาร mitragynine, speciogynine และ paynantheine (4.14, 0.59 และ 0.26 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) และสารกลุ่มอื่น เช่น flavonoids, phenolic acids, saponin และ condensed tannin เท่ากับ 11.24, 4.1, 2.21 และ 8.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Chanjula *et al.*, 2022a)

ยีสต์ที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ คือยีสต์สายพันธุ์ *Candida tropicalis* KKU20 (*C. tropicalis* KKU20; CBS 94T (U45749)) ได้จากภาควิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น คือยีสต์ มีจำนวนเซลล์ 1.15×10^{13} cfu/g จัดเป็นยีสต์กลุ่ม Crabtree-negative ซึ่งได้ผ่านการทดสอบคุณสมบัติที่รับรองได้ถึงการมีประสิทธิภาพในการใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Suntara *et al.*, 2021)

สัตว์ทดลอง อาหารทดลอง และแผนการทดลอง

ใช้แพะลูกผสมสายพันธุ์พื้นเมืองและแองโกลนูเบียนอายุเฉลี่ย 9 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 20 ± 0.13 กิโลกรัม จำนวน 4 ตัว ซึ่งได้หนังสือรับรองจรรยาบรรณการใช้สัตว์จากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์ของสถาบัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (AGO12/2022) ทำการสุ่มแพะโดยจัดทรีทเมนต์แบบ 2×2 แฟกตอเรียลให้กับหน่วยทดลองในแผนการทดลองแบบ 4×4 จตุรัสละติน (2×2 factorial arrangement in a 4×4 Latin square design) ทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยแรกคือ การเสริมยีสต์ (yeast, Y) 2 ระดับ ได้แก่ 0 และ 0.5 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ และปัจจัยที่สองคือ การเสริมใบกระท่อมแห้ง (dried Kratom leaves, DKTL) 2 ระดับ ได้แก่ 0 และ 4.44 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ ซึ่งมีทรีทเมนต์รวมทั้งหมด 4 ทรีทเมนต์ ดังนี้ (treatment combination) $T_1 = 0Y-0DKTL$, $T_2 = 0Y-4.44DKTL$, $T_3 = 0.5Y-0DKTL$ และ $T_4 = 0.5Y-4.44DKTL$ ตามลำดับ

แพะแต่ละตัวถูกเลี้ยงในกรงสำหรับการศึกษาค่าการย่อยได้ (metabolism crate) จำนวน 4 กรง มีรางอาหาร และที่ให้น้ำเพื่อให้แพะสามารถเข้าถึงได้ตลอดเวลา แพะทุกตัวได้รับอาหารผสมสูตรรวม (TMR) แสดงดัง Table 1 มีสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้น 30 : 70 ทุกสูตรคำนวณให้มีระดับโภชนาที่ตามความต้องการของแพะ (NRC, 1981) ทำการทดลอง 4 ช่วง ๆ ละ 21 วัน ซึ่งประกอบด้วย ระยะเวลาปรับตัว (adaptation period) 14 วัน และระยะทดลอง (experimental period) 7 วัน โดยในระยะปรับตัวให้แพะได้รับอาหารผสมสูตรรวมแบบเต็มๆ โดยให้วันละ 2 ครั้ง ในเวลา 07.00 น. และ 16.00 น. ทำการวัดปริมาณอาหารที่ให้ และอาหาร

ที่เหลือทิ้งในช่วงเช้า และช่วงเย็นของทุกวันเพื่อศึกษาปริมาณการกินได้ ส่วนในระยะทดลองให้แพะได้รับอาหารตามกลุ่มทดลองเหมือนระยะปรับตัวแต่ลดปริมาณอาหารที่ให้เหลือเพียง 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่กินได้ในช่วงระยะปรับตัว

การเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของแพะ โดยชั่งน้ำหนักก่อนเข้าช่วงการทดลอง และในวันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง (วันที่ 21) สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง โดยนำมาปรับหาปริมาณการกินได้ของสัตว์ในแต่ละวัน อีกส่วนหนึ่งสุ่มเก็บจากแต่ละช่วงของการทดลองอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วบดให้ละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อรอวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (DM, ash, CP และ EE) ตามวิธีการของ AOAC (1995) และวิเคราะห์ค่าเยื่อใย NDF, ADF และ ADL ตามวิธีการของ Van Soest *et al.* (1991)

สุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะรูเมน (rumen fluid) ของสัตว์ทดลองแต่ละกลุ่มที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร โดยวิธีการใช้ stomach tube ร่วมกับ vacuum pump ในวันสุดท้ายของแต่ละระยะทดลองปริมาณ 100 มล. นำมาวัดอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่างทันทีโดยใช้ pH meter (HANNA instruments HI 98153 microcomputer pH meter) หลังจากนั้นแบ่งของเหลวจากกระเพาะรูเมนออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 นั้นสุ่มเก็บประมาณ 30 มิลลิลิตร เติมน้ำ H_2SO_4 จำนวน 3 มิลลิลิตร เพื่อยุติการทำงานของจุลินทรีย์ นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เก็บเอาเฉพาะส่วนใส (supernatant) ไว้ประมาณ 10-15 มิลลิลิตร นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia nitrogen, NH_3-N) โดยวิธีการกลั่น (Bremner and Keeney, 1965) โดยใช้เครื่อง KJELTEC AUTO 2200

**ผลของการเสริมไบโกระท่อมแห้งและยีสต์ (*Candida tropicalis* KKU20) ในอาหารผสมสูตรรวมต่อ
ปริมาณการกินได้ กระบวนการหมัก และประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของแพะ**

Analyzer (Foss, tecator) ของเหลวอีกส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid, TVFA) และสัดส่วนของกรดไขมันระเหยได้ที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid, C₂) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid, C₃) และกรดบิวทีริก (butyric acid, C₄) โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Hewlett Packard) ประกอบด้วย water 510 pump (Millipore), UV Detector 210 nm, ODS reverse phase column (5μ, 40 x 250 มิลลิเมตร) ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Samuel *et al.* (1997) และส่วนที่ 2 ทำการสุ่มเก็บ

1 มิลลิลิตร เติม formalin 9 มิลลิลิตร เพื่อนำไปนับประชากรจุลินทรีย์ (ประชากรแบคทีเรีย โปรโตซัว และสปอร์เชื้อรา) ด้วยวิธีการนับตรงตามวิธีการของ Galyean (2010) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Olympus BX51TRF, No. 2B04492, Olympus optical Co. Ltd., Japan) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) ตามแผนการทดลอง 4 x 4 จตุรัสละติน โดยใช้ Proc GLM (SAS Inst. Inc., Cary, NC) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (Steel and Torrie, 1980)

Table 1. Dietary ingredients and chemical composition of total mixed ration (TMR), pangola grass hay (PGH), and dried kratom leaves (DKTL) fed to the goats during the trial

Item	TMR ¹	PGH	DKTL
Pangola grass hay (PGH)	30.00		
Ground corn	36.17		
Soybean meal	22.73		
Fish meal	0.50		
Leucaena leave meal	4.00		
Molasses	5.00		
Dicalcium phosphate	0.30		
Salt	0.30		
Mineral and vitamin mix ²	1.00		
Chemical composition, % DM (TMR)			
DM ³	87.95	91.00	
Ash	5.03	3.65	4.10
OM	94.97	96.35	95.80
CP	16.20	5.88	20.10
NDF	48.17	82.04	44.48
ADF	24.27	45.19	27.30
ADL	4.42	38.00	8.26
EE	2.27	1.31	1.70
GE (kcal/kg DM)	4,475.04	2194.09	4,634.60

¹TMR diet was divided into four treatments depending on Y and DKTL supplementation level: T1 = Supplemented 0Y-0DKTL, T2 = 0Y-4.44DKTL, T3 = 0.5Y-0DKTL, T4 = 0.5Y-4.44DKTL (g/kg DM in TMR) ²Minerals and vitamins (each kg contains): Vitamin A: 10,000,000 IU; Vitamin E : 70,000 IU; Vitamin D : 1,600,000 IU; Fe : 50 g; Zn : 40 g; Mn: 40 g; Co : 0.1 g; Cu : 10 g; Se : 0.1 g; I : 0.5 g ³DM = dry matter; OM = organic matter; CP = crude protein; NDF = neutral detergent fiber; ADF = acid detergent fiber; ADL = acid detergent lignin, EE = ether extract; GE = gross energy; TMR = total mixed ration; PGH = pangola grass hay; DKTL = dried kratom leaves

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของยีสต์ และใบกระพ้อมแห้ง พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมของระดับยีสต์ และใบกระพ้อมแห้งต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมดในรูปของ g/d และ g/kg BW^{0.75} (Table 2) แต่มีความแตกต่างกัน ($P < 0.05$) ของระดับ Y ต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมดในรูปของ g/d และ g/kg W^{0.75} โดยระดับ Y 0.5 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริม Y ($P < 0.05$) และมีค่าสูงสุดในกลุ่มที่เสริม Y 0.5 ร่วมกับ DKTL 4.44 ($P < 0.05$) อาจเนื่องมาจากกลุ่มที่ได้รับการเสริมยีสต์ (*C. tropicalis* KKU20) สามารถเพิ่มการปลดปล่อยเอนไซม์เซลลูเลส (releasing cellulase enzymes) และช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบ (Suntara *et al.*, 2020) สอดคล้องกับการศึกษาของ Stella *et al.* (2007) รายงานว่า การเสริมยีสต์ *S. cerevisiae* ทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น และ Habeeb (2017) ที่รายงานว่ามีผลิตภัณฑ์จากผนังเซลล์ยีสต์ช่วยเพิ่มความน่ากินให้กับอาหารโดยเฉพาะ 5'-nucleotide และ glutamate ส่งผลต่อปริมาณการกินได้ และผนังเซลล์นั้นยังมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้ การเสริมยีสต์ทั้งในรูปแบบเสริมโดยตรง และการหมักกับวัตถุดิบอาหารสัตว์แล้วให้สัตว์เคี้ยวเอื้อง พบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยเยื่อ กระบวนการหมัก และเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนทำให้สัตว์ได้รับจุลินทรีย์โปรตีนมากขึ้น (Arowolo and He, 2018) ขณะที่ ปริมาณการกินได้ของโคชนะ (OMI, CPI, EEI, NDFI และ ADFI) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ทำนองเดียวกับ Chanjula *et al.* (2022a) ที่ศึกษาผลของการเสริมใบกระพ้อมแห้ง (2.22 - 4.44 กรัม) พบว่า ปริมาณการกินได้ ความสามารถในการย่อยได้ และกระบวนการหมักในแพะมีค่าเพิ่มขึ้น และการเสริมใบกระพ้อมแห้งในแพะที่โตเต็มวัยต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต องค์ประกอบของซาก และคุณภาพเนื้อ พบว่า กลุ่มที่ได้รับ DKTL ระดับ 2.22 และ 4.44 กรัม มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ แม้ว่าไม่มีความแตกต่างกัน (Chanjula *et al.*, 2022b) ส่วน

การรายงานของ Dias *et al.* (2018) ศึกษาผลของการเสริมยีสต์ (yeast culture, YC) ในอาหารระดับของแป้งต่ำ (low starch, LS) และแป้งสูง (high starch, HS) ต่อกระบวนการหมัก และความสามารถในการย่อยได้ในโคนม พบว่าการเสริม YC ต่อการย่อยได้ของโปรตีนในโคที่เลี้ยงด้วยอาหาร HS เสริมด้วย YC มีความสามารถในการย่อยได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม ขณะที่ ไม่มีผลต่อความสามารถในการย่อยได้ของผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลส และ García *et al.* (2000) ได้ศึกษาผลของการเสริมยีสต์ *S. cerevisiae* และสารโมเนนซิน (monensin) ต่อกระบวนการหมัก และความสามารถในการย่อยได้ในแกะ พบว่า การเสริมยีสต์ร่วมกับสารโมเนนซินในอาหารไม่มีผลต่อความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบ และผนังเซลล์ อย่างไรก็ตาม Kim *et al.* (1992) พบว่า เมื่อเสริมยีสต์ในโคนมจะเพิ่มความสามารถในการย่อยได้ของ CF, ADF และ NDF นอกจากนี้ เมื่อเสริมยีสต์มีชีวิตรับประทาน 4 กรัมต่อตัวต่อวัน สามารถเพิ่มความสามารถในการย่อยได้ของ DM, OM, NDF และ ADF ของกากมะเขือเทศ (Paryad and Rashidi, 2009)

จาก Table 3 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะรูเมนของแพะ พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมของระดับการเสริมยีสต์และใบกระพ้อมแห้ง แต่พบความแตกต่างกัน ($P < 0.05$) ของระดับการเสริมยีสต์ที่ระดับ 0.5 พบว่า ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรด-ด่างสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมยีสต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของความเป็นกรด-ด่าง ค่อนข้างคงที่ (6.70 - 6.80) ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเยื่อ (cellulolytic bacteria) และการย่อยของโปรตีน (6.0 - 7.1) (Firkins, 1996; Firkins and Eastridge, 1994) ขณะที่ค่าอุณหภูมิและความเข้มข้นของค่าแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ (38.4 - 39.01 องศาเซลเซียส) (Zicarelli *et al.*, 2007) ซึ่งเป็นระดับที่ปกติทำนองเดียวกับค่า $\text{NH}_3\text{-N}$ ในการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม 10 - 30 mg/dl (Ferguson *et al.*, 1993) สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการสังเคราะห์

**ผลของการเสริมใบกระท่อมแห้งและยีสต์ (*Candida tropicalis* KKU20) ในอาหารผสมสูตรรวมต่อ
ปริมาณการกินได้ กระบวนการหมัก และประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของแพะ**

จุลินทรีย์โปรตีนและ Preston and Leng (1987) รายงาน ในช่วง 5 - 25 mg/dl เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของ
ว่า ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH₃-N) ของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

Table 2. Effects of feeding combinations of yeast (Y) and dried Kratom leaves (DKTL) supplementation on feed intake and nutrient intake in goats

Item	Y0.0 ¹		Y0.5		SEM ²	P-value		
	T ₁ (DKTL0.0)	T ₂ (DKTL4.44)	T ₃ (DKTL0.0)	T ₄ (DKTL4.44)		Y	DKTL	YxDKTL
Total DMI, g/d	751 ^b	771 ^{ab}	774 ^{ab}	830 ^a	19.98	0.04	0.10	0.12
DMI, g/kg BW ^{0.75}	72.63 ^b	76.56 ^{ab}	78.26 ^{ab}	80.73 ^a	1.93	0.04	0.14	0.11
Nutrient intake, g/d								
OMI	709	728	731	784	19.02	0.08	0.11	0.40
CPI	122	125	125	134	3.19	0.08	0.10	0.40
NDFI	362	371	373	400	9.60	0.09	0.10	0.39
ADFI	182	187	188	201	4.82	0.08	0.10	0.39

¹T₁ = Supplemented 0Y-0DKTL, T₂ = 0Y-4.44DKTL, T₃ = 0.5Y-0DKTL, T₄ = 0.5Y-4.44DKTL (g/kg DM in TMR) ²SEM = Standard error of the mean. ^{a-b} Means with different superscripts within the same row are significantly different (*P* < 0.05). DMI = dry matter intake, OMI = organic matter intake, CPI = crude protein intake, EEI = ether extract intake, NDFI = neutral detergent fiber intake, ADFI = acid detergent fiber intake

Table 3. Effects of feeding combinations of yeast (Y) and dried Kratom leaves (DKTL) supplementation on rumen fermentation characteristics and VFA concentration in goats

Item	Y0.0 ¹		Y0.5		SEM ²	P-value		
	T ₁ (DKTL0.0)	T ₂ (DKTL4.44)	T ₃ (DKTL0.0)	T ₄ (DKTL4.44)		Y	DKTL	YxDKTL
Temperature, °C	38.46	38.93	39.01	38.95	0.14	0.08	0.19	0.10
Ruminal pH	6.70 ^b	6.73 ^b	6.82 ^a	6.80 ^a	0.03	0.04	0.89	0.61
NH ₃ -N, mg/dL	25.54	27.50	28.04	27.99	2.53	0.57	0.71	0.88
Total VFA, mmol/L	67.24	70.20	76.02	73.10	5.04	0.29	0.99	0.58
C ₂ %	64.35 ^a	58.80 ^b	56.25 ^b	55.83 ^b	0.98	0.01	0.02	0.04
C ₃ %	19.64 ^c	24.29 ^{cb}	27.11 ^{cb}	29.77 ^a	1.46	0.01	0.04	0.52
C ₄ %	13.75	14.31	14.27	11.73	0.70	0.19	0.20	0.06
C ₂ +C ₄ :C ₃	4.06 ^a	3.21 ^b	2.74 ^b	2.48 ^b	0.22	0.01	0.05	0.24

¹T₁ = Supplemented 0Y-0DKTL, T₂ = 0Y-4.44DKTL, T₃ = 0.5Y-0DKTL, T₄ = 0.5Y-4.44DKTL (g/kg DM in TMR) ²SEM = Standard error of the mean. ^{a-b} Means with different superscripts within the same row are significantly different (*P* < 0.05) DMI = dry matter intake, OMI = organic matter intake, CPI = crude protein intake, EEI = ether extract intake, NDFI = neutral detergent fiber intake, ADFI = acid detergent fiber intake

ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acids, TVFAs) ภายในกระเพาะรูเมนของแพะ (Table 3) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 67.24 - 73.10 mmol/L อย่างไรก็ตาม ได้มีการรายงานการศึกษาของ Özsoy *et al.* (2013) ได้รายงานว่า กลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยยีสต์ (1.5, 3.0 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์) มีค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดในแพะลูกผสมซานเนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 77.11 - 77.71 mmol/L และการศึกษาของ Abd El-Ghani (2004) ในแพะพันธุ์ Zeraibi ที่ได้รับอาหารเสริมด้วยยีสต์มีความเข้มข้นของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่ 3 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และลดลงในเวลา 6 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร ขณะที่ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในเวลา 6 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร และ Kowalik *et al.* (2011) ที่ศึกษาผลของการเสริมยีสต์ *S. cerevisiae* ในอาหารต่อเมแทบอลิซึมของ fibrolytic bacteria กิจกรรมของเอนไซม์อะไมโลไลติกในย่อยคาร์โบไฮเดรต และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนของแพะ รายงานว่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ การศึกษาในครั้งนี้พบว่า สัดส่วนค่าของอะซิเตท (acetate, C_2) มีอิทธิพลร่วมของระดับ Y และ DKTL ($P < 0.05$) และพบว่า T1 มีสัดส่วนของอะซิเตทสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่ สัดส่วนของโพรพิโอเนต (propionate, C_3) ไม่มีอิทธิพลร่วมของระดับ Y และ DKTL แต่มีความแตกต่างกัน ($P < 0.05$) ของระดับ Y และระดับ DKTL โดยพบว่า T4 (0.5Y-4.44DKTL) มีสัดส่วนของโพรพิโอเนตสูงที่สุด ($P < 0.05$) สอดคล้องกับ Ahmed and Wang (2022) ที่ศึกษา ยีสต์แห้งที่มีชีวิตร่วมกับไทอามีน (thiamine) พบว่า สามารถลดค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนในหลอดทดลองของแพะ และมีค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด อะซิเตท และสัดส่วนของอะซิเตทต่อโพรพิโอเนต มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกลุ่มที่เสริมยีสต์แห้งที่มีชีวิตร่วมกับวิตามิน thiamine มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น ขณะที่การทดลองของ

Özsoy *et al.* (2013) ที่ได้ทำการศึกษาค่าผลของอาหารที่เสริมด้วยยีสต์ พบว่า ค่าของอะซิเตท และโพรพิโอเนต ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่กลุ่มที่เสริมด้วยยีสต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ ค่าของบิวทีเรตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับการทดลองครั้งนี้ พบว่า ค่าของกรดบิวทีเรตไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) แต่มีแนวโน้มลดลง ($P < 0.06$) ในกลุ่มที่ T4 (T_4 , 0.5Y - 4.44DKTL) นอกจากนี้ Lu *et al.* (2016) ศึกษาผลของการเสริมเซลล์ยีสต์และยีสต์ทางการค้า *S. cerevisiae* ต่อการย่อยได้ และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน พบว่า ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด อะซิเตท และโพรพิโอเนต ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนของอะซิเตทและบิวทีเรตต่อโพรพิโอเนต ($\text{C}_2 + \text{C}_4 : \text{C}_3$) พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมของระดับยีสต์ และใบกระท่อมแห้ง แต่มีความแตกต่างกัน ($P < 0.05$) ของระดับการเสริมยีสต์และการเสริมใบกระท่อมแห้ง โดยพบว่า T1 (0Y-0DKTL) มีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับ Doležal *et al.* (2011) ที่ศึกษาผลของการเสริมยีสต์ในอาหารต่อกระบวนการหมักโคโคนมพันธุ์โฮลสไตน์ และ Guedes *et al.* (2008) ศึกษาผลของการเสริมยีสต์ *S. cerevisiae* ในอาหารต่อกระบวนการหมัก และการย่อยได้ของเยื่อใยข้าวโพดหมักในโค พบว่า กลุ่มที่ได้รับการเสริมยีสต์มีความเข้มข้นของโพรพิโอเนตเพิ่มสูงขึ้น และสัดส่วนของอะซิเตทต่อโพรพิโอเนตลดลงต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมยีสต์ โดยความเข้มข้นของโพรพิโอเนต และสัดส่วนของอะซิเตทต่อโพรพิโอเนตที่ต่ำส่งผลช่วยให้เก็บพลังงานได้สูงขึ้น เนื่องจากโพรพิโอเนตมีประสิทธิภาพของพลังงานสูงกว่าอะซิเตท (Van Soest, 1994)

Table 4. Effects of feeding combinations of yeast (Y) and dried Kratom leaves (DKTL) supplementation on ruminal microorganism count in goat

Item	Y0.0 ¹		Y0.5		SEM ²	P-value		
	T ₁ (DKTL0.0)	T ₂ (DKTL4.44)	T ₃ (DKTL0.0)	T ₄ (DKTL4.44)		Y	DKTL	YxDKTL
Total direct counts (cell/ml)								
Bacteria (x10 ⁹)	1.53	1.81	1.82	2.11	0.16	0.13	0.14	0.94
Fungal zoospores (x10 ⁶)	0.96	1.28	1.18	1.37	0.18	0.43	0.22	0.74
Protozoa (x10 ⁶)	10.30 ^a	7.95 ^b	10.11 ^a	7.38 ^b	0.31	0.25	<0.01	0.71

¹T₁ = Supplemented 0Y-0DKTL, T₂ = 0Y-4.44DKTL, T₃ = 0.5Y-0DKTL, T₄ = 0.5Y-4.44DKTL (g/kg DM in TMR)

²SEM = Standard error of the mean. ^{a,b}Means with different superscripts within the same row are significantly different (*P* < 0.05)

จาก Table 4 พบว่า ประชากรของแบคทีเรียและประชากรสปอร์เชื้อรา (zoospores) ในกระเพาะรูเมนของแพะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P* > 0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยของประชากรแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 1.53 - 2.11 × 10⁹ เซลล์ต่อมิลลิลิตรตามลำดับ และเชื้อราอยู่ระหว่าง 0.96-1.37 × 10⁶ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับ Chanjula *et al.* (2007a, b) ที่รายงานไว้ว่า ประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราของแพะลูกผสมพื้นเมืองไทยและแองโกลนูเบียนเพศผู้มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.40 - 1.90 × 10¹⁰ และ 1.15 - 2.89 × 10⁶ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และสอดคล้องกับ Bryant and Robinson (1961) และ Hungate (1966) ที่รายงานไว้ว่า ประชากรของแบคทีเรีย และเชื้อราในกระเพาะรูเมนมีค่าอยู่ในช่วง 10¹⁰-10¹² และ 10⁴-10⁶ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ขณะที่ประชากรโปรโตซัวมีความแตกต่างกันของระดับ DKTL โดยการเสริมระดับ DKTL ที่ 4.44 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ มีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับ 0.0 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 10.21 - 7.67 × 10⁶ เซลล์ต่อมิลลิลิตร (*P* < 0.01) ตามลำดับ เนื่องมาจากสารไมโครไบโอตา หรือสารประกอบฟลาโวนอยด์ แทนนิน และซาโปนินที่มีอยู่ใน DKTL สามารถยับยั้งประชากรโปรโตซัว (Chanjula *et al.*, 2022a) หรือแบคทีเรียที่ยึดเกาะอยู่กับโปรโตซัว (bacteria associated with protozoa) โดยการยับยั้งการสังเคราะห์ผนังเซลล์

หรือการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก (Ku-Vera *et al.*, 2020) ทำนองเดียวกับการศึกษาของ Patra and Saxena (2010) รายงานว่า สารฟลาโวนอยด์สามารถยับยั้งแบคทีเรียเมทาโนเจน (methanogenic) ได้ และลดโปรโตซัวที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ CH₄ ในกระเพาะรูเมน อย่างไรก็ตาม การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ พบว่า อาหารที่เสริมด้วยยีสต์ 2 ระดับ (0 และ 0.5 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ) และใบกระท่อมแห้ง 2 ระดับ (0 และ 4.44 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ) ในอาหารผสมสูตรรวมไม่มีผลกระทบต่อประชากรจุลินทรีย์และนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนของแพะ

สรุป

อาหารที่เสริมด้วยยีสต์ และใบกระท่อมแห้งในอาหารผสมสูตรรวม พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วม (YxDKTL) ต่อปริมาณการกินได้ทั้งหมด ปริมาณการกินได้ของโคขุน กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และประชากรของแบคทีเรีย และประชากรสปอร์เชื้อรา ขณะที่กลุ่มที่ไม่เสริมยีสต์ มีผลต่อปริมาณการกินได้ และความเข้มข้นของกรดโฟลิกโอเนตต่ำกว่ากลุ่มอื่น แต่มีค่าอะซิเตทและสัดส่วนของอะซิเตท และรวมกับบิวทีเรตต่อโฟลิกโอเนตสูงกว่า และกลุ่มที่เสริมใบกระท่อมแห้ง มีผลต่อประชากรโปรโตซัวมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมใบกระท่อมแห้ง ดังนั้น สามารถใช้

ยีสต์ (0.5 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง) ร่วมกับใบกระเทียมแห้ง (4.44 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุดิบแห้ง) ในอาหารผสมสูตรรวม โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ ปริมาณการกินได้ของโคชนะ กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และประชากรของแบคทีเรีย และประชากรสปอร์เชื้อรา หรือสมรรถภาพของสัตว์ด้อยลง อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาในแพะขุน หรือแพะรีดนมในระยะต่าง ๆ รวมทั้งวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นในสภาพฟาร์มหรือการเลี้ยงของเกษตรกรต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณศูนย์วิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร และทรัพยากรธรรมชาติ ระยะที่ 3 (CoE-ANRB: phase 3) ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยประจำปี พ.ศ. 2564 และขอขอบคุณสาขาวิชาวนวัฒนกรรมการผลิตสัตว์และการจัดการคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนสถานที่ และอุปกรณ์ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Abd El-Ghani, A.A. 2004. Influence of diet supplementation with yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on performance of Zaraibi goats. *Small Ruminant Research* 52(3): 223-229.
- Ahmed, G. and H. Wang. 2022. Active dry yeast and thiamine in synergistic mode can mitigate adverse effects of *in vitro* ruminal acidosis model of goats. *Animals* 12(8):2333, doi: 10.3390/ani12182333.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Washington, D.C.
- Arowolo, M.A. and J. He. 2018. Use of probiotics and botanical extracts to improve ruminant production in the tropics: A review. *Animal Nutrition* 4(3): 241-249.
- Babu, K.M., C.R. McCurdy and E.W. Boyer. 2008. Opioid receptors and legal highs: *Salvia divinorum* and Kratom. *Clinical Toxicology* 46(2): 146-152.
- Bremner, J.M. and D.R. Keeney. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Analytica Chimica Acta* 32: 485-495.
- Bryant, M.P. and I.M. Robinson. 1961. An improved nonselective culture medium for ruminal bacteria and its use in determining diurnal variation in numbers of bacteria in the rumen. *Journal of Dairy Science* 44(8): 1446-1456.
- Bunsupa, S. 2016. Kratom plant that everyone wants to know. (Online). Available: <https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/354/kratom/> (December 3, 2022). (in Thai)
- Chanjula, P., W. Ngampongsai and M. Wanapat. 2007a. Effect of levels of urea and cassava chip on feed intake, rumen fermentation, blood metabolites and microbial populations in growing goats. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 29(1): 37-48.
- Chanjula, P., W. Ngampongsai and M. Wanapat. 2007b. Effects of replacing ground corn with cassava chip in concentrate on feed intake, nutrient utilization, rumen fermentation characteristics and microbial populations in goats. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 20(10): 1557-1566.
- Chanjula, P., J. Wungsintaweekul, R. Chiarawipa, A. Rugkong, B. Khonkhaeng, C. Suntara and A. Cherdthong. 2022a. Effect of feed

- supplement containing dried Kratom leaves on apparent digestibility, rumen fermentation, serum antioxidants, hematology, and nitrogen balance in goats. *Fermentation* 8(3): 131, doi: 10.3390/fermentation8030131.
- Chanjula, P., J. Wungsintaweekul, R. Chiarawipa, K. Phesatcha, C. Suntara, R. Prachumchai, P. Pakdeechanuan and A. Cherdthong. 2022b. Effects of supplementing finishing goats with *Mitragyna speciosa* (Korth.) Havil leaves powder on growth performance, hematological parameters, carcass composition, and meat quality. *Animals* 12(13): 1637, doi: 10.3390/ani12131637.
- Cherdthong, A., B. Khonkhaeng, S. Foiklang, M. Wanapat, N. Gunun, P. Gunun, P. Chanjula and S. Polyorach. 2019. Effects of supplementation of *Piper sarmentosum* leaf powder on feed efficiency, rumen ecology and rumen protozoal concentration in Thai native beef cattle. *Animals* 9(4): 130, doi: 10.3390/ani9040130.
- Chittrakarn, S., N. Keawpradub, K. Sawangjaroen, S. Kansanalak and B. Janchawee. 2010. The neuromuscular blockade produced by pure alkaloid, mitragynine and methanol extract of Kratom leaves (*Mitragyna speciosa* Korth.). *Journal of Ethnopharmacology* 129(3): 344-349.
- Department of Medical Services. 2017. Plants that should be treated as prescribed 4x100. (Online). Available: http://www.dms.moph.go.th/dmsweb/rspa_per/rspaper_54/patani_4.doc (February 20, 2020). (in Thai)
- Dias, A.L.G., J.A. Freitas, B. Micai, R.A. Azevedo, L.F. Greco and J.E.P. Santos. 2018. Effect of supplemental yeast culture and dietary starch content on rumen fermentation and digestion in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101(1): 201-221.
- Doležal, P., J. Dvoracek, J. Doležal, J. Cermáková, L. Zeman and K. Szwedziak. 2011. Effect of feeding yeast culture on ruminal fermentation and blood indicators of Holstein dairy cows. *Acta Veterinaria Brno* 80(2): 139-145.
- Ferguson, J.D., D.T. Galligan, T. Blanchard and M. Reeves. 1993. Serum urea nitrogen and conception rate: The usefulness of test information. *Journal of Dairy Science* 76(12): 3742-3746.
- Firkins, J.L. 1996. Maximizing microbial protein synthesis in the rumen. *The Journal of Nutrition* 126(Suppl. 4):1347S-1354S.
- Firkins, J.L. and M.L. Eastridge. 1994. Assessment of the effects of iodine value on fatty acid digestibility, feed intake, and milk production. *Journal of Dairy Science* 77(8): 2357-2366.
- Galyean, M.L. 2010. *Laboratory Procedures in Animal Nutrition Research*. Department of Animal and food Sciences. Teyas Tech University, Lubbock. 189 p.
- García, C.C.G., M.G.D. Mendoza, M.S. Gonzalez, P.M. Cobos, C.M.E. Ortega and L.R. Ramirez. 2000. Effect of a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) and monensin on ruminal fermentation and digestion in sheep. *Animal Feed Science and Technology* 83(2): 165-170.
- Guedes, C.M., D. Gonçalves, M.A.M. Rodrigues and A. Dias-da-Silva. 2008. Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* yeast on ruminal fermentation and fibre degradation of maize silages in cows.

- Animal Feed Science and Technology 145(1-4): 27-40.
- Habeeb, A.A.M. 2017. Current view of the significance of yeast for ruminants a review 1- role of yeast and modes of action. American Journal of Information Science and Technology 1(1): 8-14.
- Hungate, R.E. 1966. The Rumen and Its Microbes. Academic Press, New York. 533 p.
- Khan, R.U., S. Naz, K. Dhama, K. Karthik, R. Tiwari, M.M. Abdelrahman, I.A. Alhidary and A. Zahoor. 2016. Direct-fed microbial: Beneficial applications, modes of action and prospects as a safe tool for enhancing ruminant production and safeguarding health. International Journal of Pharmacology 12(3): 220-231.
- Kholif, A.E., O.H. Matloup, T.A. Morsy, M.M. Abdo, A.A. AbuElella, U.Y. Anele and K.C. Swanson. 2017. Rosemary and lemongrass herbs as phytogetic feed additives to improve efficient feed utilization, manipulate rumen fermentation and elevate milk production of Damascus goats. Livestock Science 204: 39-46.
- Kikura-Hanajiri, R., M. Kawamura, T. Maruyama, M. Kitajima, H. Takayama and Y. Goda. 2009. Simultaneous analysis of mitragynine, 7-hydroxymitragynine, and other alkaloids in the psychotropic plant "Kratom" (*Mitragyna speciosa*) by LC-ESI-MS. Forensic Toxicology 27: 7-74.
- Kim, D.Y., M.R. Figueroa, D.P. Dawson, C.E. Batallas, M.J. Arambel and J.L. Walters. 1992. Efficacy of supplemental viable yeast culture with or without *Aspergillus oryzae* on nutrient digestibility and milk production in early to mid-lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 75(Suppl. 1): 206.
- Kowalik, B., T. Michalowski, J.J. Pajak, M. Taciak and M. Zalewska. 2011. The effect of live yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, and their metabolites on ciliate fauna, fibrolytic and amylolytic activity, carbohydrate digestion and fermentation in the rumen of goats. Journal of Animal and Feed Sciences 20(4): 526-536.
- Kumarnsit, E., N. Keawpradub and W. Nuankaew. 2007. Effect of *Mitragyna speciosa* aqueous extract on ethanol withdrawal symptoms in mice. Fitoterapia 78(3): 182-185.
- Ku-Vera, J.C., R. Jiménez-Ocampo, S.S. Valencia-Salazar, M.D. Montoya-Flores, I.C. Olina-Botero, J. Arango. C.A. Gómez-Bravo, C.F. Aguilar-Pérez and F.J. Solorio-Sánchez. 2020. Role of secondary plant metabolites on enteric methane mitigation in ruminants. Frontiers in Veterinary Science 7: 584, doi.10. 3389/fvets.2020.00584.
- Limsuwanchote, S., J. Wungsintaweekul, N. Keawpradub, W. Putalun, S. Morimoto and H. Tanaka. 2014. Development of indirect competitive ELISA for quantification of mitragynine in Kratom (*Mitragyna speciosa* (Roxb.) Korth.). Forensic Science International 244: 70-77.
- Lu, Q., J. Wu, M. Wang, C. Zhou, X. Han, E.N. Odongo, Z. Tan and S. Tang. 2016. Effects of dietary addition of cellulase and a *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on nutrient digestibility, rumen fermentation and enteric methane emissions in growing goats. Archives of Animal Nutrition 70(3): 224-238.

- NRC. 1981. Nutrient Requirements of Goats: Angora, Dairy and Meat Goat in Temperate and Tropical Countries. National Academy Press, Washington, D.C. 115 p.
- Orio, L., L. Alaxandru, G. Cravotto, S. Mantegna and A. Barge. 2012. UAE, MAE, SFE-CO₂ and classical methods for the extranction of *Mitragyna speciosa* leaves. Ultrasonics Sonochemistry 19(3): 591-595.
- Özsoy, B., S. Yalçın, Z. Erdogan, Z. Cantekin and T. Aksu. 2013. Effects of dietary live yeast culture on fattening performance on some blood and rumen fluid parameters in goats. Revue de Medecine Veterinaire 164(5): 263-271.
- Paryad, A. and M. Rashidi. 2009. Effect of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on apparent digestibility and nitrogen retention of tomato pomace in sheep. Pakistan Journal of Nutrition 8(3):273-278.
- Patra, A.K. and J. Saxena. 2010. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. Phytochemistry 71(11-12): 1198-1222.
- Pradhan, S.K., S.B. Deshpande, R.R. Singh and V.S. Dabas. 2021. Effect of active dry yeast supplementation on nutrient digestibility, rumen metabolites and performances of Surti goat kids. Indian Journal of Animal Nutrition 38(1): 23-30.
- Preston, T.R., and R.A. Leng. 1987. Matching Ruminant Production Systems with Available Resources in the Tropics and Sub-tropics. Penambul Books, Armidale. 259 p.
- Samuel, M., A.O. Ceballos-Baumann, J. Blin, T. Uema, H. Boecker, R.E. Passingham and D.J. Brooks. 1997. Evidence for lateral premotor and parietal overactivity in Parkinson's disease during sequential and bimanual movements. A PET study Brain 120(6): 963-976.
- Sangsanit, P., N. Panyawoot, J. Wungsintaweekul, R. Chiarawipa, A. Rugkong, A. Cherdthong, C. Suntara and P. Chanjula. 2021. Research and development the use of Kratom herbs in goat raising: Preliminary characterization, phytochemical study, and chemical composition of Kratom leaves. Khon Kaen Agriculture Journal 49(Suppl. 2): 332-338. (in Thai)
- Shellard, E.J. 1989. Ethnopharmacology of Kratom and the *Mitragyna* alkaloids. Journal of Ethnopharmacology 25(1): 123-124.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 2nd ed. McGraw-Hill, New York. 633 p.
- Stella, A.V., R. Paratte, L. Valnegri, G. Cigalino, G. Soncini, E. Chevaux, V. Dell'Orto and G. Savoini. 2007. Effect of administration of live *Saccharomyces cerevisiae* on milk production, milk composition, blood metabolites, and faecal flora in early lactating dairy goats. Small Ruminant Research 67(1): 7-13.
- Suntara, C., A. Cherdthong S. Uriyapongson, M. Wanapat and P. Chanjula. 2020. Comparison effects of ruminal Crabtree-negative yeasts and Crabtree-positive yeasts for improving ensiled rice straw quality and ruminal digestion using in vitro gas production. Journal of Fungi 6(3): 109, doi: 10.3390/jof6030109.

- Suntara, C., A. Cherdthong, S. Uriyapongson, M. Wanapat and P. Chanjula. 2021. Novel Crabtree negative yeast from rumen fluids can improve rumen fermentation and milk quality. *Scientific Reports* 11: 6236, doi: 10.1038/s41598-021-85643-2.
- Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*, 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca. 476 p.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74(10): 3583-3597.
- Wallace, R.J. and C.J. Newbold. 1993. Rumen fermentation and its manipulation: The development of yeast cultures as feed additives. pp. 173-192. *In*: T.P. Lyons (ed.). *Biotechnology in the Feed Industry*. Alltech Technical Publications, Nicholasville, Kentucky.
- Yusuf, A.L., Y.M. Goh, A.A. Samsudin, A.R. Alimon and A.Q. Sazili. 2014. Growth performance, carcass characteristics and meat yield of Boer goats fed diets containing leaves or whole parts of *Andrographis paniculata*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 27(4):503-510.
- Zicarelli, F., C. Grassi, M.P. Gazaneo, I. Masiello, D. Vecchio and G. Campanile. 2007. Starter protein concentration and weaning of buffalo calf. *Italian Journal of Animal Science* 6(Suppl. 1): 515-517.
-

ผลของการเสริมสารสกัดกัญชงในน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคแช่แข็ง ต่อคุณภาพของอสุจิหลังการละลาย

Effects of Hemp Extract Supplementation in Frozen Bull Semen Extender on Post-Thaw Sperm Quality

กรัณท์รัตน์ ไนเวียง¹ วาที คงบรรทัด² พชรพร ตาดี¹ ตะวัน จัตรสูงเนิน³
วรรณลักษณ์ ถาวร¹ พัชรี พรหมตัน¹ และ วิวัฒน์ พัฒนาวงค์^{1*}
Karantarai Naiweang¹, Watee Kongbuntad², Phacharaporn Tadee¹, Tawan Chatsungnoen³,
Wannaluk Thaworn¹, Patcharee Promtan¹ and Wiwat Pattanawong^{1*}

¹คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

¹Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

²Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

³สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จ. แพร่ 54140

³Department of Agro-Industrial Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140, Thailand

*Corresponding author: Email: wpattanawong@gmail.com

(Received: 3 April 2023; Accepted: 22 June 2023)

Abstract: The purpose of this study was to investigate the effects of hemp extract supplemented in frozen bull semen extender on post-thaw sperm quality. The control group consisted of an egg yolk-based basic semen diluent (Tris-egg yolk: EG). Two experiments were divided, experiment 1, tested the changes in osmotic pressure values of hemp extract diluent containing CBD at levels of 5, 10, 50, and 100 µg/mL, respectively. The retention time in the preservation of the osmosis diluent at 4 °C was 0, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144 hours, and 1 week. It was found that the osmotic pressure values of all experimental groups were optimal for the freezing of bull semen and had no effect on the quality of the frozen bull semen. Experiment 2, the supplementation of hemp extract in frozen bull semen diluent on sperm quality after thawing at concentrations of 5, 10, 50, and 100 µg CBD/mL, respectively, was tested in 3 Tropical Holstein (TH) dairy cows. Twenty million sperm per tube and packed into 0.25 mL ministray tubes, incubated at 4 and -121 °C for 4 hours and 15 minutes, respectively, and stored in liquid nitrogen at -196 °C. After that, semen quality was assessed by computer-assisted sperm analysis (CASA) at 24 hours, 1 week, 2 weeks, and 1 month after cryopreservation. It was found that 5 µg CBD/mL hemp extract supplementation affected sperm motility (49.43 %) significantly more than the control group ($P < 0.05$). Hemp extract supplementation at a CBD level of 5 µg/mL in semen dilution found sperm with a bent tail and proximal droplet were significantly lower than the control group ($P < 0.05$). In conclusion, the use of a hemp extract supplementation in frozen bull semen extender level at 5 µg CBD/mL showed good sperm quality tendencies. It is an adjuvant in the supplementation of frozen bull semen.

Keywords: Hemp extract, extender, semen quality, bull

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมสารสกัดกัญชงในน้ำยาแช่แข็งน้ำเชื้อโคต่อคุณภาพอสุจิโคหลังการละลาย โดยมีน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคพื้นฐานที่ใช้ไข่แดง (Tris-egg yolk: EG) เป็นกลุ่มควบคุม แบ่งออกเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองที่ 1 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าความดันออสโมติกของน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคที่เสริมสารสกัดกัญชงที่ระดับ 5, 10, 50 และ 100 μg CBD/mL ตามลำดับ ในการเก็บรักษาน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลากการเก็บรักษาที่ 0, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144 ชั่วโมง และ 1 สัปดาห์ พบว่า ค่าความดันออสโมติกของทุกกลุ่มการทดลองมีค่าความดันออสโมติกที่เหมาะสมสำหรับแช่แข็งอสุจิของโคและไม่กระทบต่อคุณภาพการผลิตน้ำเชื้อโคแช่แข็ง การทดลองที่ 2 การเสริมสารสกัดกัญชงในน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคแช่แข็งต่อคุณภาพตัวอสุจิภายหลังการละลาย ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 50 และ 100 μg CBD/mL ตามลำดับ โดยทดสอบในน้ำเชื้อฟอโคนมพันธุ์ทรอปิคอลโฮลสไตน์ (Tropical Holstein: TH) จำนวน 3 ตัว ทำการเจือจางน้ำเชื้อที่ระดับความเข้มข้นอสุจิ 20 ล้านตัวต่อหลอด และบรรจุใส่หลอดน้ำเชื้อ (ministraw) ขนาด 0.25 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 4 และ -121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และ 15 นาที ตามลำดับ และเก็บรักษาน้ำเชื้อในไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการประเมินคุณภาพน้ำเชื้อด้วยเครื่อง Computer Assisted Sperm Analysis (CASA) ที่เวลา 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ 2 สัปดาห์ และ 1 เดือน หลังแช่แข็ง พบว่า การเสริมสารสกัดจากกัญชงระดับ CBD 5 μg /mL ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอสุจิ (49.43 เปอร์เซ็นต์) มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับผลสืบฐานวิทยาของอสุจิ การเสริมสารสกัดจากกัญชงระดับ CBD 5 μg /mL ในน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อพบว่า มีอสุจิที่มีความผิดปกติในลักษณะหางคดและอสุจิที่มีหยดน้ำเกาะที่บริเวณกลางตัว น้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สรุปการใช้น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคที่มีสารสกัดจากกัญชงเป็นส่วนประกอบที่ระดับความเข้มข้น CBD 5 μg /mL มีแนวโน้มคุณภาพอสุจิที่ดีในการนำมาใช้เป็นสารเสริมในการทำน้ำยาแช่แข็งน้ำเชื้อฟอโคนม

คำสำคัญ: สารสกัดกัญชง น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อ คุณภาพอสุจิ โคฟอพนันธุ์

คำนำ

การทำอาชีพการเลี้ยงโค กระบือ ในประเทศไทย มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นทุกปี (Department of Livestock Development, 2012) และมีการนำเทคโนโลยีการผสมเทียม (artificial insemination: AI) เข้ามาช่วยในการพัฒนาพันธุ์กรรมโค กระบือ ให้มีประสิทธิภาพและผลผลิตมากขึ้น อย่างไรก็ตามการผสมเทียมนั้นต้องใช้น้ำเชื้อแช่แข็งในการผสมเทียม กระบวนการผลิตน้ำเชื้อแช่แข็ง จำเป็นต้องมีการเติมน้ำยาสำหรับรักษาสภาพเซลล์อสุจิ โดยมีส่วนประกอบของสารป้องกันอันตรายจากการแช่แข็ง (cryoprotectant) สารเจือจางมีองค์ประกอบที่ช่วยควบคุมความเป็นกรดต่างช่วยให้สอจิมีอายุยืนยาวดำรงชีวิตอยู่ได้นาน ทั้งนี้ อาจมี

การเติมยาปฏิชีวนะบางกลุ่มในสารเจือจางน้ำเชื้อเพื่อช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในน้ำเชื้อโดยควบคุมการเจริญเติบโตและทำลายแบคทีเรียที่อาจปะปนมาในกระบวนการรีดน้ำเชื้อหรือกระบวนการอื่น ๆ สารเจือจางน้ำเชื้อช่วยลดการตายของตัวอสุจิในกระบวนการลดอุณหภูมิ เนื่องจากเมื่อตัวอสุจิอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิเย็นลงมาก ๆ จะมีการตกผลึกน้ำแข็งของของเหลวภายในเซลล์ซึ่งเป็นอันตรายต่อตัวอสุจิ ดังนั้น จึงมีการใช้น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อ ซึ่งมีคุณสมบัติเข้าแทนที่ของเหลวก่อนการแข็งตัว เช่น glycerol สามารถช่วยลดอันตรายต่อตัวอสุจิได้ (Forouzanfar *et al.*, 2010)

ในกระบวนการเตรียมน้ำเชื้อแช่แข็ง สารที่นิยมใช้ในการป้องกันอันตรายจากการแช่แข็ง คือ ไข่แดง หรือสารสกัดเลซิตินจากถั่วเหลือง (Rehman *et al.*, 2013) ซึ่ง

น้ำเชื้อโคในในประเทศไทยส่วนใหญ่จะใช้ไข่แดงเป็นส่วน
ของ cryoprotectant ในน้ำยาแช่แข็งอสุจิ (extender)
ซึ่งการใช้ไข่แดงเพื่อป้องกันความเสียหายของอสุจิจาก
การเก็บรักษาโดยการแช่แข็ง ร่วมกับ glycerol ส่งผลที่
ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ไข่แดงยังพบปัญหา
เนื่องจากการใช้ไข่แดงเป็นโปรตีนที่ได้จากสัตว์ปีกซึ่ง
อาจพบการปนเปื้อนของแบคทีเรียก่อโรคต่าง ๆ ที่
สามารถลดความสมบูรณ์ของอสุจิได้ (El-Sisy *et al.*,
2016) ทั้งนี้ น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อที่ควรเลือกใช้นั้น
สามารถรักษาคุณภาพอสุจิให้ดีที่สุดทั้งในช่วงของการแช่
เย็น ตลอดจนการลดอุณหภูมิจนกระทั่งแช่แข็งในถัง
ไนโตรเจนเหลว (Apimeteetumrong *et al.*, 2013) ดังนั้น
ในปัจจุบันจึงได้มีการศึกษาวิจัยการเสริมสารป้องกัน
อันตรายจากการแช่แข็ง (cryoprotectant) โดยการ
ใช้สารสกัดจากธรรมชาติหลายชนิด แต่มีพืชชนิดหนึ่งที่มี
ความน่าสนใจ และประเทศไทยได้อนุญาตให้สามารถ
ผลิตและใช้ทางการวิจัย ผู้วิจัยสนใจศึกษากัญชง
(*Cannabis sativa* L. subsp. *sativa*) ประกอบด้วยสาร
สำคัญหลายชนิด ได้แก่ trans- Δ^9 -tetrahydrocannabinol
(Δ^9 -THC) และสาร cannabidiol (CBD) ซึ่งมีปริมาณ
มากในกัญชง ซึ่งสาร CBD ที่สกัดจากกัญชงเป็นสารต้าน
อนุมูลอิสระ ลดความเครียด จากปฏิกิริยาออกซิเดชันใน
น้ำเชื้อเป็นสารที่ช่วยป้องกันหรือยับยั้งปฏิกิริยา
ออกซิเดชันช่วยกำจัดและลดปริมาณอนุมูลอิสระไม่ให้ไป
ทำลายสารประกอบของเซลล์ที่เป็นสาเหตุการตายของ
อสุจิ (Alagbonsi *et al.*, 2019) จากการศึกษา
สาระสำคัญของสาร CBD ต่อเซลล์สิ่งมีชีวิตสามารถ
ส่งผลกระทบต่อทั้งทางบวกและลบในระดับความเข้มข้นที่
แตกต่างกัน ซึ่งสาร CBD มีความน่าสนใจในการเสริมใน
น้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคแชนซ์ เนื่องจากอาจทดแทนสาร
ต้านจุลชีพในน้ำเชื้อ การลดความเครียดจากการ
ออกซิเดชันของระยะเวลาการเก็บรักษา และยังมีการ
ศึกษาวิจัยน้อยในการเป็นสารเสริมในน้ำยาเจือจาง
น้ำเชื้อโคแชนซ์ ซึ่งหากประสบผลสำเร็จเกษตรกรจะมี
ทางเลือกในการใช้น้ำยาเจือจางที่สามารถคงคุณภาพ
ของน้ำเชื้อได้นานมากขึ้น จึงมีความน่าสนใจในการเสริม
ในน้ำยาเจือจางเนื่องจากอาจทดแทนสารต้านอนุมูล
อิสระและสารต้านจุลชีพในน้ำเชื้อโคได้ จึงเป็นที่มาของ

การเสริมสารสกัดกัญชงในน้ำยาแช่แข็งน้ำเชื้อโคต่อ
คุณภาพของอสุจิหลังการละลายในการศึกษาครั้งนี้

อุปกรณ์และวิธีการ

สัตว์ทดลอง

พ่อโคนมพันธุ์ทรอปิคอลโฮลสไตน์ (Tropical
Holstein: TH) จำนวน 3 ตัว อายุ 9 - 10 ปี น้ำหนัก 900 -
1,000 กิโลกรัม ซึ่งมีอายุและน้ำหนักตัวใกล้เคียงกัน
ศูนย์วิจัยและผลิตน้ำเชื้อแช่แข็งพ่อพันธุ์โครงการหลวง
อินทนนท์ หมายเลขขออนุญาตใช้สัตว์ทดลอง (Approval
No.) MACUC052A/2565

การสกัดกัญชง

นำใบกัญชงไปอบที่ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ
45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำใบกัญชง
ที่อบแห้งแล้วมาทำการบดด้วยเครื่องบดจนละเอียด
เมื่อได้ผงกัญชงแล้วนำไปแช่ในไอโซโพรพานอล 99.9
เปอร์เซ็นต์ (ผงกัญชง 5 กรัม : ไอโซโพรพานอล 100
มิลลิลิตร เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วนำมา
กรองด้วยผ้าขาวบางและกระดาษกรองเบอร์ 4 ด้วย
เครื่องกรองสุญญากาศ จากนั้นทำการระเหยไอโซโพร-
พานอลออกให้เหลือเพียงกัญชงที่เข้มข้น ด้วยเครื่อง
Evaporator (ยี่ห้อ : HAHNSHIN; รุ่น : HS-10SP) ที่
อุณหภูมิ 54.85 องศาเซลเซียส ความดัน 34 MPa หรือ
4931.28 psi (Rovetto, 2017) ซึ่งมี Distiller ในการกลั่น
ไอของไอโซโพรพานอลให้เป็นของเหลว และนำเข้าสู่ตู้อบ
ลมร้อน ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
เพื่อระเหยไอโซโพรพานอล ให้เหลือแค่น้ำมันกัญชงที่ใช้
ในการศึกษาครั้งนี้ จากนั้นนำน้ำมันกัญชงที่ได้ส่งตรวจ
วิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญในกัญชง คือ สาร CBD
ด้วยวิธีการ High Performance Liquid Chromatography
(HPLC) ซึ่งปริมาณสารที่ได้ เท่ากับ 189.72 มิลลิกรัมต่อ
มิลลิลิตร ซึ่งสาร CBD นั้นเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่
ช่วยป้องกันหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยกำจัด
และลดปริมาณอนุมูลอิสระไม่ให้ไปทำลายสารประกอบ
ของเซลล์ สิ่งมีชีวิตมีระบบการสร้างสารต้านการ
ออกซิเดชันเพื่อป้องกันการทำลายเนื้อเยื่อ

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มการทดลองคือ สูตรน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคที่ใช้ไข่แดง (Tris-egg yolk: EG) เป็นกลุ่มควบคุม เตรียมน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคในปริมาณ 1,000 mL โดยมีส่วนประกอบของ Tris (hydroxymethyl) aminomethane (Tris 30.28 g, Citric acid 17.00 g, Fructose 12.50 g, Glycerol 80 mL, Egg yolk 200 mL, Sterile water 660.22 mL ร่วมกับปรับ pH ที่ 6.5 - 6.7) และสูตรน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคที่มีการเสริมสารสกัดจากกัญชง (hemp extract: CBD) ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 50 และ 100 ug/mL ตามลำดับ เตรียมในปริมาณ 1,000 mL เช่นเดียวกัน โดยมีส่วนประกอบเหมือนกับสูตรน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคที่ใช้ไข่แดง เพียงแค่เติมสารสกัดจากกัญชงตามระดับความเข้มข้นที่ได้กำหนดไว้

การทดลองที่ 1 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าความดันออสโมติกของน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโค

ตรวจวัดค่าความดันออสโมติกของ 5 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ กลุ่มที่ใช้ไข่แดงเป็นส่วนประกอบ (Tris-egg yolk: EG) เป็นกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่มีการเสริมสารสกัดจากกัญชงเป็นส่วนประกอบ (hemp extract: CBD) ที่ระดับความเข้มข้น CBD 5, 10, 50 และ 100 ug/mL ตามลำดับ ด้วยเครื่องวัดความดันออสโมติก (osmometer) (ยี่ห้อ: Gonotec; รุ่น: Osmomat3000 Basic) ในการตรวจวัดค่าความดันออสโมติกของน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคจากระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 0, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144 ชั่วโมง และ 1 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยทำการอุ่นน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อให้ถึงอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส แต่ละกลุ่มในปริมาตร 5 mL (Wadood *et al.*, 2016)

การทดลองที่ 2 การเสริมสารสกัดกัญชงในน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคแช่แข็งต่อคุณภาพตัวอสุจิภายหลังการละลาย

ทำการรีดเก็บน้ำเชื้อพ่อโคโดยใช้ช่องคลอดเทียม (artificial vagina) เมื่อเตรียมตัวล่อและช่องคลอด

เตรียมแล้ว นำฟอพันธุ์มาเดินวนบริเวณด้านท้ายของตัวล่อ เพื่อกระตุ้นให้เกิดความกำหนัดมากที่สุด ก่อนรีดน้ำเชื้อ เมื่อฟอโคขึ้นทาบครั้งแรกให้ทำการเบี่ยงลึงค์ออกมาและใช้น้ำสะอาดในการล้างลึงค์ และเมื่อขึ้นทาบครั้งที่สองให้เบี่ยงลึงค์เข้ามาสวมในช่องคลอดเทียมอย่างนุ่มนวลและรวดเร็ว เมื่อฟอพันธุ์กระแทก แสดงว่าหลังน้ำเชื้อแล้ว กระบวนการรีดน้ำเชื้อและการผลิตน้ำเชื้อแช่แข็งเป็นกระบวนการตามมาตรฐานของกรมปศุสัตว์ (Uavechanichkul, 2008) อย่างถูกต้องทุกประการ

การประเมินคุณภาพน้ำเชื้อเบื้องต้น

ทำการประเมินคุณภาพน้ำเชื้อเบื้องต้น (ประเมินด้านกายภาพ) โดยตรวจวัดปริมาตรน้ำเชื้อที่ได้ สีนํ้าเชื้อ ความขุ่น-ใส และการเคลื่อนที่หมุน ซึ่งประเมินจากสายตา จากนั้นนำไปตรวจหาความเข้มข้นด้วยเครื่อง spectrophotometer แล้วนำไปคำนวณเพื่อหาจำนวนเซลล์อสุจิในการบรรจุลงหลอดน้ำเชื้อ โดยเครื่องจะคำนวณจากสูตร

$$\text{ปริมาณน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโค} = ((A \times B) / 20,000,000) \times 0.21 - A$$

โดย A = ปริมาตรน้ำเชื้อ (mL)

B = ความเข้มข้นของน้ำเชื้อ

และใส่นํ้ายาสำหรับเจือจางน้ำเชื้อ ประกอบด้วย สูตรน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคที่ใช้ไข่แดง (Tris-egg yolk: EG) เป็นกลุ่มควบคุม และสูตรน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคที่มีการเสริมสารสกัดจากกัญชง (hemp extract: CBD) ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 50 และ 100 ug/mL ตามลำดับ ซึ่งจากการคำนวณแล้วน้ำเชื้อจะมีความเข้มข้นเท่ากับ 20 ล้านตัวต่อหลอด

กระบวนการทำน้ำเชื้อแช่แข็ง

หลังจากเจือจางน้ำเชื้อแล้วนำมาบรรจุใส่หลอดน้ำเชื้อ (ministraw) ขนาด 0.25 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อังเหนือไอนโตรเจนที่อุณหภูมิ -121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำหลอดน้ำเชื้อลงแช่ใน

ไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส และนำไปเก็บรักษาในถังสำหรับเก็บรักษาน้ำเชื้อโคแชน้ำแข็ง

การประเมินคุณภาพน้ำเชื้อด้วยเครื่อง Computer Assisted Sperm Analysis (CASA)

ทำการประเมินคุณภาพน้ำเชื้อด้วยวิธีการละลายน้ำเชื้อโคแชน้ำแข็งโดยนำมาอุ่นในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ตัดหลอดน้ำเชื้อใส่ในหลอดทดลองที่ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เก็บข้อมูลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเชื้อด้วยเครื่อง Computer Assisted Sperm Analysis (CASA) (ยี่ห้อ: HAMILTON THORNE; รุ่น: CEROS II) ทำการตรวจประเมินคุณภาพ โดยประเมินผลร้อยละการเคลื่อนที่ของอสุจิ (motile) การตายของอสุจิ (static) การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของอสุจิ (progressive) ลักษณะการเคลื่อนที่ของอสุจิ และสัณฐานวิทยาของอสุจิ ที่เวลา 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ 2 สัปดาห์ และ 1 เดือน

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS (Statistics Package for Social Sciences) ใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ ($P < 0.05$)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงของค่าความดันออสโมติกของน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโค

ในการเก็บรักษาน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในแต่ละช่วงของระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ค่าความดันออสโมติก (mOsmol/kg) ของกลุ่ม control (EG), CBD 5 µg/mL และ CBD 10 µg/mL ไม่มีความแตกต่างกันซึ่งมีค่าความดันออสโมติกอยู่ในระหว่าง 400 - 500 mOsmol/kg

แต่ในกลุ่ม CBD 50 µg/mL และ CBD 100 µg/mL มีค่าความดันออสโมติกสูงกว่าทั้ง 3 กลุ่ม ที่กล่าวมาซึ่งมีค่าความดันออสโมติกอยู่ในระหว่าง 500 - 600 mOsmol/kg (Table 1) อย่างไรก็ตาม ค่าความดันออสโมติกของทุกกลุ่มการทดลอง ยังคงมีค่าความดันออสโมติกที่เหมาะสมสำหรับอสุจิและไม่กระทบต่อคุณภาพการผลิตน้ำเชื้อโคแชน้ำแข็ง โดยปกติแล้วค่า osmotic pressure มาตรฐาน ของน้ำเชื้อจะเท่ากับ 320 mOsmol/kg (Ahmadi *et al.*, 2020) แต่ไม่ควรเกิน 1,537 mOsmol/kg (Liu and Foote, 1998)

เมื่ออสุจิที่อาศัยอยู่ในน้ำเชื้อกระทบกับน้ำซึ่งมีความดันออสโมติกต่ำกว่า 320 mOsmol/kg (Ahmadi *et al.*, 2020) ส่งผลทำให้อสุจิมีหางคด มีความผิดปกติกับส่วนกลาง (mid piece) ทำให้พบอสุจิที่มีความผิดปกติทางสัณฐานวิทยามากขึ้น ซึ่งมีการทดสอบผลเสียของค่าแรงดันออสโมติกระดับที่ต่ำในน้ำเชื้อโค Padrik *et al.* (2012) พบว่า การลดลงของค่าแรงดันออสโมติกในน้ำเชื้อส่งผลให้เกิดการบวมตัว และเกิดการแตกตัวของเยื่อหุ้มอสุจิ เนื่องจากการออสโมซิสของของเหลวภายนอกเซลล์ที่มีความหนาแน่นต่ำเข้าสู่เซลล์ที่มีความหนาแน่นสูงเช่นเดียวกับการเกิดหยดน้ำบริเวณหางของตัวอสุจิ ดังนั้นในกระบวนการเตรียมน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อจึงได้มีการเติมสารเคมีต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น น้ำตาลหรือเกลือซึ่งช่วยปรับแรงดันออสโมติกให้มีความใกล้เคียงกับน้ำเชื้อจากตัวสัตว์ (Jarassang, 1999)

คุณภาพน้ำเชื้อ

จากการประเมินคุณภาพน้ำเชื้อจากร้อยละการตายของอสุจิ (static) พบว่า ในช่วงเวลาหลังการแช่แข็ง 2 สัปดาห์ กลุ่ม CBD 100 µg/mL (81.07 เปอร์เซนต์) มีร้อยละการตายมากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่หลังจากการแช่แข็ง 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มอื่น (Figure 1)

Table 1. Comparison of osmotic pressure (mOsmol/kg) of egg yolk base extender and hemp base extender (CBD) semen diluent for different storage periods (0, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144 hours and 1 week) at a storage temperature of 4 °C

Period (hr)	Osmotic pressure (mOsmol/kg)					P-value
	EG Extender	CBD 5 µg/mL	CBD 10 µg/mL	CBD 50 µg/mL	CBD 100 µg/mL	
0	478 ± 8.19 ^c	484 ± 8.14 ^c	491 ± 8.19 ^c	515 ± 6.39 ^b	540 ± 4.41 ^a	0.001
12	452 ± 2.40 ^d	480 ± 4.91 ^c	476 ± 6.93 ^c	512 ± 5.04 ^b	545 ± 8.09 ^a	0.000
24	469 ± 4.06 ^b	484 ± 8.45 ^b	495 ± 10.02 ^b	525 ± 11.85 ^a	543 ± 7.06 ^a	0.001
48	475 ± 6.33 ^b	484 ± 8.95 ^b	494 ± 9.24 ^b	525 ± 10.60 ^a	550 ± 10.71 ^a	0.001
72	447 ± 2.33 ^c	458 ± 2.85 ^c	485 ± 5.78 ^b	520 ± 9.26 ^a	538 ± 7.97 ^a	0.000
96	475 ± 7.00 ^b	487 ± 7.06 ^b	495 ± 8.14 ^b	523 ± 9.84 ^a	539 ± 7.02 ^a	0.001
120	449 ± 2.03 ^d	482 ± 5.93 ^c	491 ± 7.45 ^c	522 ± 8.65 ^b	547 ± 1.53 ^a	0.000
144	483 ± 8.50 ^c	491 ± 9.87 ^c	507 ± 12.71 ^{bc}	534 ± 8.97 ^{ab}	552 ± 9.29 ^a	0.003
168	480 ± 11.05 ^c	488 ± 7.80 ^c	507 ± 10.26 ^{bc}	536 ± 11.02 ^{ab}	559 ± 11.24 ^a	0.001

^{a,b,c,d} show statistically significant differences ($P < 0.05$) in rows

^{*} EG: Tris-egg yolk, CBD: Cannabidiol from hemp extract

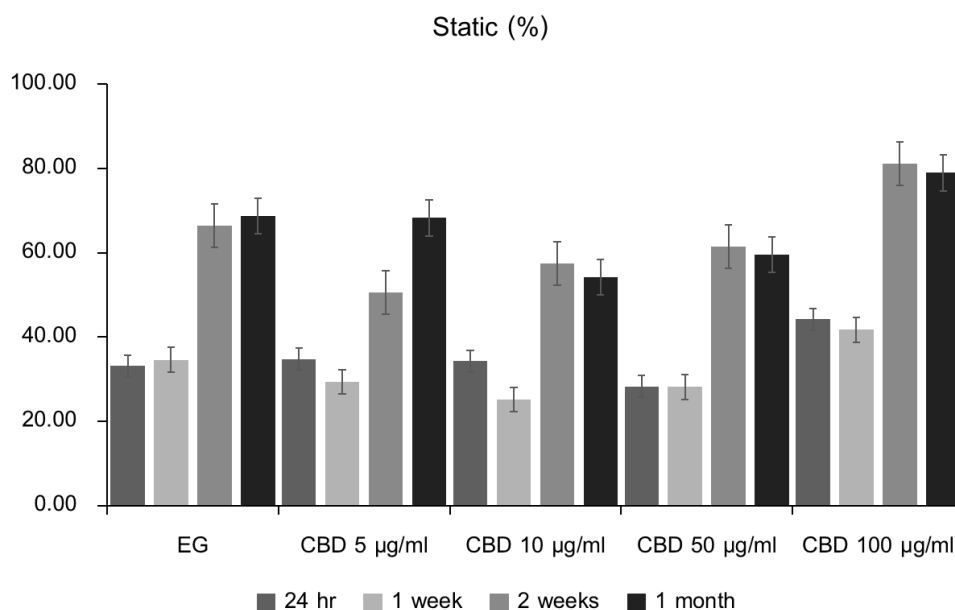


Figure 1. Percentage of mortality (static) of sperm treated with different semen freezing extender (EG: Egg yolk base extender, CBD: Hemp base extender)

สำหรับการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของอสุจิ (progressive) พบว่า ที่ช่วงเวลา 24 ชั่วโมง และ 1 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันกับกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่หลังจากการแช่แข็ง 2 สัปดาห์ กลุ่ม CBD 5 $\mu\text{g/mL}$ (15.39 เปอร์เซ็นต์) มีร้อยละการเคลื่อนที่ไปข้างหน้ามากกว่ากลุ่ม EG (8.67 เปอร์เซ็นต์) กลุ่ม CBD 50 $\mu\text{g/mL}$ (10.58 เปอร์เซ็นต์) และกลุ่ม CBD 100 $\mu\text{g/mL}$ (2.93 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันกับกลุ่ม CBD 10 $\mu\text{g/mL}$ (12.86 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และหลังจากการแช่แข็ง 1 เดือน กลุ่ม CBD 10 $\mu\text{g/mL}$ (15.42 เปอร์เซ็นต์) มีร้อยละการเคลื่อนที่ไปข้างหน้ามากกว่ากลุ่ม EG (4.99 เปอร์เซ็นต์) และกลุ่ม CBD 100 $\mu\text{g/mL}$ (3.06 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันกับกลุ่ม CBD 5 $\mu\text{g/mL}$ (7.67 เปอร์เซ็นต์) และกลุ่ม CBD 50 $\mu\text{g/mL}$ (9.79 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (Figure 2)

การเคลื่อนที่ของอสุจิ (motile) ในช่วงเวลาหลังการแช่แข็ง 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ

กลุ่มอื่น ($P > 0.05$) ในขณะที่ช่วงเวลาหลังการแช่แข็ง 2 สัปดาห์ พบว่า กลุ่ม CBD 5 $\mu\text{g/mL}$ (49.43 เปอร์เซ็นต์) มีร้อยละการเคลื่อนที่ไปข้างหน้ามากกว่ากลุ่ม EG (33.63 เปอร์เซ็นต์) กลุ่ม CBD 50 $\mu\text{g/mL}$ (38.58 เปอร์เซ็นต์) และกลุ่ม CBD 100 $\mu\text{g/mL}$ (18.93 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันกับกลุ่ม CBD 10 $\mu\text{g/mL}$ (42.60 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (Figure 3)

การเสริมสารสกัดกัญชงในระดับความเข้มข้น 5 และ 10 $\mu\text{g/mL}$ ในน้ำยาเจือจางน้ำเชื้อโคสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำเชื้อเบื้องต้นได้ (ร้อยละการตายของอสุจิ, ร้อยละการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของอสุจิ, ร้อยละการเคลื่อนที่ของอสุจิ และร้อยละการเคลื่อนไหวของอสุจิที่เคลื่อนที่ช้า) โดยมีรายงานว่าความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดทีฟทำให้คุณภาพของน้ำเชื้อแช่แข็งมีคุณภาพเสื่อมลง (El-Sisy *et al.*, 2007) ซึ่งส่งผลให้เกิดการผลิต reactive oxygen species (ROS) (Baumber *et al.*, 2000) ส่งผลต่อการเพิ่มระดับ lipid peroxidation ในเซลล์อสุจิที่เก็บรักษาสภาพด้วยความเย็น (Kadirvel *et al.*, 2009) ส่งผลต่อเยื่อหุ้มพลาสมาและความสมบูรณ์ของ DNA อีกทั้งการเสริม cannabidiol (CBD)

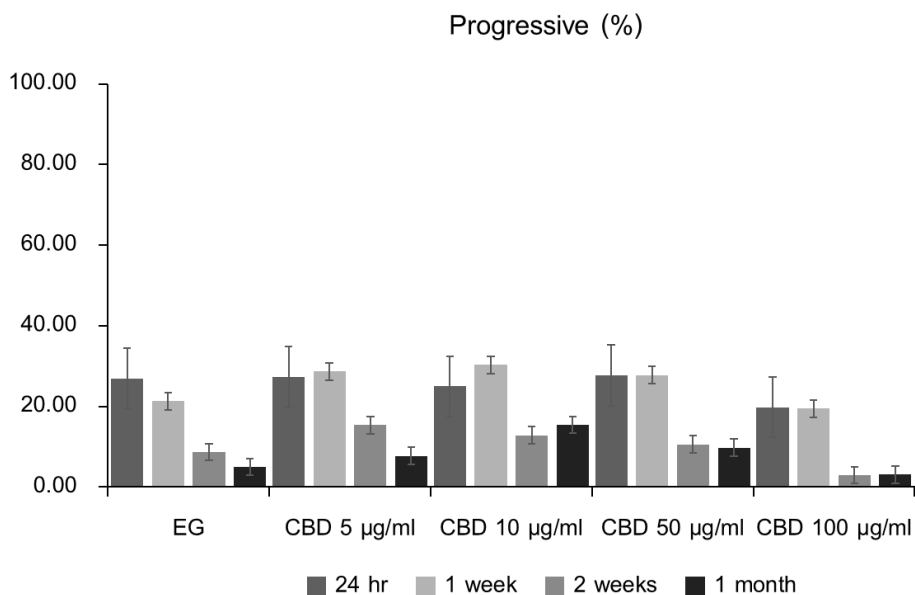


Figure 2. Percentage of forward motility (progressive) of sperm treated with different semen freezing extender (EG: Egg yolk base extender, CBD: Hemp base extender)

มีส่วนช่วยในการลดการผลิต reactive oxygen species (ROS) นอกจากนี้ยังพบว่า cannabidiol (CBD) ช่วยลดการก่อตัวของ amyloid ในเซลล์ประสาทโดยลดความเข้มข้นของไฮดรอกซีไลพิดและ cannabidiol (CBD) ยังเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการดูดซึมและการย่อยสลายของสารเอนโดแคนนาบินอยด์ ทำให้ความเข้มข้นของสารเหล่านี้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Alagbonsi *et al.* (2019) ที่ได้รายงานว่า สารสกัดกัญชาเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ลดความเครียด จากปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำเชื้อเป็นสารที่ช่วยป้องกันหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันช่วยกำจัดและลดปริมาณอนุมูลอิสระไม่ให้ไปทำลายสารประกอบของเซลล์ที่เป็นสาเหตุการตายของอสุจิ หรือค่า static สอดคล้องกับงานวิจัยของ Alagbonsi *et al.* (2019) รายงานว่าการเสริมสารสกัดกัญชาช่วยลดโปรแลคตินและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระต่อคุณภาพน้ำเชื้อหนูทดลอง โดยให้กินน้ำผสมน้ำมัน

กัญชา และทำการวิเคราะห์คุณภาพของอสุจิ จำนวนของอสุจิมีชีวิต และการเคลื่อนไหว ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอสุจิ พบว่า การให้สารสกัดกัญชาช่วยเพิ่มจำนวนมีชีวิตของอสุจิ และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอสุจิสมบูรณ์กว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม ในขณะที่การให้สารสกัดกัญชาและโปรโมคริปตินทำให้โปรแลคตินในเลือดในพลาสมาลดลง และเพิ่มฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

สัณฐานวิทยาของอสุจิ

สำหรับอสุจิที่มีสัณฐานวิทยารูปแบบหางคด (bent tail) พบว่า ในช่วงเวลาหลังการแช่แข็ง 24 ชั่วโมง กลุ่ม CBD 100 µg/mL (41.16 เปอร์เซ็นต์) มีอสุจิที่มีหางคดมากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในขณะที่หลังการแช่แข็งน้ำเชื้อที่ 1 สัปดาห์ 2 สัปดาห์ และ 1 เดือน ไม่มีความแตกต่างกันกับกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (Table 2)

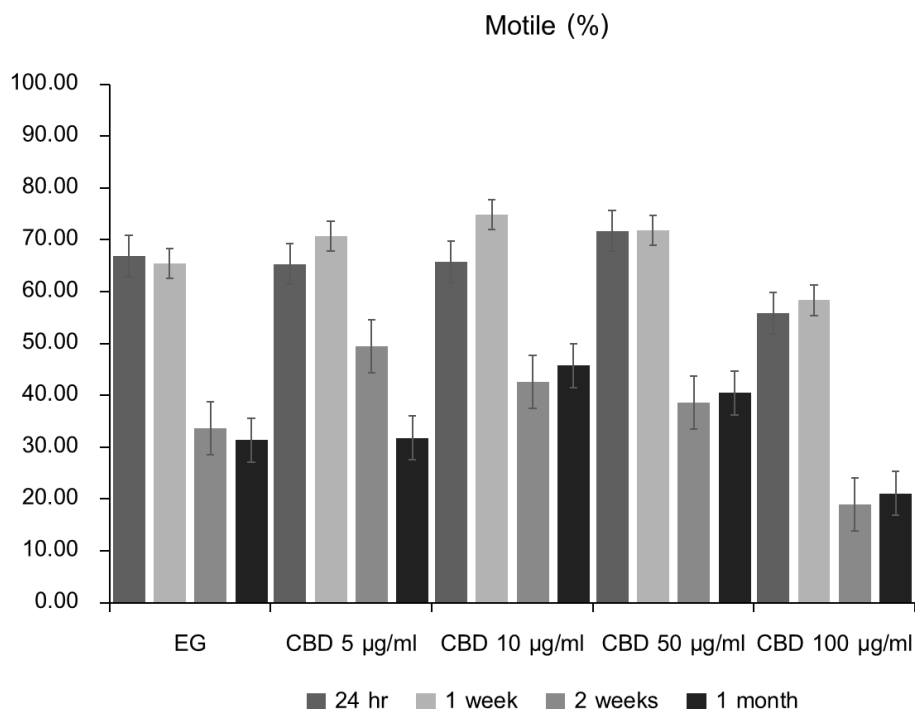


Figure3. Percentage of sperm motility (motile) that received different extender for freezing semen
(EG: Egg yolk base extender, CBD: Hemp base extender)

Table 2. Comparison results of morphology when receiving different semen extender after thawing (EG: Egg yolk base extender, CBD: Hemp base extender)

Concentration		24 hr	1 week	2 weeks	1 month
Bent Tail (%)	EG	37.92 ± 0.23 ^b	31.52 ± 0.64	17.74 ± 2.71	16.86 ± 1.93
	CBD 5 µg/mL	37.71 ± 1.11 ^b	34.28 ± 3.88	11.72 ± 2.47	11.91 ± 3.10
	CBD 10 µg/mL	36.74 ± 1.28 ^b	32.57 ± 3.12	12.88 ± 0.90	20.88 ± 1.23
	CBD 50 µg/mL	35.80 ± 0.84 ^b	29.63 ± 0.99	17.10 ± 2.97	24.06 ± 4.36
	CBD 100 µg/mL	41.16 ± 0.32 ^a	37.08 ± 0.20	18.87 ± 2.08	16.81 ± 2.47
	<i>P</i> -value	0.014	0.268	0.201	0.096
Coiled Tail (%)	EG	2.07 ± 0.34 ^a	1.59 ± 0.35	1.13 ± 0.20 ^{ab}	1.19 ± 0.45
	CBD 5 µg/mL	2.36 ± 0.27 ^a	1.46 ± 0.49	0.70 ± 0.09 ^c	1.07 ± 0.30
	CBD 10 µg/mL	1.83 ± 0.47 ^{ab}	1.09 ± 0.10	0.68 ± 0.10 ^c	1.27 ± 0.05
	CBD 50 µg/mL	0.78 ± 0.08 ^b	1.17 ± 0.16	0.80 ± 0.02 ^{bc}	1.06 ± 0.28
	CBD 100 µg/mL	2.72 ± 0.43 ^a	1.88 ± 0.17	1.18 ± 0.05 ^a	1.07 ± 0.12
	<i>P</i> -value	0.024	0.365	0.020	0.974
Proximal Droplet (%)	EG	3.10 ± 0.36	1.87 ± 0.12	4.49 ± 0.38	3.69 ± 0.66 ^b
	CBD 5 µg/mL	3.18 ± 0.51	1.90 ± 0.59	3.84 ± 0.07	3.27 ± 0.75 ^b
	CBD 10 µg/mL	2.66 ± 1.16	1.24 ± 0.43	3.77 ± 0.14	13.98 ± 1.79 ^a
	CBD 50 µg/mL	1.48 ± 0.45	1.38 ± 0.26	4.84 ± 1.11	11.81 ± 1.02 ^a
	CBD 100 µg/mL	4.39 ± 0.24	2.38 ± 0.16	5.09 ± 0.64	4.23 ± 0.21 ^b
	<i>P</i> -value	0.088	0.249	0.469	<0.001

^{a,b,c} show statistically significant differences ($P < 0.05$) in column

^a EG: Egg yolk base extender, CBD: Hemp base extender

ลักษณะสัณฐานวิทยาอสุจิที่มีรูปแบบหางคดเป็นวง (coiled tail) พบว่า ในช่วงเวลาหลังการแช่แข็ง 24 ชั่วโมง กลุ่ม CBD 100 µg/mL (2.72 เปอร์เซ็นต์) มีอสุจิที่มีหางคดเป็นวงมากกว่ากลุ่ม CBD 50 µg/mL (0.78 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มอื่น และช่วงเวลาหลังการแช่แข็งน้ำเชื้อที่ 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในขณะที่ช่วงเวลาหลังการแช่แข็ง 2 สัปดาห์ กลุ่ม CBD 100 µg/mL (1.18 เปอร์เซ็นต์) มีอสุจิที่หางคดเป็นวงมากกว่ากลุ่ม CBD 5 µg/mL (0.70 เปอร์เซ็นต์) กลุ่ม CBD 10 µg/mL (0.68 เปอร์เซ็นต์) และกลุ่ม CBD 50 µg/mL (0.80 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับกลุ่ม EG (1.13 เปอร์เซ็นต์) (Table 2)

อสุจิที่มีหยดน้ำเกาะบริเวณกลางตัว (proximal droplet) พบว่า ในช่วงเวลาหลังการแช่แข็ง 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ และ 2 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันกับกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในขณะที่ช่วงเวลาหลังการแช่แข็ง 1 เดือน กลุ่ม CBD 10 µg/mL (13.98 เปอร์เซ็นต์) มีอสุจิที่มีหยดน้ำเกาะบริเวณกลางตัวมากกว่ากลุ่ม EG (3.69 เปอร์เซ็นต์) กลุ่ม CBD 5 µg/mL (3.27 เปอร์เซ็นต์) และกลุ่ม CBD 100 µg/mL (4.23 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกับกลุ่ม CBD 50 µg/mL (11.81 เปอร์เซ็นต์) (Table 2)

จากการทดลองพบว่า สัณฐานวิทยาของอสุจิในกลุ่มที่เสริมสารสกัดกัญชงที่ระดับความเข้มข้น 100 µg/mL มีค่าอสุจิที่มีหางคด (bent tail) และอสุจิที่มีหางคดเป็นวง (coiled tail) มากกว่าทุกกลุ่มการทดลอง

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) มีรายงานว่า CBD ส่งผลต่อพฤติกรรมทางเพศ สัตว์ฐานวิทยาของตัวอสุจิ และความอุดมสมบูรณ์ของอะโครโซม และยังส่งผลต่อพฤติกรรมทางเพศของหนู (Carvalho *et al.*, 2018) ซึ่งสอดคล้องกับ Payne *et al.* (2019) ได้รายงานไว้ว่า สารกลุ่ม แคนนาบินอยด์มีผลต่อความผิดปกติของลักษณะ สัตว์ฐานวิทยาของอสุจิสูง ในหนูที่ถูกฉีดกระตุ้นทางช่องท้องเป็นระยะเวลา 35 วัน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Thun *et al.* (2002) ยังพบความแปรปรวนของผลการวิเคราะห์ CASA ที่อาจตรวจนับผิดพลาดจากการเสริมสารสกัดกัญชงในระดับที่สูงขึ้นจึงพบปริมาณของอสุจิที่มีหยดน้ำเกาะที่บริเวณหางและบริเวณกลางตัวของอสุจิจากกลุ่มที่มีการเสริมสารสกัดกัญชงมากกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่ง CBD เป็นหนึ่งในไฟโตแคนนาบินอยด์ที่ออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา มีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบ และมีสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังอยู่ในกลุ่มของสารประกอบที่มีคุณสมบัติในการคลายความวิตกกังวล (Carvalho *et al.*, 2018) ดังนั้น ปริมาณ CBD ที่สูงขึ้นอาจช่วยลดความเครียดและมีส่วนทำให้สมรรถภาพทางเพศของสัตว์ดีขึ้น และปริมาณ CBD ที่ต่ำกว่าอาจส่งผลให้เกิดการตอบสนองต่อความเครียดและขัดขวางพฤติกรรมทางเพศ ดังนั้นการประเมินทางสัตวฐานวิทยาของเซลล์อสุจิของหนูแสดงให้เห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางสัตวฐานวิทยาของอสุจิส่วนหางของ epididymis หลังการให้ CBD แบบเฉียบพลัน (Zimmerman *et al.*, 1982) ในทางกลับกันจากการประเมินเซลล์อสุจิของหนูที่อยู่ใน epididymal cauda (Patra and Wadsworth, 1991) และใน vas deferens (Carvalho *et al.*, 2018) หลังการให้ CBD เป็นระยะเวลานานส่งผลให้เกิดความผิดปกติในสัตวฐานวิทยาของหัวและหางของตัวอสุจิเพิ่มขึ้น

สรุป

จากการศึกษาการเสริมสารสกัดกัญชงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อค่าความดันออสโมติกของน้ำยาแช่แข็งน้ำเชื้อโค พบว่า สารสกัดกัญชงสามารถใช้เสริมในน้ำยาแช่แข็งน้ำเชื้อโคได้ที่มีความเข้มข้นที่ระดับ 5 และ

10 µg/mL เนื่องจากระดับการเสริมสารสกัดดังกล่าวยังคงค่าความดันออสโมติกของน้ำยาแช่แข็งน้ำเชื้อโคให้อยู่ในระดับที่นำไปใช้งานได้ และจากการศึกษาการเสริมสารสกัดกัญชงความเข้มข้นที่ระดับ 5 µg CBD/mL ในน้ำยาแช่แข็งน้ำเชื้อโค พบว่า เมื่อละลายน้ำเชื้อโคแช่แข็งจากน้ำยาที่มีการเสริมสารสกัดกัญชง ส่งผลให้อัตราการมีชีวิตรอดของอสุจิ ลักษณะการเคลื่อนที่ของอสุจิดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำยาแช่แข็งน้ำเชื้อโคพื้นฐานที่ไม่มีการเสริมสารสกัดกัญชง อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่องคือการทดสอบคุณสมบัติของอสุจิในการทดสอบภาคสนาม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา “ทุนศิษย์ก้นกุฏิ” จากบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณศูนย์ทดสอบ วิจัย และพัฒนากัญชงอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใบกัญชงในการทำวิจัย และขอขอบคุณศูนย์วิจัยและผลิตน้ำเชื้อโครงการหลวงอินทนนท์และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทดลอง สัตว์ทดลอง การผลิตน้ำเชื้อแช่แข็ง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเชื้อ และรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ผลทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Ahmadi, E., H. Nazari, N. Davoodian and A. Kadivar. 2020. Feasibility of long-term ovine epididymal spermatozoa preservation in a simple extender containing egg yolk. *Journal of Livestock Science and Technologies* 8(1): 59-67.
- Alagbonsi, A.I., L.A. Olayaki, H.A. Abdulrahim, T.S. Adetona and G.T. Akinyemi. 2019. Cannabinoid-deficient Benin republic hemp

- (*Cannabis sativa* L.) improves semen parameters by reducing prolactin and enhancing anti-oxidant status. BMC Complementary and Alternative Medicine 19(1): 132, doi: 10.1186/s12906-019-2541-5.
- Apimeteetumrong, M., J. Chansaad, B. Jongrakwattana, W. Khacheerum, A. Chumkaew and N. Leangcharuen. 2013. Pregnancy rate after timed insemination in goats synchronized for estrous for with short-term protocol. Agricultural Science Journal 44 1(Suppl.): 207-210. (in Thai)
- Baumber, J., B.A. Ball, C.G. Gravance, V. Medina and M.C. Davies-Morel. 2000. The effect of reactive oxygen species on equine sperm motility, viability, acrosomal integrity, mitochondrial membrane potential, and membrane lipid peroxidation. Journal of Andrology 21(6): 895-902.
- Carvalho, R.K., M.L. Santos, M.R. Souza, T.L. Rocha, F.S. Guimarães, J.A. Anselmo-Franci and R. Mazaro-Costa. 2018. Chronic exposure to cannabidiol induces reproductive toxicity in male Swiss mice. Journal of Applied Toxicology 38(9): 1215-1223.
- Jarassaeng, C. 1999. Semen Quality. Department of Surgery and Theriogenology, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University. Khon Kaen. 91 p. (in Thai)
- Department of Livestock Development. 2 012. Preparation of cattle strategic. (Online) . Available: <http://extension.dld.go.th/th1/> (June 5, 2021). (in Thai)
- El-Sisy, G.A., W.S. El-Nattat and R.I. El-Sheshtawy. 2007. Buffalo semen quality, antioxidants and peroxidation during chilling and cryopreservation. Online Journal of Veterinary Research 11: 55-61.
- El-Sisy, G.A., W.S. El-Nattat, R.I. El-Sheshtawy and A.M.A. El-Maaty. 2016. Substitution of egg yolk with different concentrations of soybean lecithin in tris-based extender during bulls' semen preservability. Asian Pacific Journal of Reproduction 5(6): 514-518.
- Forouzanfar, M., M. Sharafi, S.M. Hosseini, S. Ostadhosseini, M. Hajian, L. Hosseini and M.H. Nasr-Esfahani. 2010. *In vitro* comparison of egg yolk-based and soybean lecithin-based extenders for cryopreservation of ram semen. Theriogenology 73: 480-487.
- Kadirvel, G., S. Kumar, A. Kumaresan and P. Kathiravan. 2009. Capacitation status of fresh and frozen-thawed buffalo spermatozoa in relation to cholesterol level, membrane fluidity and intracellular calcium. Animal Reproduction Science 116(3-4): 244-253.
- Liu, Z. and R.H. Foote. 1998. Bull sperm motility and membrane integrity in media varying in osmolality. Journal of Dairy Science 81(7): 1868-1873.
- Padrik, P., T. Hallap, T. Kaart, T. Bulitko and Ü. Jaakma. 2012. Relationships between the results of hypo-osmotic swelling tests, sperm motility, and fertility in Estonian Holstein dairy bulls. Czech Journal of Animal Science 57(10): 490-497.
- Patra, P.B. and R.M. Wadsworth. 1991. Quantitative evaluation of spermatogenesis in mice following chronic exposure to cannabinoids. Andrologia 23(2): 151-156.
- Payne, K.S., D.J. Mazur, J.M. Hotaling and A.W. Pastuszak. 2019. Cannabis and male

- fertility: A systematic review. The Journal of Urology: 202(4): 674-681.
- Rehman, F.U., C. Zhao, M.A. Shah, M.S. Qureshi and X. Wang. 2013. Semen extenders and artificial insemination in ruminants. Veterinaria 1(1): 1-8.
- Rovetto, L.J. and N.V. Aieta. 2017. Supercritical carbon dioxide extraction of cannabinoids from *Cannabis sativa* L. The Journal of Supercritical Fluids 129: 16-27.
- Thun, R., M. Hurtado and F. Janett. 2002. Comparison of Biociphos-Plus® and TRIS-egg yolk extender for cryopreservation of bull semen. Theriogenology 57(3): 1087-1094.
- Uavechanichkul, R. 2008. Instruction Manual Control of Semen Quality Artificial Insemination Bull. Bureau of Biotechnology in Livestock Production, Department of Livestock Development, Bangkok. 177 p. (in Thai)
- Wadood, F., M. Aleem, A. Ijaz, N. Ahmad, M.S. Yousaf and D.H. Mughal. 2016. Effect of extender osmolality and butylated hydroxy toluene supplementation on post thaw quality and fertility of Nili Ravi buffalo bull (*Bubalus bubalis*) semen. The Journal of Animal & Plant Sciences 26(3): 605-611.
- Zimmerman, D.M., S.E. Smits, M.D. Hynes, B.E. Cantrell, M. Reamer and R. Nickander. 1982. Structural requirements for affinity and intrinsic activity at the opiate receptor defined in 4-phenylpiperidine and related series. pp. 112-118. In: Proceedings of the 41st Annual Scientific Meeting: Problems of Drug Dependence, 1981. The Committee on : Problems of Drug Dependence, Inc., San Francisco, CA.
-

การประเมินความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกอ้อย ที่มีเนื้อดินต่างกันโดยใช้โปรแกรม RETC

Evaluation of Available Soil Water Capacity in Different Textured Sugarcane Growing Soils Using RETC Program

บรรณพิชญ์ สัมฤทธิ์^{1,2,3} ณัฐพล จิตมัตย์^{1,4*} และ สุรเชษฐ์ อร่ามรักษ์¹
Bhannapitch Samrit^{1,2,3}, Natthapol Chittamart^{1,4*} and Surachet Aramrak¹

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

²กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²Soil Science Research Group, Agricultural Production Sciences Research and Development Division,
Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

³โครงการปริญญาเอกเฉลิมพระเกียรติทรงครองราชย์ 70 ปี สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

³Research Funding Agricultural Research Development Agency (Public Organization) "Chalermprakit Ph.D. 70 years reign Project"

⁴ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการวิจัยดินแห่งภูมิภาคเอเชีย กรมพัฒนาที่ดิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

⁴Center of Excellence for Soil Research in ASIA (CESRA), Land Development Department,
Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: Email: fagmpc@ku.ac.th

(Received: 22 November 2022; Accepted: 12 May 2023)

Abstract: The assessment of available soil water capacity (θ_{AWC}) of tropical soils is often inconsistent with the appropriate determination of the field capacity (θ_{FC}) in different soil textures, which affects identifying critical water content and irrigation. This study aimed to compare the assessment method of θ_{FC} by hydraulic parameters from soil water retention curve (SWRC) to θ_{FC} at pF 2.0, a standard method used for laboratory pressure apparatus for evaluation of θ_{AWC} of different textural sugarcane growing soils in grouping to coarse, medium, fine, and gravelly textures, 3 locations of each textural type were collected at the depths of 0-Ap, Ap-60, and 60 - 100 centimeters. Particle size distribution, bulk density (ρ_b), and soil water content (θ_v) at pF levels 0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, and 4.2 were analyzed, then the θ_{FC} was estimated at maximum hydraulic capacity ($C_w(h)$) from SWRC obtained from experiment data with van Genuchten's model in RETC program. The results found that the predicted (θ_{FC} at $C_w(h)$) value was below pF 2.0, which was in the pF of 0.85 - 1.78. Therefore, this suggested that the assessments to θ_{FC} at $C_w(h)$ depend on textural types and can be applied in the laboratory to determine more accurate critical soil water content, intervals, and amount of irrigation for sugarcane.

Keywords: Field capacity, hydraulic capacity, available soil water capacity, soil water retention curve, RETC program, sugarcane growing soils

บทคัดย่อ: การประเมินความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (θ_{AWC}) ของดินเขตร้อน พบว่ามีความผันแปรและคลาดเคลื่อนจากการกำหนดจุดความจุความชื้นสนาม (θ_{FC}) ไม่เหมาะสมกับลักษณะเนื้อดิน ซึ่งมีผลต่อการประเมินความชื้นวิกฤตและการให้น้ำ การศึกษานี้เป็นการประเมินความจุความชื้นสนามของดินด้วยตัวแปรชลศาสตร์จากกราฟเส้นโค้งการยึดน้ำของดิน (SWRC) กับ θ_{FC} ที่ pF 2.0 ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ได้จากเครื่องอัดแรงดันให้กับน้ำในตัวอย่างดินภายในหม้อความดัน เพื่อใช้ประเมิน θ_{AWC} ในดินปลูกอ้อยที่มีลักษณะเนื้อดินและ SWRC แตกต่างกัน ในจังหวัดสระแก้ว ได้แก่ กลุ่มดินเนื้อหยาบ ปานกลาง ละเอียดย และปนกรวด อย่างละ 3 บริเวณ ที่ช่วงความลึก ได้แก่ 0-Ap, Ap-60 และ 60 - 100 เซนติเมตร ทำการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคดิน ความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) และความชื้นดินโดยปริมาตร (θ_v) ที่แรงดึงน้ำของดินที่ pF 0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.2 จากนั้นทำการประเมิน θ_{FC} จาก SWRC โดยประเมิน θ_{FC} ณ ความจุชลศาสตร์สูงสุด ($C_w(h)$) ที่คำนวณจากตัวแปรชลศาสตร์จากโมเดล van Genuchten ในโปรแกรม RETC พบว่าค่า θ_{FC} ณ $C_w(h)$ อยู่ต่ำกว่า pF 2.0 ซึ่งอยู่ในช่วง pF 0.85-1.78 ดังนั้น ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า θ_{FC} ณ $C_w(h)$ ขึ้นกับลักษณะเนื้อดิน และสามารถนำไปปรับใช้ในห้วงปฏิบัติการ เพื่อกำหนดค่าความชื้นวิกฤต ช่วงระยะเวลา และการให้น้ำสำหรับอ้อยได้แม่นยำขึ้น

คำสำคัญ: ความจุความชื้นสนาม, ความจุชลศาสตร์, ความจุความชื้นดินที่เป็นประโยชน์, เส้นกราฟโค้งการยึดน้ำของดิน (SWRC), โปรแกรม RETC, ดินปลูกอ้อย

คำนำ

การปลูกอ้อยแบบข้ามแล้งในช่วงฝนทิ้งช่วง (dry spell) ช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมีนาคม ในจังหวัดสระแก้ว ซึ่งเป็นแหล่งปลูกที่สำคัญของประเทศไทย จำเป็นต้องมีการจัดการให้น้ำเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตอ้อย ซึ่งการกำหนดปริมาณและเวลาการให้น้ำแก่พืชทั่วไปต้องอาศัยความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน ที่ขึ้นกับความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (θ_{AWC}) ซึ่งถูกควบคุมด้วยลักษณะเนื้อดินและโครงสร้างดินเป็นสำคัญ จากการศึกษาสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ปลูกอ้อยดังกล่าว มีรายงานว่าสมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่สำคัญคือลักษณะเนื้อดิน โครงสร้างดิน และความหนาแน่นรวมของดิน มีความแปรปรวนค่อนข้างสูง (Tawornpruek *et al.*, 2015) ซึ่งส่งผลให้ค่า θ_{AWC} มีความผันแปรสูงเช่นกัน เป็นที่ทราบกันดีว่า θ_{AWC} สูงสุดในกลุ่มดินเนื้อปานกลาง รองลงมาเป็นกลุ่มดินเนื้อละเอียดย และดินเนื้อหยาบตามลำดับ ซึ่งน้ำในดินถูกดูดซับไว้ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินด้วยแรงดึงน้ำที่ระดับต่าง ๆ ที่ผันแปรตามระดับปริมาณความชื้นในดิน ระดับแรงดึงน้ำของดินเป็นค่าที่กำหนดความยากง่าย

ในการที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งค่าพิคคบนของความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชคือค่าความจุความชื้นสนาม (field capacity, θ_{FC}) ที่ระดับแรงดึงน้ำ pF 2.0 พืชดูดน้ำจากดินได้ง่ายสุด และยากเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดึงน้ำของดินเพิ่มขึ้น ขณะที่ความชื้นดินลดลงจนถึงระดับพิคกลางของความชื้นที่เป็นประโยชน์ คือจุดเหี่ยวถาวร (wilting point, θ_{WP}) ซึ่งมีระดับแรงดึงน้ำที่ pF 4.2 ช่วงความชื้นระหว่าง θ_{FC} และ θ_{WP} คือค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์, θ_{AWC} หรือ $\theta_{AWC} = \theta_{FC} - \theta_{WP}$ (Yingjajaval and Sangkhasila, 1991) การศึกษาลักษณะเส้นกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (θ_v) และแรงดึงน้ำ (θ_h) ของดินที่ระดับต่าง ๆ หรือกราฟเส้นโค้งการยึดน้ำของดิน (soil water retention curve, SWRC หรือ soil water characteristic curve, SWCC) เป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการวางแผนการจัดการน้ำสำหรับพืช โดยการประเมินความชื้นวิกฤตเพื่อกำหนดเวลาและปริมาณการให้น้ำ ค่า θ_{FC} ที่ยอมรับจากผลการวัดในห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ดินทั่วไปนิยมใช้กันตามประเภทเนื้อดินและลักษณะโครงสร้างดินที่แตกต่างกัน โดยมีระดับแรงดึงน้ำที่ผันแปรระหว่าง pF 1.8 - 2.5 โดยข้อมูลจากผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความจุความชื้นสนาม (field

capacity, FC) ตามคำจำกัดความที่กำหนดไว้เป็นพื้นฐานที่ยอมรับกันทั่วไป จากผลการศึกษาของ Yingjajaval and Sangkhasila (1991) สามารถอนุมานได้ว่าค่า θ_{FC} ที่ระดับ pF 2.0 ของกรมวิชาการเกษตร น่าจะอยู่ในช่วงพลังงานที่ใกล้เคียงและเหมาะสมกับดินเขตร้อน และจากการศึกษาของ Panawong (2021) พบว่า การหาค่า θ_{FC} ต้องหาค่าความจุชลศาสตร์สูงสุด $C_w(h)$ ที่มีค่าสูงสุด เพื่อประเมิน SWRC โดยใช้สมการ van Genuchten บนพื้นฐานของ Mualem (1976) และใช้โปรแกรม RETC ช่วยในการประเมินค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ (hydraulic parameters) ที่ไม่ทราบค่า และพบว่าค่า θ_{FC} ณ $C_w(h)$ สูงสุด มีค่ามากกว่าที่ความดัน 0.33 บาร์ (pF 2.5) ดังนั้น การศึกษานี้จึงนับได้ว่าเป็นการยืนยันการกล่าวไว้ในปี 1991 ข้างต้น ในทิศทางที่ว่าจุด θ_{FC} ควรมีความดันที่ต่ำกว่า 0.33 บาร์นั่นเอง ดังนั้นการใช้โปรแกรม RETC ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินค่าพารามิเตอร์ของสมการ van Genuchten (Alaboz *et al.*, 2021) น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีในการวิเคราะห์หาค่าพิกัดบน ในการศึกษาจึงเลือกทำการวิเคราะห์ θ_{FC} ที่ pF 2.0 เพื่อเป็นการยืนยันการกล่าวของ Yingjajaval and Sangkhasila (1991) อีกครั้งว่า θ_{FC} ควรตรงกับพลังงานในช่วงที่ต่ำกว่าค่าความดันนี้

การศึกษานี้ได้กำหนดค่า θ_{FC} ที่ระดับ $C_w(h)$ สูงสุดเป็นค่าที่เหมาะสม ทำการยืนยันเหมือนกับการศึกษาในปี ค.ศ. 2021 แต่เปลี่ยนจากระดับแรงดึงน้ำที่ pF 2.5 เป็น pF 2.0 โดยผลลัพธ์ที่ได้หากทราบค่า θ_{FC} ที่จุดที่ถูกต้องในแต่ละลักษณะเนื้อดินแล้ว สามารถนำมาปรับใช้ในห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ดินได้ถูกต้อง และส่งผลให้ทราบค่า θ_{AWC} ถูกต้องแม่นยำด้วยการศึกษานี้เป็นการประเมิน θ_{FC} ของดินด้วยตัวแปรชลศาสตร์จากกราฟเส้นโค้งลักษณะความชื้นในดิน (SWRC) กับ θ_{FC} ที่วิธีมาตรฐานที่ใช้เป็นทฤษฎี เพื่อเป็นข้อมูล θ_{AWC} สำหรับวางแผนการให้น้ำ กำหนดช่วงความถี่ และปริมาณน้ำที่ให้แก่อ้อยและพืชชนิดอื่น ๆ ก่อนถึงจุดวิกฤตได้อย่างแม่นยำและถูกต้องมากขึ้นต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ศึกษาแผนที่ชุดดิน จังหวัดสระแก้ว ของกรมพัฒนาที่ดิน (scale 1 : 25,000) ปี ค.ศ. 2019 โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดิน ได้แก่ กลุ่มดินเนื้อหยาบปานกลาง ละเอียด และปนกรวด อย่างละ 3 บริเวณ โดยเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 3 ชั้นดิน ได้แก่ 0-Ap, Ap-60 และ 60 - 100 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการให้น้ำแก่อ้อยที่ปลูกในพื้นที่ดังกล่าวได้ ทำการเก็บตัวอย่างดินทั้งแบบรบกวน และไม่รบกวนโครงสร้างของดิน (disturbed and undisturbed soil samples) โดยใช้กระบอกลูกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) และหลอดเจาะเก็บดินที่ใช้ในภาคสนามทั่วไป

2. ตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้างนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการประกอบไปด้วยการกระจายของอนุภาคดิน โดยวิธี pipette (Day, 1965) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของเนื้อดิน (soil textural class) ตามระบบการจำแนกประเภทเนื้อดินที่นิยมใช้เป็นสากล (National Soil Survey Center, 1996) โดยใช้สามเหลี่ยมการแจกแจงเนื้อดินที่ดัดแปลงจาก Nemes and Rawls (2004) และชั้นของเนื้อดิน (soil textural classes) (Montanarella *et al.*, 1998) (Figure 1)

3. ตัวอย่างดินที่ไม่รบกวนโครงสร้าง นำมาวิเคราะห์ความชื้นดินโดยใช้เครื่องอัดแรงดันให้กับน้ำในดินภายในหม้อความดัน (soil moisture pressure plate apparatus, pressure cooker apparatus) (Gardner, 1965) ที่ระดับ pF 0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 4.2 จากนั้นคำนวณปริมาณความชื้นในดินของตัวอย่างโดยปริมาตร (θ_v) ($\text{cm}^3 \text{ water cm}^{-3} \text{ soil}$) ที่ความดันที่ใช้แต่ละระดับและคำนวณความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) โดยวิธีชั่งมวลดินที่อบแห้งสนิทจากตัวอย่างดินที่เก็บแบบไม่รบกวนโครงสร้างแล้วหารด้วยปริมาตรของกระบอกลูกที่ใช้เก็บตัวอย่างดินโดย core method (Blake and Hartge, 1986)

4. ทำการสร้างเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (θ_v) และแรงดึงน้ำ (θ_h) ของดินที่มีลักษณะเนื้อดินแตกต่างกัน โดยใช้โมเดล van Genuchten

(1980) ด้วยโปรแกรม RETC จำเป็นต้องมีการประเมินค่าตัวแปรทางชลศาสตร์ที่สำคัญที่ได้แก่ θ_r , θ_s , α , n และ m โดยข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างดิน คือปริมาณเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคขนาดทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay), ρ_b , θ_v ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มชนิดเนื้อดินของแต่ละระดับความลึกของดิน (Table 1 และ Table 2) เป็นข้อมูลที่ต้องบันทึกลงในโปรแกรม RETC (input data)

สำหรับการแปลงค่าความดันในหน่วย pF ($\log_{10}$ matric potential in cm H₂O) เป็นเฮดของความดัน

(pressure head (cm)) เพื่อใช้ในโปรแกรม RETC โดยที่ pF 0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 4.2 เท่ากับ 1, 10, 31.62, 100, 316.23, 1000 และ 15849 ตามลำดับ หลังจากนั้นตรวจสอบ pF 2.0 ว่าตรงกับหน่วยความดันเท่ากับกี่บาร์ (bar) โดยแปลงหน่วยเฮดความดันให้เป็นหน่วยเมตร แล้วแปลงกลับ (convert) ไปเป็นบาร์ ผลลัพธ์ที่ได้คือ 0, 0.01, 0.031, 0.098 (0.1), 0.310 (1/3 $\approx$ 0.33), 0.98 และ 15.5 บาร์ ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่าที่ pF 2.0 คือความดันที่ 0.1 บาร์ และ pF 2.5 คือความดันที่ 1/3 หรือ 0.33 บาร์

Table 1. Particle size distribution and bulk density of the studied sugarcane growing soil

Depth (cm)	Average values for the RETC program			
	Particle size distribution ¹ (%)			ρ_b (g cm ⁻³)
	Sand	Silt	Clay	
Coarse to medium texture ² ; SL, SCL, LS; (n=3)				
0-Ap	70	15	15	1.59
Ap-60	65	14	21	1.70
60-100	71	14	15	1.66
Medium to fine texture; CL, (SG)L, (G)SCL, (SG)CL, (G)CL, (G)CL, (VG)SL; (n=3)				
0-Ap	30	40	30	1.40
Ap-60	32	38	30	1.57
60-100	41	28	31	1.71
Fine to very fine texture; C, (SG)C, (G)C (n=3)				
0-Ap	19	31	50	1.31
Ap-60	17	29	54	1.37
60-100	29	21	50	1.46
Gravelly (medium textured); (VG)CL, (VG)SCL, (VG)SL, (EG)SL, (EG)SCL; (n=3)				
0-Ap	59	17	24	1.59
Ap-60	62	18	20	1.65
60-100	60	16	24	1.83

¹ USDA textural classes (National Soil Survey Center, 1996): S, sand; LS, loamy sand; SL, sandy loam; SCL, sandy clay loam; SC, sandy clay; L, loam; CL, clay loam; C, clay; SiL, silt loam; SCL, silty clay loam; SiC, silty clay; Si, silt and G, gravel >35% SG = slightly gravelly, < 15 %vol; G = gravelly; 15 - 35 %vol; VG = very gravelly, 35 - 60 %vol; EG = extremely gravelly, > 60 %vol.

²FAO Soil Map of Europe (Montanarella *et al.*, 1998; Nemes and Rawls, 2004); FAO textural classes: C, coarse; M, medium; MF, medium fine; F, fine; V, very fine

Table 2. Average soil water content at different suction head varied from pF 0 to pF 4.2 within a different soil depth intervals

Code	Depth (cm)	Soil water content (cm ³ (water) cm ⁻³ (soil))						
		pF 0	pF 1.0	pF 1.5	pF 2.0	pF 2.5	pF 3.0	pF 4.2
CTM (SR6, SR9, SR10)	Ave.(0-Ap)	0.355	0.333	0.310	0.268	0.228	0.197	0.190
	Ave.(Ap-60)	0.338	0.325	0.311	0.284	0.247	0.210	0.182
	Ave.(60-100)	0.351	0.329	0.308	0.247	0.224	0.193	0.190
MTF (SR1, SR3, SR5)	Ave.(0-Ap)	0.509	0.473	0.440	0.399	0.383	0.355	0.351
	Ave.(Ap-60)	0.448	0.404	0.380	0.357	0.342	0.319	0.306
	Ave.(60-100)	0.460	0.421	0.405	0.389	0.372	0.356	0.356
FTVF (SR2, SR4, SR7)	Ave.(0-Ap)	0.574	0.500	0.458	0.416	0.392	0.364	0.360
	Ave.(Ap-60)	0.545	0.480	0.457	0.425	0.412	0.392	0.382
	Ave.(60-100)	0.558	0.522	0.495	0.466	0.449	0.434	0.434
G(M) (SR8, SR11, SR12)	Ave.(0-Ap)	0.384	0.351	0.321	0.265	0.246	0.224	0.220
	Ave.(Ap-60)	0.337	0.278	0.258	0.237	0.220	0.200	0.186
	Ave.(60-100)	0.351	0.265	0.245	0.229	0.217	0.204	0.205

5. นำค่าตัวแปรทางชลศาสตร์ (Hydraulic parameters) ต่าง ๆ จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม RETC (Table 3) มาคำนวณความชื้นของดิน (θ_h) โดยแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ทางชลศาสตร์ดังกล่าวที่แสดงไว้ดังสมการที่ 1 ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยอาศัยโมเดลของ Mualem (1976) และ van Genuchten (1980) เป็นพื้นฐานในการคำนวณ ซึ่งดินอยู่ในฟังก์ชันของเฮดความดัน และทำการหาอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง ทำให้ทราบค่าความจุชลศาสตร์ ($C_w(h)$) ตามสมการที่ได้จากการทดลอง (Empirical Equation) ของ van Genuchten (1980) รูปฟังก์ชันไฮเปอร์โบลา ดังสมการที่ 2 ใช้คาดการณ์ SWRC (van Genuchten 1980, Panawong, 2021)

$$\theta(h) = \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^{1/m}} \quad (1)$$

$$C(h) = \frac{\alpha^n [\theta_s - \theta_r] m n (-h)^{n-1}}{[1 + (-\alpha h)]^{m+1} + \theta_r} \quad (2)$$

โดยที่ θ_h = ความชื้นของดินที่ระดับแรงดึงน้ำ h (cm³ cm⁻³), θ_r = ความชื้นที่ตกค้างในดิน (cm³ cm⁻³), θ_s = ความชื้นอิ่มตัวของดิน (cm³ cm⁻³), h = เฮดแรงดึงน้ำของดิน (soil water suction head, cm), α , n , m คือค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดรูปร่างของเส้นกราฟ โดย $m = 1 - (1/n)$ (Mualem, 1976) จากนั้นสร้างเส้นกราฟ SWRC แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำของดิน (h) ที่มีหน่วยเป็นค่า pF ($pF = \log_{10} h$) ระดับต่าง ๆ กับค่าความชื้นของดิน $\theta(h)$ ที่แรงดึงน้ำ (h) ระดับต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากการแทนค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดโดยตรงในห้องปฏิบัติการ (observed data) และค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการประเมินด้วยโปรแกรม RETC (predicted data) ตามสมการที่ (1)

6. ประเมินค่าความจุชลศาสตร์ (hydraulic capacity, $C_w(h)$) โดยทำการคำนวณค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินเทียบกับการเปลี่ยนแปลงแรงดึงน้ำของดิน ($d\theta/dh$) เพื่อแสดงระดับแรงดึงน้ำที่สามารถปลดปล่อยน้ำสูงสุดซึ่งกำหนดให้เป็นค่าความจุชลศาสตร์ $C_w(h)$ โดยนำ

Table 3. Hydraulic parameters from SWRC predicted by van Genuchten's model using RETC program version 6.02

Code	θ_s , (cm ³ cm ⁻³)	θ_r , (cm ³ cm ⁻³)	α , (cm ⁻¹)	n	m
CTM 0-Ap	0.371	0.051	0.031	1.419	0.295
CTM Ap-60	0.347	0.053	0.031	1.267	0.211
CTM 60-100	0.351	0.048	0.034	1.377	0.274
MTF 0-Ap	0.432	0.079	0.010	1.485	0.327
MTF Ap-60	0.389	0.073	0.012	1.404	0.288
MTF 60-100	0.354	0.064	0.020	1.249	0.200
FTVF 0-Ap	0.496	0.100	0.017	1.327	0.247
FTVF Ap-60	0.483	0.099	0.017	1.297	0.229
FTVF 60-100	0.448	0.094	0.019	1.272	0.214
G(M) 0-Ap	0.381	0.061	0.024	1.314	0.239
G(M) Ap-60	0.359	0.053	0.028	1.304	0.233
G(M) 60-100	0.315	0.050	0.035	1.186	0.157

θ_r : residual water content (cm³ cm⁻³), θ_s : saturated water content (cm³ cm⁻³), α (cm⁻¹), n and m are shape parameters

ค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์จากโปรแกรม RETC มาแทนค่าตัวแปรตามสมการ 3 (Mualem, 1970; van Genuchten, 1980, Panawong, 2021) ดังนี้

$$C_w(h) = \frac{\alpha^n [\theta_s - \theta_r] m n (-h)^{n-1}}{[1 + (\alpha h)]^{m+1}} \quad (3)$$

โดยที่ ความหมายตัวแปรต่าง ๆ ได้แสดงดังสมการที่ 1 และ 2 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรม RETC เวอร์ชัน 6.02 เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่าย สามารถใช้ประเมินตัวแปรทางชลศาสตร์จากข้อมูลจริงโดยใช้ลักษณะความชื้นดิน (soil water retention) และฟังก์ชันตัวแปรทางชลศาสตร์ของดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำที่ใช้อธิบายปริมาณการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านในช่วงโซนที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำของดิน โปรแกรมนี้ใช้พารามิเตอร์ของโมเดล Brooks and Corey (1964), van Genuchten. (1980), lognormal distribution model ของ Kosugi (1996) และ dual-permeability model ของ Durner (1994) (van Genuchten *et al.*, 1991)

7. ทำการประเมินความคลาดเคลื่อนของผลการประเมิน (assessment of the predictions) โดยเปรียบเทียบกับค่า θ_{FC} ที่ได้จากการวัดในห้องปฏิบัติการ กับ θ_{FC} ที่จุด $C_w(h)$ ที่คำนวณด้วยตัวแปรชลศาสตร์จากโมเดล van Genuchten ในโปรแกรม RETC โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error; RMSE) (Table 2) ว่ามีผลความคลาดเคลื่อนอย่างไรต่อ θ_{FC} และ θ_{AWC} โดยใช้ θ_{WP} ที่จุด pF 4.2 ที่ได้จากการวัดในห้องปฏิบัติการเหมือนกันตามสมการที่ 4 (Alaboz *et al.*, 2021)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Z_i - Z)^2}{n}} \quad (4)$$

โดยที่ Z_i คือ ค่าที่ได้จากการประเมินจาก van Genuchten Model จากโปรแกรม RETC (predicted data), Z คือ ค่าที่ได้จากการทดลองที่ pF 2.0 (observed data) และ n คือ จำนวนของการทดลอง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. การกระจายของอนุภาคดิน การจำแนกประเภทเนื้อดิน และความหนาแน่นรวมของดิน

สมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญใน Table 1 คือ การแจกกระจายของอนุภาคดิน ได้แก่ %sand %silt และ %clay ดินที่ทำการศึกษาอยู่ใน 3 ชั้นเนื้อดิน และดินปนกรวด (Figure 1) ได้แก่ 1. กลุ่มดินเนื้อหยาบ (coarse; C) ถึงปานกลาง (medium; M) (CTM1_SR6, CTM2_SR9, CTM3_SR10) มีเนื้อดินเป็นร่วนปนทราย ร่วนเหนียวปนทราย และทรายปนร่วน 2. กลุ่มดินเนื้อปานกลาง ถึงละเอียด (fine; F) (MTF1_SR1, MTF2_SR3, MTF3_SR5) มีเนื้อดินเป็นร่วนปนทราย ร่วนเหนียวปนทราย และร่วนเหนียว บางชั้นดินมีกรวดปนในปริมาณเล็กน้อย 3. กลุ่มดินเนื้อละเอียดถึง

ละเอียดมาก (very fine; VF) (FTVF_SR8, FTVF_SR11, FTVF_SR12) มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว และบางชั้นดินมีกรวดปนอยู่บ้าง และ 4. ดินปนกรวด (gravel) (G1_SR8, G2_SR11, G3_SR12) ซึ่งมีกรวดมากถึง 35 - 75 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อยู่ในกลุ่มดินเนื้อปานกลาง มีเนื้อดินเป็นร่วนเหนียว ร่วนเหนียวปนทราย และร่วนทราย ความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) อยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงสูง (1.36 - 1.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยเฉพาะดินกรวดที่มีชิ้นส่วนของหินมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยทั่วไปดินบนมีความหนาแน่นรวมต่ำกว่าเนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าซึ่งเป็นลักษณะของดินเขตร้อนโดยทั่วไป และมีการเคลื่อนย้ายอนุภาคนาโนดินเหนียวสู่ดินล่างซึ่งอนุภาคจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ในที่ว่างต่างๆ ในดิน ทำให้ดินแน่นทึบขึ้น

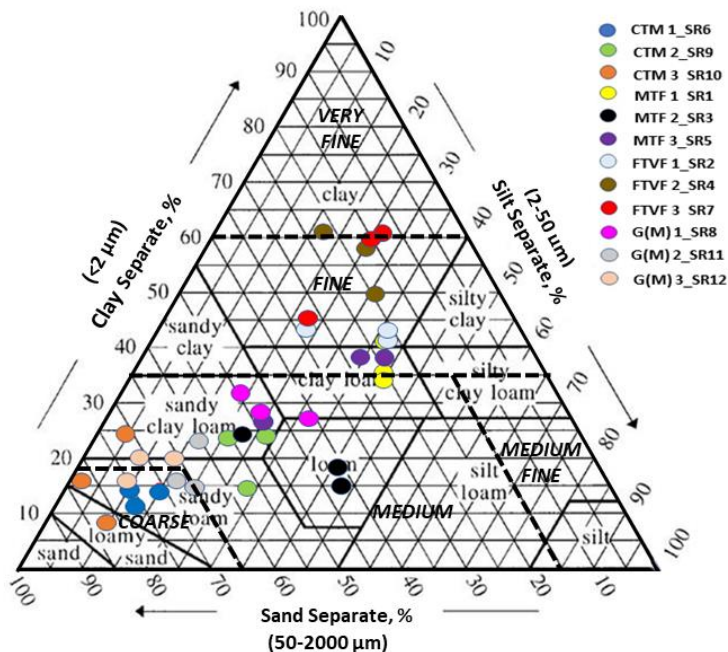


Figure 1. A triangular grid (modified from Nemes and Rawls, 2004), Textural classification systems of the study according to USDA (National Soil Survey Center, 1996), USDA classes: sand; loamy sand, sandy loam, sandy clay loam, sandy clay, loam, clay loam, clay, silt loam, silty clay loam, silty clay, silt and G, gravel >35% and as defined by the FAO Soil Map of Europe (Montanarella *et al.*, 1998; Nemes and Rawls, 2004); FAO classes: C, coarse; M, medium; MF, medium fine; F, fine; V, very fine

2. เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (θ_v) และแรงดึงน้ำ (θ_h) ของดิน (soil water retention curve, SWRC)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดโดยตรงในห้องปฏิบัติการ (observed data) ใน Table 2 และค่า θ_h ที่ได้จากการสมการที่ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากโมเดล van Genuchten (predicted data) สามารถสร้างเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (θ_v) และแรงดึงน้ำ (θ_h) ของดิน ที่ชื่อกราฟเส้นโค้งการยึดน้ำของดิน (soil water retention curve, SWRC) (Figure 2) โดยแบ่งส่วนต่าง ๆ ของกราฟเป็น 3 ช่วง ตามที่ Radcliffe and Simunek (2010) และ Panawong (2021) ได้รายงานไว้ คือ (1) air-entry คือความชื้นดินตั้งแต่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ (pF 0) จนถึงจุดรั่วอากาศ (pF 2.0) (2) capillary คือค่าความชื้นดินที่อาศัยแรงดึงจากช่องขนาดเล็กในดิน ซึ่งเป็นที่บรรจุน้ำที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (3) adsorption คือค่าความชื้นดินที่ถูกดูดยึดด้วยแรงที่สูงมาก

ผลลัพธ์ที่ได้จากพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด สำหรับโมเดล van Genuchten ดังแสดงใน Table 3 ซึ่งจัดว่าเป็น best fitting ระหว่าง fitting curve จากโปรแกรม RETC และค่าที่ได้จากการวัดโดยตรง (observed) จากลักษณะของ SWRC สำหรับเนื้อดินทุกประเภท (Figure 2) พบว่า เมื่อแรงดึงของดินเพิ่มขึ้น ความชื้นดินลดลง เนื่องจากน้ำถูกดูดซับไว้ในช่องว่างขนาดเล็กเพิ่มขึ้น และแรงดูดซับจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดช่องว่างที่มีน้ำอยู่ โดยมีลักษณะกราฟเป็นแบบซิกมอยด์ (sigmoidal curve) คล้ายรูปตัวเอส (S) แต่ละลักษณะดินมีการกระจายตัวทั้งแบบไม่เกาะกลุ่ม และเกาะกลุ่ม ลักษณะของ SWRC สำหรับเนื้อดินประเภทต่าง ๆ มีความชันที่มีลักษณะคล้ายกันในทุกช่วง ยกเว้นกลุ่มดินเหนียวปานกลาง (CTM) ที่มีความชันสูงกว่ากลุ่มดินอื่น ในช่วง air-entry และ capillary มีแนวโน้มโดยรวมความชื้นต่ำสุดในทุกช่วง โดยเฉพาะชั้นดินบน (0-Ap) การมีความชื้นที่สูงส่งผลต่อสัดส่วนความชื้นดินลดลงอย่างรวดเร็ว

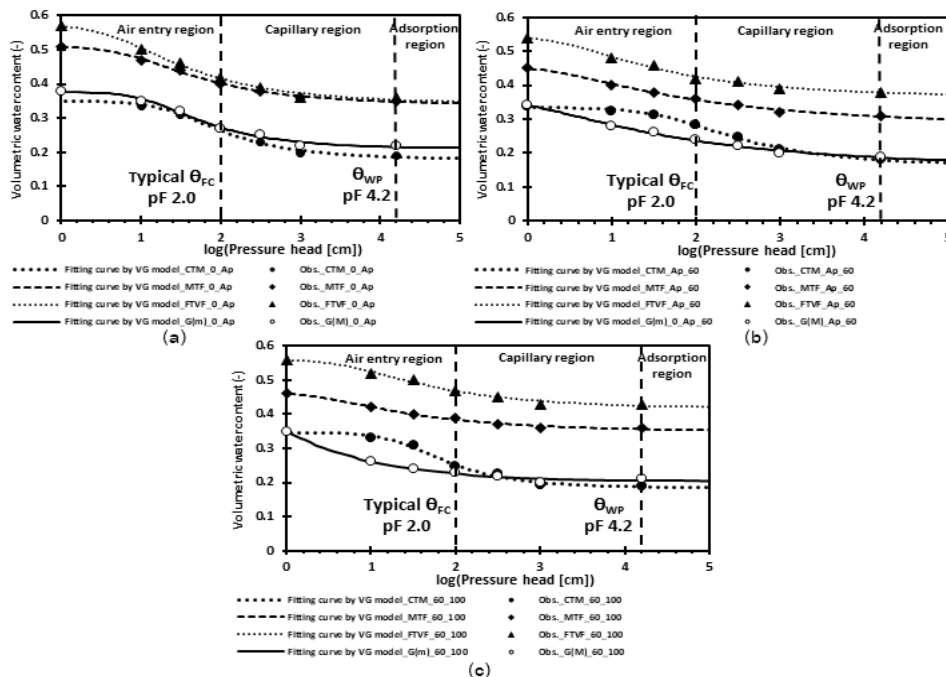


Figure 2. Prediction of the soil water retention curve (SWRC) for different soil depth interval, (a) 0 - Ap cm, (b) Ap-60 cm and (c) 60 - 100 cm, of the studied soils using the van Genuchten model by RETC program version 6.02 and Microsoft Excel

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นเริ่มตั้งแต่ช่วง air-entry จะเห็นว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินสูงสุดในทุกช่วงในกลุ่มดินเนื้อละเอียดถึงละเอียดมาก (FTVF) รองลงมา เป็นเนื้อปานกลางถึงละเอียด (MTF) ส่วนดินเนื้อหยาบถึงปานกลาง (CTM) กับดินกรวดที่มีเนื้อปานกลาง (G(M)) มีปริมาณน้ำใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชั้นดิน แต่ดินกรวดมีปริมาณน้ำที่ต่ำกว่าและมีความชื้นน้อยมากแทบจะเป็นเส้นตรง เนื่องจากปริมาณกรวดที่สูง โดยเฉพาะในชั้นดินล่างที่มีกรวดถึง 37 - 75 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร (Table 1) ซึ่งส่งผลต่อการเก็บความชื้นในดิน ส่วนช่วง adsorption ปริมาณน้ำจะลดลงจนคงที่จนขนานกับแกน x เป็นจุดที่เลย θ_{wp} ที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หากดินขาดน้ำเป็นเวลานานทำให้ห้อยไม่สามารถดูดใช้น้ำและตายได้

3. ความจุศาสตร์ (hydraulic capacity; $C_w(h)$) และผลการประเมินค่าความจุความชื้นสนาม (Field capacity, FC)

ผลการประเมินค่าความจุศาสตร์ ($C_w(h)$) ที่แรงดึงน้ำระดับต่าง ๆ ที่ได้จากสมการที่ 3 นำมาสร้างกราฟ (Figure 3) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำ ($\log_{10}(h)$) ที่ระดับต่าง ๆ ที่สมดุลกับระดับความชื้นดินเดียวกันกับ $\theta(h)$ จากสมการที่ 1 แล้วพิจารณาค่าสูงสุด ($C_w(h)$) คือค่าความสูงของเส้นกราฟที่จุดสูงสุด (peak height) (Figure 3) ซึ่งตรงกับค่า $\theta(h)$ ของสมการ 1 ที่เท่าไร นั่นคือ θ_{FC} ที่ $C_w(h)$ มีค่าสูงสุด ซึ่งเป็นจุด θ_{FC} ที่ได้จากโมเดล ซึ่งมีผลดังนี้ CTM_0-Ap, CTM_Ap-60, CTM_60-100, MTF_0-Ap, MTF_Ap-60, MTF_60-100, FTVF_0-Ap, FTVF_

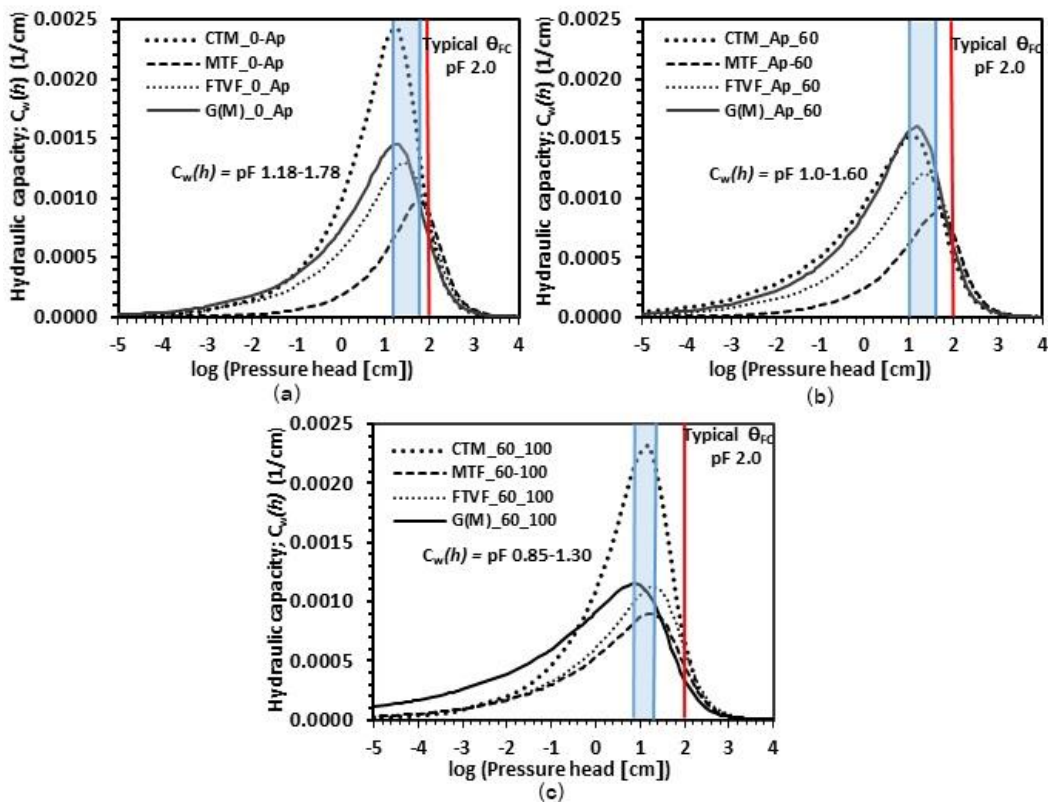


Figure 3. Prediction of maximum hydraulic capacity ($C_w(h)$) at peak height (equation 3) with aqua $\theta(h)$ (equation 1) using the van Genuchten's model by the RETC Program version 6.02 and Microsoft excel., (a) 0-Ap cm, (b) Ap-60 cm and (c) 60-100 cm of soil depth in different of soil types

Ap-60, FTVF_60-100, G(M)_0-Ap, G(M)_Ap-60 และ G(M)_60 - 100 มีค่า θ_{FC} ณ ความจุชลศาสตร์สูงสุด $C_w(h)$ คือ 0.345, 0.334, 0.325, 0.391, 0.363, 0.339, 0.465, 0.464, 0.430, 0.357, 0.339 และ 0.308 cm^3 (water) cm^{-3} (soil) ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง (observed) ดังแสดงใน Table 4 และ Table 5 และอยู่ในช่วงต่ำกว่า pF 2.0 คืออยู่ในช่วง pF 0.85 - 1.78 (Figure 3) จากผลการศึกษานี้อนุมานได้ว่าหากมีการประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ในห้วงปฏิบัติการจุด θ_{FC} ควรอยู่ที่ความดันที่ต่ำกว่า pF 2.0 หากไม่พิจารณา θ_{FC} ณ $C_w(h)$ ดังสมการที่ 1 และ 3 และผลที่ได้สอดคล้องครอบคลุมกับ Yingjajaval and Sangkhasila (1991) ซึ่งสามารถนำมาปรับใช้ในห้วงปฏิบัติการได้

4. การประเมินผลการใช้โมเดล van Genuchten ในโปรแกรม RETC

จากการศึกษาพบว่า θ_{FC} ณ ความจุชลศาสตร์สูงสุด ($C_w(h)$) ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดค่า θ_{FC} ที่ประเมินได้จากโมเดล van Genuchten ใน RETC (predicted θ_{FC})

ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่ค่าดังกล่าวสูงกว่าค่า θ_{FC} ที่ pF 2.0 ที่วัดได้จากตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการซึ่งใช้อ้างอิงกันทั่วไปในงานวิจัยทางด้านปฐพีวิทยา อย่างไรก็ตามค่า θ_{FC} ที่ได้จากโมเดล ของเนื้อดินบางประเภทในบางชั้นดินพบว่า มีค่าที่น้อยกว่าอยู่บ้าง คือในชั้นความลึก 0-Ap และ 60 - 100 เซนติเมตร ของกลุ่มดินเนื้อปานกลางถึงละเอียด และ 60 - 100 เซนติเมตร ของกลุ่มดินเนื้อละเอียดถึงละเอียดมาก (Table 4) ผลการศึกษาส่วนใหญ่สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Panawong (2021) ที่ทำการศึกษเกี่ยวกับคุณภาพเชิงฟิสิกส์ของดินลูกรังที่ได้รับอิทธิพลจากป่าเต็งรังและการเพาะปลูกพืชเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของ θ_{AWC} ที่ได้จากทั้งสองวิธี หากใช้ θ_{AWC} จาก θ_{FC} ทั้งหมดเพื่อวัตถุประสงค์ในการชลประทาน θ_{AWC} ที่ความคลาดเคลื่อนจากโมเดลที่ใช้ทำการศึกษาค่าความเป็นจริงที่จุด θ_{FC} ณ $C_w(h)$ และส่งผลให้ θ_{AWC} มีความคลาดเคลื่อนจากค่าความเป็นจริงอยู่ประมาณ ± 6.29 เปอร์เซ็นต์ (Table 5) ซึ่งส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนต่อ θ_{AWC} ในระดับความลึก 100 เซนติเมตร (Table 6) อย่างเห็นได้ชัดเจน

Table 4. Determination of available water capacity (θ_{AWC}) using $\theta_{FC} = \theta_h$ at pF 2.0 and θ_h at $C_w(h)$ (Equa.3) from the predicted SWRC and wilting point (θ_{WP}) at pF 4.2 from observed data

Soil texture classes	θ_{FC} (cm^3 (water) cm^{-3} (soil))		θ_{WP} (cm^3 (water) cm^{-3} (soil)) (pF 4.2)	θ_{AWC} (cm^3 (water) cm^{-3} (soil))	
	(At pF 2.0)	(θ_h at $C_w(h)$)		(pF 2.0-4.2)	(θ_h at $C_w(h)$ - pF 4.2)
CTM 0-Ap	0.268	0.345	0.190	0.078	0.154
CTM Ap-60	0.284	0.334	0.182	0.101	0.152
CTM 60-100	0.247	0.325	0.190	0.056	0.134
MTF 0-Ap	0.399	0.391	0.351	0.048	0.039
MTF Ap-60	0.357	0.363	0.306	0.051	0.057
MTF 60-100	0.389	0.339	0.356	0.033	-0.017
FTVF 0-Ap	0.416	0.465	0.360	0.056	0.105
FTVF Ap-60	0.425	0.464	0.382	0.042	0.047
FTVF 60-100	0.466	0.430	0.434	0.032	-0.004
G(M) 0-Ap	0.265	0.357	0.220	0.045	0.137
G(M) Ap-60	0.237	0.339	0.186	0.051	0.153
G(M) 60-100	0.229	0.308	0.205	0.024	0.103

Table 5. Root mean square error (RMSE) between predicted and observed θ_{FC} and θ_{AWC}

Horizon	Field capacity (θ_{FC}) (cm ³ water cm ⁻³ soil)				Available water capacity (θ_{AWC}) (cm ³ water cm ⁻³ soil)			
	Predicted θ_{FC} (A)	Observed θ_{FC} (B)	A-B	(A-B) ²	Predicted θ_{AWC} (A)	Observed θ_{AWC} (B)	A-B	(A-B) ²
CTM 0-Ap	0.345	0.268	0.077	0.0059	0.1549	0.078	0.0770	0.0059
CTM Ap-60	0.334	0.284	0.050	0.0025	0.1518	0.102	0.0500	0.0025
CTM 60-100	0.325	0.247	0.078	0.0061	0.1345	0.057	0.0780	0.0061
MTF 0-Ap	0.391	0.399	-0.008	0.0001	0.0397	0.048	-0.0080	0.0001
MTF Ap-60	0.363	0.357	0.006	0.0000	0.0575	0.052	0.0060	0.0000
MTF 60-100	0.339	0.389	-0.050	0.0025	-0.0168	0.033	-0.0500	0.0025
FTVF 0-Ap	0.465	0.416	0.049	0.0024	0.1049	0.056	0.0490	0.0024
FTVF Ap-60	0.464	0.425	0.039	0.0015	0.0818	0.043	0.0390	0.0015
FTVF 60-100	0.430	0.466	-0.036	0.0013	-0.0040	0.032	-0.0360	0.0013
G(M) 0-Ap	0.357	0.265	0.092	0.0085	0.1369	0.045	0.0920	0.0085
G(M) Ap-60	0.339	0.237	0.102	0.0104	0.1526	0.051	0.1020	0.0104
G(M) 60-100	0.308	0.229	0.079	0.0062	0.1028	0.024	0.0790	0.0062
N = 12 $\Sigma(Zi-Z)^2 = 0474$, $\Sigma(Zi-Z)^2/N = 0.00395$, %RMSE = 6.29					$\Sigma(Zi-Z)^2 = 0474$, $\Sigma(Zi-Z)^2/N = 0.00395$, %RMSE = 6.29			

Table 6. Amount of available water capacity (mm) at a depth of 100 centimeters

Horizon	Average depth of horizon (cm)				Predicted θ_{AWC} (mm) ¹			Observed θ_{AWC} (mm)		
		θ_{WP} (cm ³ cm ⁻³)	θ_{WP} (mm)		θ_{FC} (cm ³)	θ_{FC} (mm)	θ_{AWC} (mm)	θ_{FC} (cm ³ cm ⁻³)	θ_{FC} (mm)	θ_{AWC} (mm)
CTM 0-Ap	23	0.190	44	0.345	80	36		0.268	63	18
CTM Ap-60	37	0.182	67	0.334	124	56		0.284	105	38
CTM 60-100	40	0.190	76	0.325	130	54		0.247	99	23
Total θ_{AWC} are intervals at a length of 1 m of soil water							146	78		
MTF 0-Ap	27	0.351	94	0.391	104	11		0.399	106	13
MTF Ap-60	33	0.306	101	0.363	120	19		0.357	118	17
MTF 60-100	40	0.356	142	0.339	136	-7		0.389	156	13
Total θ_{AWC} are intervals at a length of 1 m of soil water							30	43		
FTVF 0-Ap	30	0.360	108	0.465	140	32		0.416	125	17
FTVF Ap-60	30	0.382	115	0.464	139	25		0.425	128	13
FTVF 60-100	40	0.434	174	0.430	172	-2		0.466	186	13
Total θ_{AWC} are intervals at a length of 1 m of soil water							54	42		
G(M) 0-Ap	28	0.220	62	0.357	101	39		0.265	75	13
G(M) Ap-60	32	0.186	60	0.339	109	49		0.237	76	16
G(M) 60-100	40	0.205	82	0.308	123	41		0.229	92	10
Total θ_{AWC} are intervals at a length of 1 m of soil water depth.							129	38		

¹The predicted volumetric water content for each soil depth (mm). The θ_{AWC} in cm³ cm⁻³ units was calculated by multiplying the thickness of the soil horizon (mm) by the amounts of θ_{AWC} . The summation of θ_{AWC} from each soil horizon is the total θ_{AWC} within 1 m of soil water depth

5. การประเมินปริมาณความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ในดิน (total available water capacity, TAWC) ในช่วงความลึกต่าง ๆ ของดินเพื่อการวางแผนชลประทานในการปลูกอ้อย

เป็นที่ทราบกันดีว่าพืชสามารถใช้น้ำที่ติดกักเก็บเอาไว้ได้ ในช่วงความลึกเกินกว่าความลึกของรากพืชได้ค่อนข้างดีโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งที่มีน้ำไม่เพียงพอตามความต้องการของพืช เราจึงจำเป็นต้องทราบ θ_{FC} ที่แน่นอนและถูกต้อง เพื่อนำมาคำนวณ θ_{AWC} ($\theta_{AWC} = \theta_{FC} - \theta_{wp}$) ได้อย่างแม่นยำ ซึ่งเป็นกุญแจที่สำคัญจากผลการศึกษาใน Table 6 พบว่า θ_{AWC} ที่คำนวณได้ในหน่วยความสูงของน้ำในหน่วยมิลลิเมตร (มม.) ที่ระดับความลึก 100 เซนติเมตร ที่ได้จากจุด ณ ความจุชลศาสตร์สูงสุด ($C_w(h)$) มีค่ามากกว่าที่ได้จากจุด θ_{FC} ที่ pF 2.0 คือ 1.9, 0.7, 1.3 และ 3.4 เท่า โดยเฉพาะในดินปนกรวดที่มีเนื้อดินปานกลาง

สำหรับอ้อย Allen *et al.* (1998) รายงานว่าเมื่อระดับความชื้นดินที่ลดลงมากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ของ θ_{AWC} หรือความชื้นในดินลดลงเหลือประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ ของ θ_{AWC} ที่ระดับความลึกของราก 100 เซนติเมตร อ้อยแสดงอาการขาดน้ำ ซึ่งถือว่าเป็นจุดวิกฤตของการขาดน้ำในอ้อย ซึ่งเรียกว่าค่า p ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับพืชและชนิดของดิน ความชื้นที่ลดลงนั้นเกิดจากปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งแต่ละชนิดพืชมีปริมาณการใช้น้ำที่ต่างกันออกไป Paisanchaoen *et al.* (2012) พบว่า ความต้องการน้ำของอ้อย (พันธุ์ขอนแก่น 3) อ้อยปลูก ที่อายุ 0 - 30, 31 - 170, 171 - 295 และ 296 - 330 วัน มี ET_c 1.1, 4.4, 10.2 และ 6.4 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ส่วนอ้อยต่อที่อายุ 0 - 45, 46 - 120, 121 - 225, 226 - 330 และ 331 - 360 วัน มี ET_c 3.4, 2.6, 5.8, 12.5 และ 3.3 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งค่า ET_c แต่ละวันนี้สามารถใช้ทำประเมินช่วงความถี่ของการให้น้ำแก่อ้อยได้จาก Table 6 แสดงให้เห็นว่าการใช้ θ_{AWC} ที่ค่า ($C_w(h)$) สูงสุดมีค่าสูงกว่า θ_{AWC} ที่ pF 2.0 และจากการศึกษาของ Allen *et al.* (1998) อนุมานได้ว่าหากใช้ค่า θ_{AWC} ที่ค่า ($C_w(h)$) นี้ในการวางแผนการให้น้ำ นอกจากทราบปริมาณน้ำที่มีแนวโน้มเหมาะสมกับประเภทของเนื้อดินแล้ว ยังทำให้

การประเมินน้ำที่ให้แก่พืชเพิ่มมากขึ้น โดยใช้เวลาการให้น้ำแต่ละครั้งนานขึ้น แต่จำนวนความถี่ของการให้น้ำลดน้อยลง มีผลทำให้ประหยัดเวลาและแรงงานในการจัดการน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูก อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการทดลองการให้น้ำแก่อ้อยในแต่ละลักษณะเนื้อดิน โดยเปรียบเทียบปริมาณการให้น้ำและช่วงระหว่าง θ_{AWC} ณ $C_w(h)$ กับค่า θ_{AWC} ที่ pF 2.0 ในสภาพเนื้อดินที่ต่างกัน โดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศ โดยวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการน้ำของอ้อยแต่ละช่วง (crop evapotranspiration; ET_c) (Allen *et al.*, 1998) ได้จากสมการ $ET_c = K_c \times ET_o$ โดยที่ K_c คือค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช, ET_o การใช้น้ำอ้างอิงของพืช โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และข้อมูลเชิงพื้นที่ในการศึกษา

สรุป

การศึกษานี้บ่งชี้ให้เห็นว่า θ_{FC} และค่า θ_{AWC} ณ $C_w(h)$ ที่ประเมินได้โดยใช้โปรแกรม RETC ที่อาศัยข้อมูลการกระจายของอนุภาคดิน, p_b และ θ_v เป็นหลักในการวิเคราะห์ตัวแปรชลศาสตร์ต่าง ๆ ด้วยโมเดล van Genuchten ที่ได้มีค่าสูงกว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยตรงจากห้องปฏิบัติการของกลุ่มเนื้อดินเกือบทุกประเภท ยกเว้นกลุ่มดินเนื้อปานกลางและดินเนื้อละเอียดบางชั้นดินที่มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการวัดโดยตรง ซึ่งการประเมินด้วยโมเดลมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่วัดได้โดยตรงในห้องปฏิบัติการโดยวิธีมาตรฐาน อยู่ประมาณ ± 6.29 เปอร์เซ็นต์ โดยกลุ่มเนื้อดินทั้ง 4 ลักษณะดิน มีค่า θ_{FC} ณ $C_w(h)$ อยู่ในช่วง pF 0.85 - 1.78 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการประเมิน θ_{AWC} จากค่า θ_{FC} ณ $C_w(h)$ มีความจำเพาะเหมาะสมกับลักษณะเนื้อดินบางประเภท และเป็นแนวทางในการประเมิน θ_{AWC} เพื่อการกำหนดปริมาณ ความถี่ และระยะเวลาในการให้น้ำของอ้อยและพืชชนิดอื่น อย่างไรก็ตามควรต้องทำการศึกษาทดสอบในสภาพแปลงทดลองเกี่ยวกับเรื่องความสัมพันธ์ระหว่าง ดิน น้ำ พืช ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) และขอขอบคุณคุณอนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์ ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา ดร.ศุภกาญจน์ ล้วนมณี ผู้เชี่ยวชาญด้านดินและปุ๋ย กรมวิชาการเกษตร ที่มอบความสะดวกในเรื่องของเครื่องมือ และสถานที่ในการศึกษา และขอบคุณคุณชัยณรงค์ สุขหรั่ง คุณเอี่ยมสำอางค์ โพธิ์สุวรรณ คุณปรานิน วิเศษแก้ว คุณไวยยาณี มั่นธรรมกุล สำหรับการเตรียมตัวอย่างและร่วมวิเคราะห์คุณประไพ พิศ ศรีมาวงษ์ คุณธัญพร ปนวงษ์ และ ดร.ณัฐพร ประคองเก็บ สำหรับการช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- Alaboz, P., S. Demir, O. Dengiz and İ. Öz. 2021. Effect of biogas waste applications on soil moisture characteristic curve and assessment of the predictive accuracy of the van Genuchten model. *Eurasian Journal of Soil Science* 10(2): 142-149.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome. 300 p.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. pp 363-375. *In*: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin.
- Brooks, R.H., and A.T. Corey. 1964. "Hydraulic properties of porous media". *Hydrology Paper No. 3*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 37 p
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. pp.545-567. *In*: C.A. Black, D.D. Evaris, 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.
- Durner, W. 1994. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resources Research* 30(2): 211-223.
- Gardner, W.H. 1965. Water content. pp. 82-127. *In*: C.A. Black, D.D. Evaris, 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.
- Kosugi, K. 1996. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. *Water Resources Research* 32(9): 2697-2703.
- Montanarella, L., F. Kaser and B. Hansen. 1998. European soil databases as a tool for EU risk assessment and decision making. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 17(5): 257-263.
- Mualem, Y. 1976. *A Catalogue of the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. Technion Israel Institute of Technology, Technion Research and Development Foundation, Haifa. 100 p.
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska. 693 p.

- Nemes, A. and W.J. Rawls. 2004. Soil texture and particle-size distribution as input to estimate soil hydraulic properties. *Developments in Soil Science* 30: 47-70.
- Paisancharoen, K., T. Sansayawichai, S. Luanmanee, S. Thippayarugs, K. Chusorn, J. Chuenrung and C. Pakdeethai. 2012. Water requirement and Kc values of Khon Kaen 3 sugarcane variety. *Khon Kaen Agriculture Journal* 40(Suppl. 3): 103-114. (in Thai)
- Panawong, T. 2021. Physical quality and fertility of lateritic soils as influenced by dry dipterocarp forest and crop cultivation. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. 86 p.(in Thai)
- Radcliffe, D.E. and J. Simunek. 2010. *Soil Physics with Hydrus: Modeling and Applications*. CRC Press, Boca Ration.
- Tawornpruek, S., P. Pinjai, N. Chittamart, T. Darunsonthaya, R. Charoensri, R. Lertphayakkharatsri, S. Wattana, K. Homyamyen, D. Waicharean and B. Rosopha. 2015. Development of soil quality and productivity index for sugarcane production in the eastern region of Thailand. Research report. Thailand Science Research and Innovation, Bangkok. 96 p. (in Thai)
- van Genuchten, M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44(5): 892-898.
- van Genuchten, M.T., F.J. Leij and S.R. Yates. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Oklahoma: EPA/600/2-91/065. U.S Environmental Protection Agency, ADA, Oklahoma. 85 p.
- Yingjajaval, S. and K. Sangkhasila. 1991. The upper limit of available water for Kamphaeng Saen soil series. *Agriculture and Natural Resources* 25: 177-190. (in Thai)
-

อิทธิพลการรุกกล้ำน้ำเค็มต่อคุณภาพน้ำในสวนมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

Effects of Seawater Intrusion on Water Quality in 'Namdokmai Sithong' Mango Orchards

ทราย ห้วยหงษ์ทอง และ สุกัญญา แยมประชา^{*}
Sai Huaihongthong and Sukunya Yampracha^{*}

ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
Department of Plant Production Technology, School of Agricultural Technology,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

^{*}Corresponding author: Email: sukunya.ya@kmitl.ac.th

(Received: 27 February 2023; Accepted: 11 May 2023)

Abstract: The objective of this study was to investigate the effect of seawater intrusion on the water quality of 'Namdokmai Sithong' mango orchards. The water samples of 7 mango orchards along the Bang Pakong River in Khlong Khuean Sub-district, Khlong Khuean District, Chachoengsao Province, Thailand were sampled from November 2021 to May 2022. The distance of all mango orchards far from the Bang Pakong River estuary is around 88 - 93 km. The results showed that the seawater mixing ratio (F) in the orchard 1, 2, 4, and 5 values were higher than 2 % since February affecting the electrical conductivity (EC), salinity, sodium ion concentration (Na), sodium adsorption ratio (SAR) and soluble sodium percentage (SSP) exceeded the acceptable limits for the agricultural water use. The F values in orchards 3 and 7 were 1.20 % and 1.87 %, respectively causing the water quality e.g., EC, Salinity, Na, SAR and SSP to be higher than the accepted value. The value of seawater mixing ratio in orchard 6 was 0.57 %, which was suitable for agricultural water use except EC. Therefore, it was concluded that the seawater mixing ratio of the mango orchard is higher than 2 %, impacting the water properties associated with water salinity which are not suitable for the growth of 'Namdokmai Sithong' mango.

Keywords: Salinity, seawater intrusion, water quality

บทคัดย่อ: การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบการรุกรานน้ำทะเลต่อคุณภาพน้ำในสวนมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 7 สวน ในตำบลคลองเขื่อน อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา ห่างจากปากแม่น้ำบางปะกง 88 - 93 กิโลเมตร ศึกษาตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2565 เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ผลการศึกษาพบว่า สวนที่ 1, 2, 4 และ 5 เริ่มมีสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มเกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ทำให้สภาพการนำไฟฟ้า ความเค็ม ความเข้มข้นของโซเดียมไอออน สัดส่วนการดูดซับโซเดียม และเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ เกินค่าที่ยอมรับได้ของน้ำใช้เพื่อการเกษตร สวนที่ 3 และ 7 มีสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มเท่ากับ 1.20 และ 1.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามสภาพการนำไฟฟ้า ความเค็ม ความเข้มข้นของโซเดียมไอออน สัดส่วนการดูดซับโซเดียม เปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้เกินค่าที่ยอมรับได้ของน้ำใช้เพื่อการเกษตร ในขณะที่สวนที่ 6 มีสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มเท่ากับ 0.57 เปอร์เซ็นต์ สมบัติของน้ำที่ใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตรไม่เกินค่าที่ยอมรับได้ ยกเว้นสภาพการนำไฟฟ้า จึงอาจสรุปได้ว่าหากสัดส่วนของน้ำเค็มในสวนมะม่วงมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้สมบัติของน้ำที่เกี่ยวข้องกับความเค็มไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

คำสำคัญ: ความเค็ม การรุกรานของน้ำทะเล คุณภาพน้ำ

คำนำ

สภาวะโลกร้อน (global warming) ส่งผลให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น (sea level rise: SLR) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญต่อการรุกรานของน้ำเค็มจากมหาสมุทรไหลเข้าสู่แม่น้ำ (Alfarrah and Walraevens, 2018; Bayabil *et al.*, 2021) ประเทศไทยมีแม่น้ำสายสำคัญจำนวนมากที่ปากแม่น้ำติดอ่าวไทย แม่น้ำบางปะกงเป็น 1 ใน 4 ของแม่น้ำที่มีปากแม่น้ำติดอ่าวไทยตอนบน มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจในภาคตะวันออก และเป็นแม่น้ำสายหลักของจังหวัดฉะเชิงเทรา มีการใช้ประโยชน์ทั้งการอุปโภคบริโภค อุตสาหกรรม เป็นแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา เป็นเส้นทางคมนาคมทางน้ำที่สำคัญ เป็นสายน้ำหล่อเลี้ยงชุมชนที่ตั้งถิ่นฐานสองฝั่งแม่น้ำ แหล่งทำการประมง และแหล่งปลูกพืชที่สำคัญ ได้แก่ นาข้าว ไม้ผล และไม้ยืนต้น (Hydro Informatics Institute, 2012) ไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญคือ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ได้รับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (geographical indication: GI) ของจังหวัดฉะเชิงเทรา (Land Development Department, 2021) ในปี พ.ศ. 2563 จังหวัดฉะเชิงเทรา มีพื้นที่เพาะปลูก 22,654 ไร่ ซึ่งมากที่สุด ในภาคตะวันออก โดยแหล่งมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่มีชื่อเสียงคือ

อำเภอคลองเขื่อน มีพื้นที่เพาะปลูก 2,556 ไร่ หรือ 11 เปอร์เซ็นต์ ของจังหวัดฉะเชิงเทรา (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2021) การรักษาคุณภาพผลผลิตให้อยู่ในระดับมาตรฐานจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในปัจจุบันเกษตรกรประสบปัญหาการดูแลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองยุ่งยากกว่าในอดีต เนื่องจากในช่วงฤดูแล้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายนของทุกปี น้ำทะเลจะหนุนน้ำจืดขึ้นไปถึงจังหวัดปราจีนบุรีและจังหวัดนครนายก ทำให้ขาดน้ำจืดใช้ ต้องรอถึงฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม น้ำจืดจะผลักดันน้ำเค็มออกสู่อ่าวไทย (Arunpark, 2005) ในปัจจุบันนี้พบว่า ในช่วงฤดูแล้งสถานการณ์การรุกรานของน้ำเค็มรุนแรงมากขึ้นประกอบกับสภาวะโลกร้อน ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น ปริมาณน้ำจืดที่ได้จากการระบายน้ำในช่วงประมาณเดือนธันวาคมถึงมกราคมของทุกปี จากอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่จำนวน 6 เขื่อน ได้แก่ อ่างเก็บน้ำสิยัด อ่างเก็บน้ำระบม อ่างเก็บน้ำขุนด่านปราการชล อ่างเก็บน้ำพระสทิ อ่างเก็บน้ำพระปรอง และอ่างเก็บน้ำนฤปดินทรจินดา (Royal Irrigation Department, 2022) ไม่สามารถผลักดันน้ำเค็มออกสู่อ่าวไทยได้อย่างเพียงพอ ส่งผลให้เกิดการรุกรานของน้ำทะเลเข้าสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ หหนอง บึง แหล่งน้ำชลประทานเป็นบริเวณ

กว้าง จึงสร้างความเดือนร้อนแก่ประชาชนที่อาศัยอยู่สองฝั่งแม่น้ำบางปะกง ทำให้ขาดแคลนน้ำจืดสำหรับอุปโภค บริโภค อุตสาหกรรม และการเกษตรเป็นสำคัญ เกษตรกรที่เพาะปลูกไม้ผลหรือไม่ยืนต้นบริเวณฝั่งแม่น้ำบางปะกง จึงมีวิธีการจัดการกับปัญหาโดยการยกทรงเพื่อเก็บน้ำจืดไว้ใช้ในช่่วงฤดูแล้ง และเมื่อถึงช่่วงการรูก้าน้ำของน้ำทะเลเกษตรกรจะมีการปิดประตูระบายน้ำเพื่อไม่ให้น้ำเค็มเข้าสวนได้ แต่ไม่สามารถควบคุมความเค็มได้เต็มประสิทธิภาพจึงทำให้น้ำทะเลรูก้าน้ำเข้ามาในสวนได้

คุณภาพน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช สมบัติของน้ำที่เกี่ยวข้องกับความเค็มที่ใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร ได้แก่ สภาพการนำไฟฟ้า ความเค็ม ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียม ความสัมพันธ์ระหว่างโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่แสดงในรูปสัดส่วนการดูดซับโซเดียมและเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ (Brindha and Elango, 2011; Kumar *et al.*, 2016; Mastoi *et al.*, 2022) โดยสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำใช้เพื่อการเกษตรไม่ควรเกิน 1.25 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (Chaiyapinan, 2005) จัดอยู่ในประเภทของน้ำเค็มสูง (Richard, 1954) มาตรฐานค่าความเค็มสำหรับการเกษตรไม่ควรเกิน 2.0 กรัมต่อลิตร (Chaiyapinan, 2005; Rasmeemasmuang *et al.*, 2022) สัดส่วนการดูดซับโซเดียมและเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ไม่ควรเกิน 4 และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Chaiyapinan, 2005) ในขณะที่ Kumar *et al.* (2016) รายงานว่าคุณภาพน้ำของน้ำใต้ดินและน้ำชลประทานที่เหมาะสมสำหรับใช้เพื่อการเกษตรควรมีค่าเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ หากสภาพการนำไฟฟ้า ความเค็ม สัดส่วนการดูดซับโซเดียมและเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ มีค่าเกินค่ามาตรฐานจะส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชโดยเฉพาะพืชไม้ทนเค็ม อย่างมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง หากเกิดการสะสมเกลือในดินบริเวณรากพืช ทำให้พืชไม่สามารถดึงน้ำจากดินได้ตามปกติ เนื่องจากความดันออสโมติกที่รากพืชสัมผัสกับสารละลายที่มีเกลือในความเข้มข้นสูงทำให้เกิดความแตกต่างของศักย์ (water potential)

จึงเป็นผลให้พืชนำน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลงตามความเข้มข้นของเกลือที่เพิ่มสูงขึ้น (Mateo-Sagasta and Burke, 2010; Phuphanutada and Lapcharoensuk, 2017) พืชมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง มีอาการคล้ายพืชขาดน้ำ เช่น ใบเหี่ยว ใบหนาขึ้น และใบเหลือง เป็นต้น (Bernstein, 1975; Pessarakli, 1999) นอกจากความเค็มแล้วนั้น การรูก้าน้ำของน้ำทะเล ยังส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของไอออนในแหล่งน้ำ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม คลอไรด์ และซัลเฟตเพิ่มสูงขึ้นทำให้เป็นพิษต่อพืช เนื่องจากเกิดความไม่สมดุลของไอออนหรือมีปริมาณมากเกินไปจนความต้องการของพืชจนเป็นพิษ ผลกระทบที่อันตรายของความเครียดที่เกิดจากความเค็มคือการสะสมของโซเดียมไอออนในเนื้อเยื่อพืช ดังนั้น พืชที่ไวต่อการได้รับโซเดียมมากเกินไปจนความต้องการ พืชแสดงอาการใบไหม้ หรือขอบใบแห้ง เนื่องจากเนื้อเยื่อบริเวณนั้นถูกทำลาย (Isayenkov and Maathuis, 2019) และการสะสมคลอไรด์ไอออนในเนื้อเยื่อพืช (Gupta and Huang, 2014) ทำให้เป็นพิษต่อพืช คลอไรด์เป็นไอออนลบเช่นเดียวกับไนเตรท (NO_3^-) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ดังนั้น เมื่อสารละลายดินมีคลอไรด์อยู่มากทำให้เกิดการยับยั้งการดูดใช้ในเตรท และฟอสเฟตของพืช (Geilfus, 2018) การสะสมคลอไรด์ไอออน ทำให้พืชลดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้พืชเกิดอาการใบเหลือง (chlorosis) หรือใบไหม้ ส่งเสริมให้เกิดการสังเคราะห์อนุมูลอิสระในรูปแบบของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species: ROS) และการตายของเนื้อเยื่อ (necrosis) (Tavakkoli *et al.*, 2010) ด้วยเหตุนี้การรูก้าน้ำของน้ำเค็ม จึงทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพดินและการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง ดังนั้น แหล่งน้ำจืดในพื้นที่บริเวณริมฝั่งแม่น้ำบางปะกง ย่อมได้รับผลกระทบโดยตรงไม่มากนักน้อย งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของความเค็มจากการหนุนของน้ำทะเลต่อคุณภาพน้ำในสวนมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

ศึกษาคุณภาพน้ำในพื้นที่ตำบลคลองเขื่อน อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยกำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 7 ส่วน โดยทั้ง 7 ส่วน เป็นพื้นที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพียงพันธุ์เดียว ทุกส่วนมีการจัดการเพาะปลูกแบบยกทรง ส่วนที่ 1 ถึง 5 ได้รับน้ำจากแม่น้ำบางปะกงโดยตรง ส่วนที่ 6 และ 7 ได้รับน้ำจากคลองชลประทาน ทั้ง 7 ส่วนห่างจากริมฝั่งแม่น้ำบางปะกงไม่เกิน 3 กิโลเมตร และห่างจากปากแม่น้ำ

บางปะกง 88 - 93 กิโลเมตร (Figure 1b) เก็บตัวอย่างน้ำทะเล บริเวณอ่าวไทยที่ตำบลสองคลอง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา (Figure 1a) เพื่อนำไปคำนวณสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มระยะเวลาการศึกษา 7 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 ปริมาณน้ำฝนรวมตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 เท่ากับ 938.3 มิลลิเมตร เดือนที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำสุดคือเดือนธันวาคม เท่ากับ 5.0 มิลลิเมตร เดือนพฤษภาคมมีปริมาณน้ำฝนสูงสุดเท่ากับ 585.9 มิลลิเมตร (Figure 2)

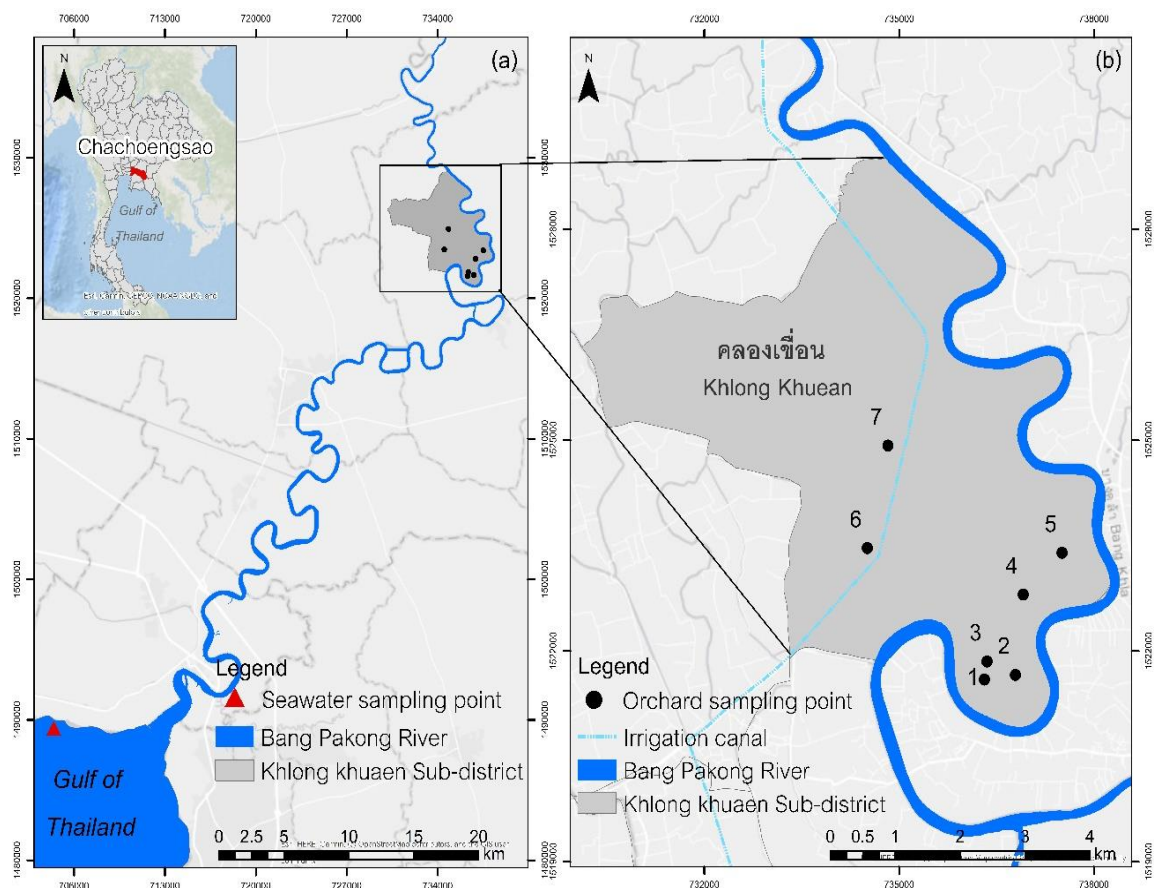


Figure 1. Seawater sampling point in Gulf of Thailand (a) and water sampling point in 'Namdokmai Sithong' mango orchards in Khlong Khuuan district, Chachoengsao province (b)

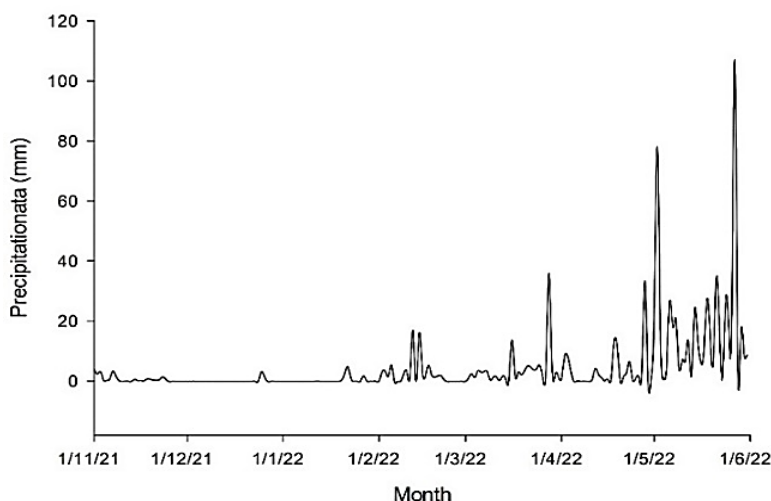


Figure 2. The daily changes of precipitation in Khlong Khuean district, Chachoengsao province during November 2021 - May 2022

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำทะเล 1 จุด (Figure 1a) ตัวอย่างน้ำทั้งหมด 7 สวน (Figure 1b) ตัวอย่างละ 2 ขั้ว โดยใช้ขวดแก้ว Duran® (borosilicate glass) ขนาด 1 ลิตร เก็บตัวอย่างน้ำทะเล ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 100 เซนติเมตร ตัวอย่างน้ำในสวนมะม่วง เลือกตำแหน่งที่อยู่กึ่งกลางความกว้างของร่องมะม่วง ที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 50 เซนติเมตร (Pollution Control Department, 2010) เก็บตัวอย่างน้ำภายใน สัปดาห์แรกของแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 ในช่วงเวลา 9.00 - 12.00 น. ในแต่ละครั้งตรวจวัดคุณภาพน้ำใน ภาคสนาม ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ด้วย pH meter (HANNA รุ่น HI 8424) และสภาพการนำไฟฟ้า โดยใช้ electrical conductivity meter (HANNA รุ่น HI 8733) ตรวจวัดคุณภาพน้ำทางเคมีในห้องปฏิบัติการ โดยเก็บตัวอย่างน้ำบรรจุภาชนะที่รักษาอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ทันทีเมื่อถึงห้องปฏิบัติการ โดยกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 Whatman™ เพื่อ วิเคราะห์ปริมาณสารอนินทรีย์ละลายน้ำ ได้แก่ แคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และโซเดียม (Na^+) โดยใช้ เครื่อง inductively coupled plasma-optical emission

spectrometer (ICP-OES) และคลอไรด์ (Cl) วิเคราะห์ ด้วยวิธี Mohr's titration method (Motsara and Roy, 2008) ทุกพารามิเตอร์วิเคราะห์ 2 ขั้ว คำนวณความเค็ม (salinity) (สมการที่ 1) สัดส่วนการดูดซับโซเดียม (sodium adsorption ratio: SAR) (สมการที่ 2) (Estefan *et al.*, 2013) เปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ (soluble sodium percentage: SSP) (สมการที่ 3) (Kumar *et al.*, 2016) และสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็ม (seawater mixing ratio: F) (สมการที่ 4) (Arslan and Demir, 2013)

$$\text{Salinity (g L}^{-1}\text{)} = \text{EC(mS cm}^{-1}\text{)} \times 0.64 \quad (1)$$

$$\text{SAR} = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2}}} \quad (2)$$

$$\text{SSP(\%)} = \frac{[\text{Na}^+]}{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+]} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{F(\%)} = \frac{[\text{Cl}_{\text{sample}}] - [\text{Cl}_{\text{Fresh}}]}{[\text{Cl}_{\text{sea}}] - [\text{Cl}_{\text{Fresh}}]} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ F = สัดส่วนการรุกรานน้ำเค็ม หน่วย เปอร์เซ็นต์
 $\text{Cl}_{\text{Sample}}$ = ความเข้มข้นคลอไรด์ของตัวอย่าง
 หน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

$$CI_{Fresh} = \text{ความเข้มข้นคลอไรด์ของน้ำจืด หน่วย มิลลิกรัมวาลีนซ์ต่อลิตร}$$

$$CI_{Sea} = \text{ความเข้มข้นคลอไรด์ในน้ำทะเล หน่วย มิลลิกรัมวาลีนซ์ต่อลิตร}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (analysis of variance: ANOVA) ระหว่างเดือนภายในสวนเดียวกัน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง สภาพการนำไฟฟ้า ความเค็ม ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไอออน สัดส่วนการดูดซับโซเดียม เปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ และสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็ม เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างเดือนภายในสวนเดียวกันและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสวนโดยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ความเป็นกรดต่าง

ความเป็นกรดต่างของน้ำทั้ง 7 สวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกเดือน พบว่า สวนที่ 1 มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สวนที่ 6 มีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3) และความแตกต่างระหว่างเดือนมีผลต่อความเป็นกรดต่างของน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า สวนที่ 1 และ 2 มีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเดือนธันวาคมสูงกว่าเดือนอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 7.08 และ 7.50 ตามลำดับ สวนที่ 3 มีแนวโน้มสูงสุดในเดือนเมษายนมีค่าเท่ากับ 7.48 แต่อย่างไรก็ตามไม่แตกต่างทางสถิติกับเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคม มีค่าเท่ากับ 7.26 และ 7.26 ตามลำดับ สวนที่ 4 และ 6 มีค่าสูงสุดในเดือนเมษายนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมีค่าเท่ากับ 7.22 และ 8.41 ตามลำดับ สวนที่ 5 มีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเดือนอื่นมีค่าเท่ากับ 7.38 และสวนที่ 7 มีแนวโน้มสูงสุดเดือนพฤศจิกายน มีค่าเท่ากับ 7.70 แต่อย่างไรก็ตามไม่แตกต่างกันทางสถิติกับเดือนเมษายน มีค่าเท่ากับ 7.44 (Figure 3) จะเห็นได้ว่าคุณภาพน้ำ

ของทุกสวนมีสภาพเป็นด่างเล็กน้อยถึงด่างปานกลาง ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่เหมาะสมสำหรับใช้เพาะปลูกพืชอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 8.5 มีสภาพเป็นกรดเล็กน้อยถึงด่างปานกลาง (Royal Irrigation Department, 2015) ในขณะที่เกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษอยู่ที่ 5 ถึง 9 มีสภาพเป็นกรดจัดถึงด่างจัด เห็นได้ว่า ความเป็นกรด-ด่างของน้ำทุกสวนตลอดระยะเวลา 7 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เพาะปลูกพืช

สภาพการนำไฟฟ้า

สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำทั้ง 7 สวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกเดือน พบว่า สวนที่ 1 มีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือสวนที่ 4 และ 5 ตามลำดับ (Figure 4) ในขณะที่สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำทั้งหมด 7 สวน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 (Figure 4) พบว่า เดือนมีนาคมมีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสวนที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เท่ากับ 4.09, 2.20, 1.69, 2.86 และ 2.77 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตามลำดับ สภาพการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่เดือนมกราคม และสูงสุดเดือนมีนาคม จากนั้นลดลงในเดือนเมษายนและพฤษภาคม ตามลำดับ โดยพบว่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมของทุกสวนสูงกว่า 1.25 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งเกินค่าที่ยอมรับได้ของน้ำใช้เพื่อการเพาะปลูกพืช (Chaiyapinan, 2005) จัดอยู่ในสภาพที่น้ำมีความเค็มสูงตามการจัดแบ่งคุณภาพน้ำของ USDA (Richard, 1954) ค่าความเค็มในแม่น้ำบางปะกงซึ่งห่างจากปากแม่น้ำบางปะกงเป็นระยะทางประมาณ 100 กิโลเมตร มีค่าเฉลี่ยในฤดูแล้งระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ.2553 - 2562) เท่ากับ 6.28 กรัมต่อลิตร และพบว่า บางปีนั้นมีค่าเกือบถึง 20 กรัมต่อลิตร ขึ้นอยู่กับอิทธิพลจากการหนุนของน้ำทะเล (Chitradon, 2016; Hensawang and Chanpiwat, 2021) นอกจากนี้ เห็นได้ว่าสภาพการนำไฟฟ้าตลอดระยะเวลาการศึกษาทั้งสิ้น 7 เดือนของสวนที่ 6 และ 7 มีแนวโน้มต่ำกว่าสวนอื่น อาจเนื่องจากทั้ง

2 สวนได้รับน้ำจากคลองชลประทาน ในขณะที่พื้นที่สวนที่ 1 ถึง 5 ห่างจากแม่น้ำบางปะกงไม่เกิน 1 กิโลเมตร และได้รับน้ำโดยตรงจากแม่น้ำบางปะกง สอดคล้องกับการศึกษาของ Marine Department (2021) ได้รายงานผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกง มีสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำลดลงตามระยะห่างจาก

ปากแม่น้ำบางปะกงตรวจวัดในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 โดยบริเวณอำเภอกลองเชื่อนมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าประมาณ 12 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 แม่น้ำบางปะกงบริเวณอำเภอกลองเชื่อน มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเท่ากับ 6.80 - 13.90 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (Shwe *et al.*, 2022)

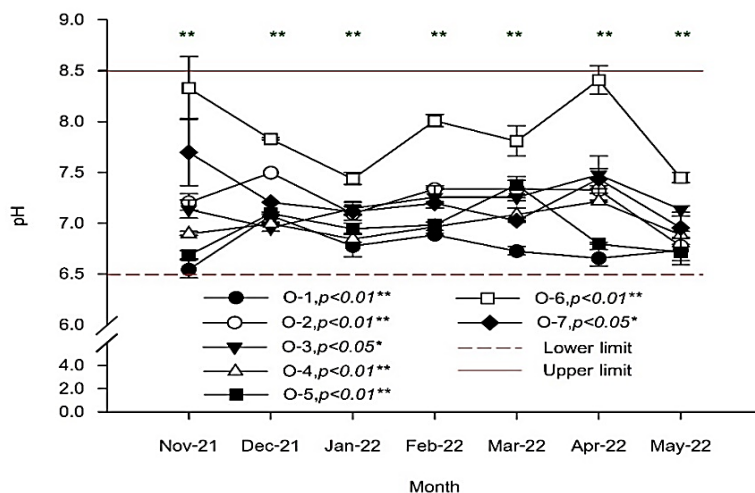


Figure 3. The monthly changes of pH value from water samples in orchards during November 2021 - May 2022. Standard error bars are the mean $\pm$ SD, *, ** means significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ in each orchard, respectively **means significant difference at $P < 0.01$ in each month
Remark: The suitable range of agricultural water is 6.5-8.5 (Royal Irrigation Department, 2015)

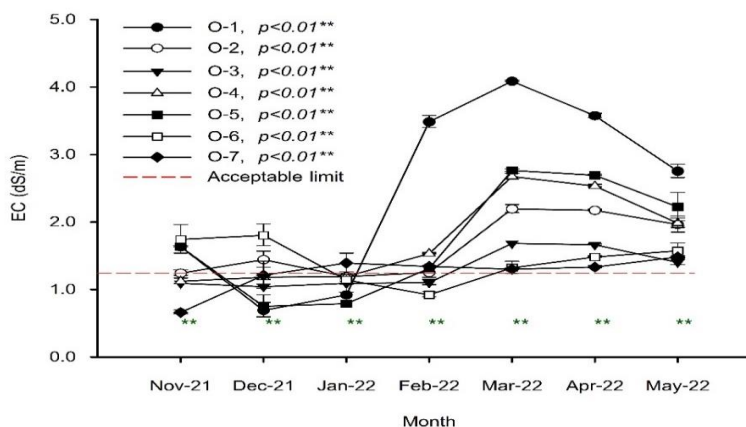


Figure 4. The monthly changes of EC value from water samples in orchards during November 2021 - May 2022. Standard error bars are the mean $\pm$ SD, *, ** means significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ in each orchard, respectively **means significant difference at $P < 0.01$ in each month
Remark: The acceptable limit of EC for agricultural water is not over 1.25 dS/m (Chaiyapinan, 2005)

ความเค็ม

ผลการศึกษาความเค็มสอดคล้องกับสภาพการนำไฟฟ้า พบว่า ค่าความเค็มของน้ำทั้ง 7 สวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกเดือน (Figure 5) โดยเดือนมีนาคมมีความเค็มสูงกว่าเดือนอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสวนที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่าเท่ากับ 2.62, 1.40, 1.08, 1.72 และ 1.77 กรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามค่าความเค็มของสวนที่ 2, 3 และ 5 เดือนมีนาคมไม่แตกต่างทางสถิติกับเดือนเมษายน มีค่าเท่ากับ 1.40, 1.07 และ 1.73 กรัมต่อลิตรตามลำดับ พบได้ว่าตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนค่าความเค็มของสวนที่ 1 มากกว่า 2 กรัมต่อลิตร (Figure 5) ซึ่งเกินค่ามาตรฐานความเค็มสำหรับน้ำใช้เพื่อการเกษตร (Chaiyapinan, 2005) ซึ่งสวนที่ 4 และ 5 มีความเค็มประมาณ 1.72 และ 1.77 กรัมต่อลิตรตามลำดับ มีแนวโน้มที่สูงเกินค่ามาตรฐานของน้ำใช้เพื่อการเกษตร จึงอาจจะส่งผลให้เกิดการสะสมเกลือในดิน และส่งผลให้พืชที่ปลูกได้รับผลกระทบต่อความเค็มของน้ำโดยตรง เนื่องจากสาเหตุ 3 ประการ ได้แก่ ความเค็มของดิน ความเค็มทำให้พืชขาดแคลนธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม และเกิดความเป็นพิษของโซเดียมและคลอไรด์ ที่พืชดูดไปสะสม (Carrillo *et al.*, 2011; Kotuby-Amacher *et al.*, 2000) มะม่วงจัดอยู่ในกลุ่มไม้ผลทนเค็มน้อย (Kenta, 2021) จึงพบอาการเหี่ยวใบไหม้จากปลายใบเข้าไปในสวนที่ 1 ดังนั้น อาจทำให้ผลผลิตลดลงได้ ในขณะที่สวนที่ 6 ค่าความเค็มมีแนวโน้มสูงสุดในเดือนธันวาคม เท่ากับ 1.16 กรัมต่อลิตร แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับเดือนพฤศจิกายน และพฤษภาคม มีค่าเท่ากับ 1.12 และ 1.01 กรัมต่อลิตรตามลำดับ สวนที่ 7 เดือนพฤศจิกายน มีความเค็มต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเดือนอื่น เท่ากับ 0.43 กรัมต่อลิตร ในขณะที่เดือนพฤษภาคมมีความเค็มสูงกว่าเดือนอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.95 กรัมต่อลิตร จากผลการศึกษาพบว่าค่าความเค็มของทุกสวนยกเว้นสวนที่ 1 ตลอดระยะเวลาการศึกษา ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ทาง

การเกษตร กรณีที่สวนที่ 1 มีค่าความเค็มสูงกว่าสวนอื่น อาจเนื่องมาจากใช้น้ำโดยตรงจากแม่น้ำบางปะกง และตำแหน่งของสวนอยู่ใกล้ปากแม่น้ำกว่าสวนอื่น (Figure 1) และเจ้าของสวนที่ 1 มีการสูบน้ำเข้าสวนในเดือนมกราคม และเดือนมีนาคมครั้ง ในขณะที่ยสวนที่ 2, 3, 6 และ 7 มีการสูบน้ำเข้าสวนในช่วงเดือนมกราคม สวนที่ 4 และ 5 สูบน้ำเข้าสวนในช่วงเดือนมีนาคมเพียงครั้งเดียว ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 แม่น้ำบางปะกงบริเวณอำเภอดงเค็งมีค่าความเค็มเท่ากับ 0.15 - 0.30 กรัมต่อลิตร ในขณะที่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2565 มีค่าความเค็มเท่ากับ 0.20 - 11.58 กรัมต่อลิตร (Shwe *et al.*, 2022)

ความเข้มข้นของโซเดียม

ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไอออนของทั้ง 7 สวน และแต่ละเดือนภายในสวนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 6) พบว่าปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไอออนของสวนที่ 1 สูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับเดือนอื่น และมีแนวโน้มต่ำสุดในเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 24.57 และ 4.63 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ในขณะที่สวนที่ 2, 3, 4 และ 5 มีปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไอออนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเดือนเมษายน มีค่าเท่ากับ 13.07, 9.82, 14.96 และ 16.02 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไอออนเดือนเมษายนของสวนที่ 4 และ 5 ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับเดือนมีนาคม มีค่าเท่ากับ 14.35 และ 14.94 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ สวนที่ 6 มีปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไอออนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 8.63 มิลลิกรัมต่อลิตร (Figure 6) เห็นได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไอออนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน และลดลงในเดือนพฤษภาคม เนื่องจากช่วงเดือนธันวาคมมีปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาต่ำสุด และเพิ่มสูงขึ้น โดยสูงสุดในเดือนพฤษภาคม (Figure 2) สวนที่ 1, 2, 4 และ 5 ช่วงเดือนมีนาคมและเมษายน มีปริมาณความเข้มข้น

ของโซเดียมไอออนสูงกว่า 10 มิลลิกรัมวาเลนซ์ต่อลิตร จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่อันตรายต่อพืช ไม่เหมาะสำหรับใช้น้ำเพื่อการเกษตร (Chaiyapinan, 2005) เนื่องจากโซเดียม (Na^+) ไม่ได้จัดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชตามเกณฑ์ของ Arnon and Stout (1939) ดังนั้นหากพืชได้รับโซเดียมในปริมาณที่มากเกินไปความต้องการจะเป็นพืชต่อพืชได้ ซึ่งมีรายงานว่าเมื่อพืชดูดน้ำไปใช้และพืชคายน้ำออก โซเดียมจะถูกเคลื่อนย้ายไปสะสมอยู่ที่ใบ ทำให้ใบไหม้ เนื้อเยื่อแห้งตามขอบใบ (Ayers

and Westcot, 1985) และกรณีที่สารละลายในดินหรือน้ำมีปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมสูง โซเดียมยับยั้งการดูดใช้ธาตุอาหารอื่น เช่น โพแทสเซียม (K^+) แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ซึ่งทั้ง 3 ธาตุจัดเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช ดังนั้น การที่พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารดังกล่าวได้ลดลง มีผลทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลงตลอดจนส่งผลให้พืชตายในที่สุด (Barker and Pilbeam, 2015; Gupta and Huang, 2014)

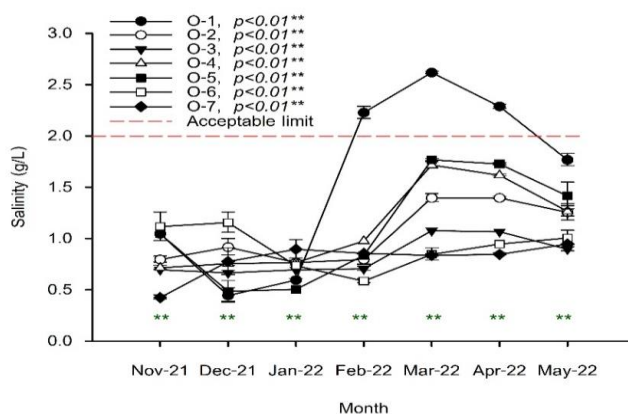


Figure 5. The monthly changes of salinity value from water samples in orchards during November 2021 - May 2022. Standard error bars are the mean $\pm$ SD, *, ** means significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ in each orchard, respectively ** means significant difference at $P < 0.01$ in each month

Remark: The acceptable limit of salinity for agricultural water is not over 2.0 g/L (Chaiyapinan, 2005)

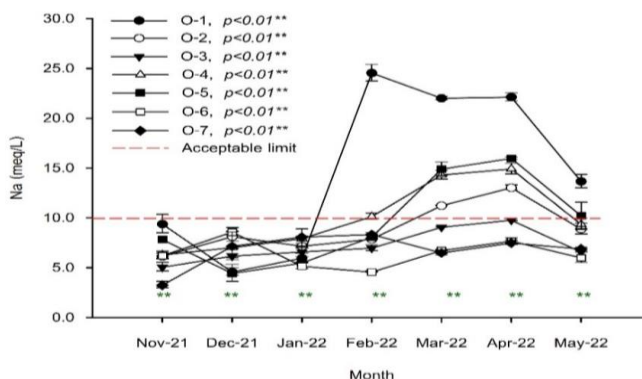


Figure 6. The monthly changes of sodium (Na^+) value from water samples in orchards during November 2021 - May 2022. Standard error bars are the mean $\pm$ SD, *, ** means significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ in each orchard, respectively. ** means significant difference at $P < 0.01$ in each month

Remark: The acceptable limit of sodium for agricultural water is not over 10 meq/L (Chaiyapinan, 2005)

สัดส่วนการดูดซับโซเดียม

สัดส่วนการดูดซับโซเดียมของทั้ง 7 สวน และแต่ละเดือนภายในสวนเดียวกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P < 0.01$ พบว่า เดือนเมษายนมีสัดส่วนการดูดซับโซเดียมสูงกว่าเดือนอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสวนที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มีค่าเท่ากับ 11.65, 7.90, 6.67, 9.28, 9.76, 4.15 และ 5.53 ตามลำดับ (Figure 7) พบว่า สัดส่วนการดูดซับโซเดียมสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ของน้ำใช้ทางการเกษตร ซึ่งไม่ควรเกิน 4 จัดเป็นขีดจำกัดของการเจริญเติบโตของพืชบางชนิด โดยเฉพาะพืชที่ไวต่อความเค็ม (Chaiyapinan, 2005) ในขณะที่เกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยของน้ำเพื่อการชลประทานไม่ควรเกิน 6 (Salinity Management Guide, 2007) สัดส่วนการดูดซับโซเดียมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมกับแคลเซียมและแมกนีเซียม วัตถุประสงค์กล่าวควรมีปริมาณความเข้มข้นที่สมดุลกัน กรณีที่น้ำมีความเข้มข้นของโซเดียมสูง ย่อมส่งผลเสียต่อสมบัติดิน เช่น ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของอนุภาคดิน โดยเฉพาะดินเหนียว ส่งผลให้โครงสร้างดินถูกทำลาย และแน่นทึบ ทำให้อัตราการแทรกซึมของน้ำและอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านดินลดลง (Mateo-Sagasta and Burke, 2010; Wetvithan *et al.*, 2022) ในทางตรงกันข้ามสัดส่วนการดูดซับโซเดียมของทุกสวนมีแนวโน้มต่ำสุดในเดือนพฤศจิกายน และธันวาคม อาจเนื่องจากในช่วงเดือนธันวาคม มีการระบายน้ำจืดจากอ่างเก็บน้ำสิียด อ่างเก็บน้ำขุนด่าน ปรากฏการชล อ่างเก็บน้ำพระสทั้ง อ่างเก็บน้ำพระปรอง อ่างเก็บน้ำนฤปดินทรจินดา และอ่างเก็บน้ำระบม เพื่อช่วยผลักดันน้ำเค็มกลับเข้าสู่อ่าวไทย (Royal Irrigation Department, 2022)

เปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้

เปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้เป็นเกณฑ์สำคัญในการประเมินคุณภาพน้ำสำหรับการเกษตร (Sarker *et al.*, 2000) ความเป็นพิษของโซเดียม (Na^+) มีความสัมพันธ์กับแคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) โดยที่ความเป็นพิษของโซเดียมจะลดลง ถ้ามีแคลเซียมและแมกนีเซียมอยู่ด้วย กรณีที่ความเข้มข้น

ของแคลเซียมหรือแมกนีเซียมมากพอ จะช่วยลดความเป็นอันตรายที่เกิดจากโซเดียมได้ จากการศึกษาตลอดระยะเวลา 7 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 พบว่า เดือนเมษายนมีค่าเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้สูงกว่าเดือนอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสวนที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มีค่าเท่ากับ 75.39, 70.45, 69.41, 74.23, 74.82, 52.70 และ 67.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ของทุกสวนมีแนวโน้มต่ำสุดในเดือนพฤศจิกายน มีค่าเท่ากับ 65.98, 6.78, 60.55, 67.42, 60.62, 40.65 และ 60.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 8) แสดงให้เห็นว่าน้ำมีปริมาณความเข้มข้นระหว่างโซเดียม แคลเซียมและแมกนีเซียมโอออนไม่สมดุลกัน ซึ่งเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร ไม่ควรเกิน 60 เปอร์เซ็นต์ (Chaiyapinan, 2005) จากผลการศึกษาตลอดระยะเวลา 7 เดือนของทุกสวน ยกเว้นสวนที่ 6 มีค่าเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์อยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อพืช ไม่ควรใช้น้ำเพื่อการเกษตร กรณีที่น้ำที่มีปริมาณโซเดียมสูงเกินไป โซเดียมในน้ำจะไปแทนที่แคลเซียม และแมกนีเซียมในดิน ส่งผลให้ดินมีลักษณะแข็ง และทำให้การซึมซาบของน้ำในดินลดลง (Chiemchaisri, 2007) และเห็นได้ว่าสวนที่ 6 มีค่าสัดส่วนการดูดซับโซเดียมและเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ต่ำกว่าสวนอื่นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้น้ำจากคลองชลประทาน และการจัดการสูบน้ำของเจ้าของสวนในเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 ซึ่งเป็นช่วงที่แม่น้ำบางปะกงมีสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มน้อยกว่า 0.45 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 0.7 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (Shwe *et al.*, 2022)

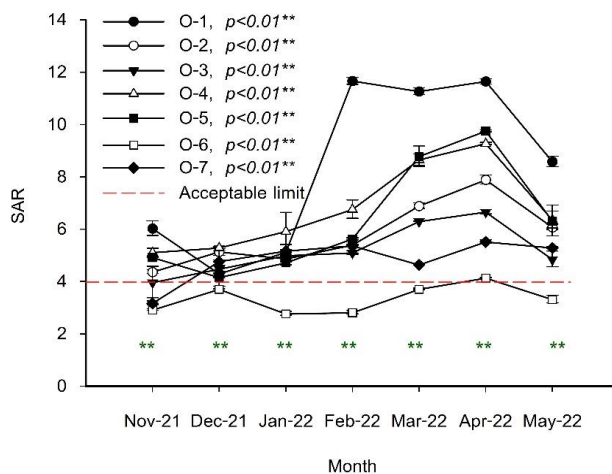


Figure 7. The monthly changes of SAR value from water samples in orchards, November 2021 - May 2022. Standard error bars are the mean $\pm$ SD, *, ** means significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ in each orchard, respectively **means significant difference at $P < 0.01$ in each month
Remark: The acceptable limit of SAR for agricultural water is not over 4 (Chaiyapinan, 2005)

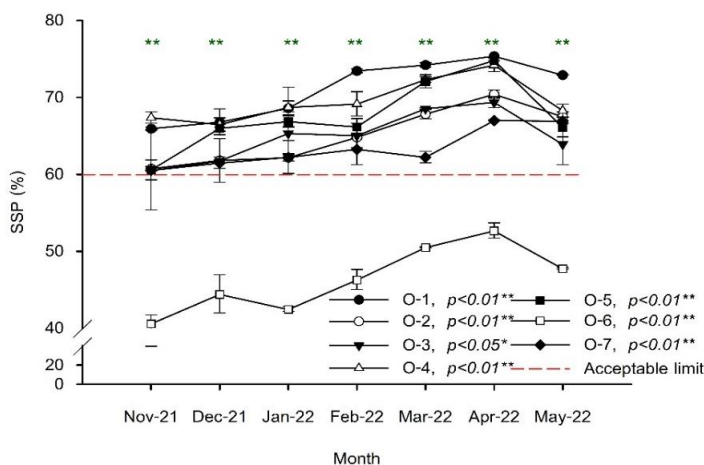


Figure 8. The monthly changes of SSP value in water samples for orchards during November 2021 - May, 2022. Standard error bars are the mean $\pm$ SD, *, **means significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ in each orchard, respectively **means significant difference at $P < 0.01$ in each month
Remark: The acceptable limit of SSP for agricultural water is not over 60% (Chaiyapinan, 2005)

สัดส่วนการรุกรานน้ำเค็ม

จากการศึกษาตลอดระยะเวลา 7 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 แสดงผลเป็นระยะเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 โดยกำหนดค่าความเข้มข้นคลอไรด์ในน้ำจืดแต่ละส่วนของเดือนพฤศจิกายนเพื่อใช้คำนวณในสมการที่ 4 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล เท่ากับ 459.25 มิลลิกรัมวาลีนซ์ต่อลิตร ความแตกต่างระหว่างเดือนมีผลต่อสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P < 0.01$ โดยพบว่า สัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มของสวนที่ 1 และ 7 เดือนกุมภาพันธ์สูงกว่าเดือนอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 6.36 และ 1.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สวนที่ 3, 4 และ 6 สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเดือนมีนาคม มีค่าเท่ากับ 1.20, 2.67 และ 0.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สวนที่ 2 และ 5 สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเดือนเมษายน มีค่าเท่ากับ 2.06 และ 3.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เห็นได้ว่าสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มมีแนวโน้มสูงขึ้นช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน และลดลงในเดือนพฤษภาคม (Figure 9) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ความเค็ม สัดส่วนการดูดซับโซเดียม และเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ของน้ำในสวนมะม่วง เกินค่ามาตรฐานน้ำใช้เพื่อการเกษตร ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าน้ำที่มีค่าสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มที่มากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ นั้นไม่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร อันตรายต่อพืช และอาจส่งผลกระทบต่อสมบัติดิน Abou Zakhem and Hafez (2007) กำหนดให้พื้นที่ที่ไม่ได้รับอิทธิพลการรุกรานของน้ำทะเล มีสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลการรุกรานของน้ำทะเล มีค่าสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็ม 2 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ Somay and Gemici (2009) สัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มของน้ำใต้ดินในช่วงฤดูแล้งเพิ่มขึ้นจากช่วงฤดูฝน เนื่องจากอิทธิพลจากการหนุนของน้ำทะเล สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้พบว่า สวนที่ 1, 2, 4 และ 5 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้า ความเข้มข้นของโซเดียม สัดส่วนการดูดซับโซเดียม และเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ เกินค่ามาตรฐานสำหรับใช้ประโยชน์ทางการเกษตร และ

สัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม น้ำทะเลมีองค์ประกอบของไอออน 6 ชนิดเป็นหลัก ได้แก่ โซเดียม (Na^+) 55%, คลอไรด์ (Cl^-) 31%, ซัลเฟต (SO_4^{2-}), แมกนีเซียม (Mg^{2+}) 4%, แคลเซียม (Ca^{2+}) 1% และโพแทสเซียม (K^+) 1% (Lu and Wang, 2018) จึงส่งผลให้น้ำในร่องสวนที่ 1, 2, 4 และ 5 เกิดการสะสมไอออนดังกล่าว ซึ่งขณะที่น้ำในแม่น้ำบางปะกงเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2565 มีค่าสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มเท่ากับ 25.40 และ 3.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Shwe *et al.*, 2022) เห็นได้ว่าสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.350* (Table 1) อาจเนื่องจากการที่น้ำทะเลทำปฏิกิริยาทางเคมีกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เกิดกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ความเป็นกรดของน้ำเพิ่มขึ้น (Humphreys *et al.*, 2022; Marion *et al.*, 2011) ในขณะที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับสภาพการนำไฟฟ้า ความเค็ม ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียม สัดส่วนการดูดซับโซเดียม เปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้ และปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.867*, 0.867**, 0.923**, 0.901**, 0.598** และ 0.925** ตามลำดับ (Table 1) มีการศึกษาก่อนหน้าได้รายงานไว้ว่า พื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลการรุกรานของน้ำทะเล มีปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และคลอไรด์ไอออนสูงขึ้น เนื่องจากน้ำทะเลมีองค์ประกอบของธาตุดังกล่าว (Chae *et al.*, 2012; Mondal *et al.*, 2010; Sarwade *et al.*, 2006) จึงเป็นสาเหตุให้สัดส่วนการรุกรานของน้ำเค็ม (F) มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับไอออนของโซเดียม และคลอไรด์

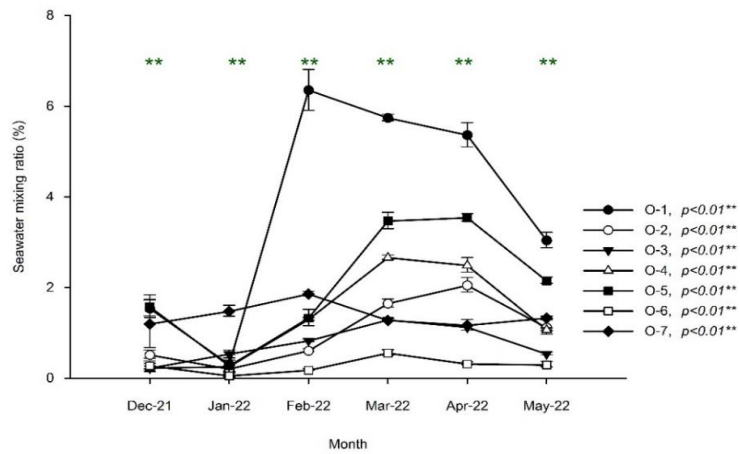


Figure 9. The monthly changes of seawater mixing ratio value from water samples in orchards during December 2021 - May 2022. Standard error bars are the mean $\pm$ SD, *, ** means significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ in each orchard, respectively. ** means significant difference at $P < 0.01$ in each month

Table 1. Pearson's correlation coefficients between seawater mixing ratio (F) and water quality parameters

Parameter	pH	EC _w	Salinity	Na ⁺	SAR	SSP	Cl ⁻
F	-0.350*	0.867**	0.867**	0.923**	0.901**	0.598**	0.925**

*, ** means significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

สรุป

จากข้อมูลการศึกษาตลอดระยะเวลา 7 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 พื้นที่ศึกษาทั้งหมด 7 สวน พบว่า คุณภาพของน้ำในสวนขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกง ระยะห่างระหว่างสวนกับแม่น้ำบางปะกง แหล่งน้ำที่สวนใช้ และการจัดการดูแลสวน โดยเฉพาะช่วงเวลาสูบน้ำ หากสูบน้ำในช่วงที่แม่น้ำบางปะกงมีสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มสูง จะทำให้คุณภาพน้ำในสวนไม่เหมาะสมสำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง และหากน้ำในสวนมีสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สภาพการนำไฟฟ้า ความเค็ม ความเข้มข้นของโซเดียม ไออน สัดส่วนการดูดซับโซเดียมและเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้เกินค่ามาตรฐานของน้ำใช้เพื่อการเกษตร พบในสวนที่ 1, 2, 4 และ 5 ในขณะที่สวนที่ 3 และ 7 มี

สัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มเท่ากับ 1.20 และ 1.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำให้สภาพการนำไฟฟ้า สัดส่วนการดูดซับโซเดียม และเปอร์เซ็นต์โซเดียมที่ละลายได้เกินค่ามาตรฐานของน้ำใช้เพื่อการเกษตร สวนที่ 6 มีสัดส่วนการรุกรานน้ำเค็มเท่ากับ 0.57 เปอร์เซ็นต์ และมีเพียงสภาพการนำไฟฟ้าเกินค่ามาตรฐานของน้ำใช้เพื่อการเกษตร ซึ่งใช้น้ำจากคลองชลประทาน ดังนั้นชาวสวนต้องมีการจัดการวางแผนการสูบน้ำเข้าสวนให้เหมาะสม ไม่ควรใช้น้ำจากแม่น้ำบางปะกงในช่วงที่มีความเค็มเกินค่ามาตรฐาน เพื่อป้องกันการนำน้ำเค็มเข้าสวน ก่อให้เกิดการสะสมสารละลายเกลือในดิน อันตรายต่อการเจริญเติบโต และลดผลผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง นอกจากนี้ควรมีระบบแจ้งเตือนคุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกง และหากใช้สัดส่วนการรุกรานของน้ำเค็มเป็นดัชนีแจ้งเตือน จะครอบคลุม คุณภาพน้ำด้านความเค็มได้ดีกว่าการใช้ค่าความเค็มเพียงอย่างเดียว

เอกสารอ้างอิง

- Abou Zakhem, B. and R. Hafez. 2007. Environmental isotope study of seawater intrusion in the coastal aquifer (Syria). *Environmental Geology* 51(8): 1329-1339.
- Alfarrah, N. and K. Walraevens. 2018. Groundwater overexploitation and seawater intrusion in coastal areas of arid and semi-arid regions. *Water* 10(2): 143, doi: 10.3390/w10020143.
- Arnon, D.I. and P.R. Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology* 14(2): 371-375.
- Arslan, H. and Y. Demir. 2013. Impacts of seawater intrusion on soil salinity and alkalinity in Bafra Plain, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 185(2): 1027-1040.
- Arunpark, K. 2005. Bang Pa Kong diversion dam: A failure in water resources management. *Damrong Journal of the Faculty of Archaeology Silpakorn University* 4(2): 1-16. (in Thai)
- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. *Water Quality for Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 174 p.
- Barker, A.V. and D.J. Pilbeam. 2015. *Handbook of Plant Nutrition*. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton. 743 p.
- Bayabil, H.K., Y. Li, Z. Tong and B. Gao. 2021. Potential management practices of saltwater intrusion impact on soil health and water quality: A review. *Journal of Water and Climate Change* 12(5): 1327-1343.
- Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annual Review of Phytopathology* 13(1): 295-312.
- Brindha, K. and L. Elango. 2011. Hydrochemical characteristics of groundwater for domestic and irrigation purposes in Madhuranthakam, Tamil Nadu, India. *Earth Sciences Research Journal* 15(2): 101-108.
- Carillo, P., M.G. Annunziata, G. Pontecorvo, A. Fuggi and P. Woodrow. 2011. Salinity stress and salt tolerance. pp. 21-38. *In: A.K. Shanker and B. Venkateswarlu (eds.). Abiotic Stress in Plants-Mechanisms and Adaptations InTech, Rijeka.*
- Chae, G.T., S.T. Yun, S.M. Yun, K.H. Kim and C.S. So. 2012. Seawater-freshwater mixing and resulting calcite dissolution: an example from a coastal alluvial aquifer in eastern South Korea. *Hydrological Sciences Journal* 57(8): 1672-1683.
- Chaiyapinan, A. 2005. Study on water quality of Tha Chin River for agriculture. (Online). Available: <http://www.llb.doa.go.th/multim/B00574.pdf> (October 5, 2022). (in Thai)
- Chiemchaisri, W. 2007. *Water Quality for Agriculture*. Kasetsart University, Bangkok. 31 p. (in Thai)
- Chitradon, R. 2016. Saline water intrusion status in Thailand and desalination technology for water sustainability. (Online). Available: https://www.nstda.or.th/nac/2016/indexf535.html?page_id=612 (October 5, 2022). (in Thai)
- Estefan, G., R. Sommer and J. Ryan. 2013. *Methods of Soil, Plant, and Water Analysis: A Manual for the West Asia and North Africa Region*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Beirut. 243 p.

- Geilfus, C-M. 2018. Chloride: From nutrient to toxicant. *Plant and Cell Physiology* 59(5): 877-886.
- Gupta, B. and B. Huang. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics* 2014: 701596, doi: 10.1155/2014/701596.
- Hensawang, S. and P. Chanpiwat. 2021. The salinity value of the Bang Pakong River: the main river in the eastern economic corridor. *Environmental Journal* 25(2): 1-7. (in Thai)
- Humphreys, M.P., Y. Artioli, D.C. E. Bakker, S.E. Hartman, P. Leon, S. Wakelin, P. Walsham and P. Williamson. 2022. Air-sea CO₂ exchange and ocean acidification in UK seas and adjacent waters. *Marine Climate Change Impacts Partnership* 54-75, doi: 10.14465/2020.arc03.oac.
- Hydro Informatics Institute. 2012. Collecting and analyzing data for developments of 25 watersheds database and flood and drought model of Bang Pakong river (Online). Available: <https://tiwrm.hii.or.th/web/attachments/25basins/16-bangpakong.pdf> (October 1, 2022). (in Thai)
- Isayenkov, S.V. and F.J.M. Maathuis. 2019. Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science* 10: 80, doi: 10.3389/fpls.2019.00080.
- Kenta, K. 2021. Effect of seawater intrusion on soil properties in agricultural areas of Nonthaburi and Pathum Thani provinces. (Online). Available: http://www.oss101.idd.go.th/osr_data&service/OSR_PDF/TB_SSK_Distribute/D_SSK64-001.pdf (October 2, 2022). (in Thai)
- Kotuby-Amacher, J., R. Koenig and B. Kitchen. 2000. Salinity and plant tolerance. (Online). Available: https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1042&context=extension_histall (October 5, 2022).
- Kumar, P.M., S.A. Kumar, T. Pradeep, M. Sureshand and S. Ramesh. 2016. Assessment of the groundwater quality for irrigation purposes in Rasipuram Taluk, Tamilnadu, India. *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities* 6(10): 547-553.
- Land Development Department. 2021. Suitable agriculture promotional process for database on agri-map of Chachoengsao. (Online). Available: <https://www.idd.go.th/Agri-Map/Index.html> (October 1, 2022). (in Thai)
- Lu, G.Y. and W.X. Wang. 2018. Water analysis: Seawater inorganic compounds. *Encyclopedia of Analytical Science* 2: 283-289.
- Marine Department. 2021. Water quality monitoring in Thailand's eight major rivers. (Online). Available: <https://www.md.go.th/> (April 1, 2023). (in Thai)
- Marion, G.M., F.J. Millero, M.F. Camoes, P. Spitzer, R. Feistel and C.T. Chen. 2011. pH of seawater. *Marine Chemistry* 126(1): 89-96.
- Mastoi, S.T., A.S. Channa, K.M. Qureshi and W.A. Khokhar. 2022. Assessment of water quality and quantity of surface and subsurface drainage system in the command area of Bareji Distributary Mirpurkhas, Sindh, Pakistan. *Quest Research Journal* 20(01): 127-137.
- Mateo-Sagasta, J. and J. Burke. 2010. Agriculture and water quality interaction: A global

- overview. (Online). Available: <https://www.fao.org/3/bl092e/bl092e.pdf> (October 6, 2022).
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2021. Product information of Chachoengsao Province: Mango. (Online). Available: <https://www.opsmoac.go.th/chachoengsao-dwl-files-441991791201> (April 16, 2023). (in Thai)
- Mondal, N.C., V.P. Singh, V.S. Singh and V.K. Saxena. 2010. Determining the interaction between groundwater and saline water through groundwater major ions chemistry. *Journal of Hydrology* 388(1): 100-111.
- Motsara, M.R. and R.N. Roy. 2008. Guide to Laboratory Establishment for Plant Nutrient Analysis. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 204 p.
- Pessarakli, M. 1999. Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York. 1198 p.
- Phuphanutada, J. and R. Lapcharoensuk. 2017. Study of water quality changes of lower Tha Chin River in dry season for agriculture. pp. 346-349. *In: Proceedings of the 18th TSAE National Conference and the 10th TSAE International Conference. IMPACT, Muang Thong Thani, Bangkok.* (in Thai)
- Pollution Control Department. 2010. Procedure guide for water sampling. (Online). Available: <https://www.pcd.go.th/publication/12187> (October 1, 2022). (in Thai)
- Rasmeemasuang, T., C. Ekkawatpanit, S. Sethaputra and C. Kalakan. 2022. Field investigation of salinity intrusion characteristic patterns in the vicinity of Bangpakong estuary. *Engineering Journal of Research and Development* 33(2): 9-24. (in Thai)
- Richard, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. *Agriculture Handbook No 60*. United States Department of Agriculture, Washington, D.C. 166 p
- Royal Irrigation Department. 2015. Irrigation water quality report according to section 8 of the fiscal year 2015. (Online). Available: <http://www.qwater.rid.go.th/report/file45/REPORT2558.pdf> (October 1, 2022). (in Thai)
- Royal Irrigation Department. 2022. Water management. (Online). Available: <https://www.khundan.com/tour/watermanagement> (October 1, 2022). (in Thai)
- Salinity Management Guide. 2007. Learn about salinity and water quality: sodium adsorption ratio. (Online). Available: https://www.watereuse.org/salinity-management/le/le_5.html (April 1, 2023). (in Thai)
- Sarker, B.C., M. Hara and M.W. Zaman. 2000. Suitability assessment of natural water in relation to irrigation and soil properties. *Soil Science and Plant Nutrition* 46(4): 773-786.
- Sarwade, D.V., M.V. Nandakumar, M.P. Kesari, N.C. Mondal, V.S. Singh and B. Singh. 2007. Evaluation of sea water ingress into an Indian atoll. *Environmental Geology* 52: 1475-1483.
- Shwe, K.K., S. Huaihongthong and S. Yampracha. 2022. Assessment of water quality variation for agriculture in Bang Pakong River of Thailand. *International Journal of Agricultural Technology* 18(5): 2241-2254.
- Somay, M.A. and U. Gemici. 2009. Assessment of the salinization process at the coastal area with hydrogeochemical tools and geographical information systems (GIS): Selcuk plain, Izmir, Turkey. *Water Air, and Soil Pollution* 201: 55-74.

Tavakkoli, E., P. Rengasamy and G.K. McDonald. 2010. High concentrations of Na^+ and Cl^- ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. *Journal of Experimental Botany* 61(15): 4449-4459.

Wetvithan, N., N. Phankamolsil and K. Sonsri. 2022. Influence of seawater intrusion on the properties of paddy soils in Lower Central Plain, Thailand. *King Mongkut's Agricultural Journal* 40(1): 7-17. (in Thai)

การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์และการทำนายปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

Comparison of Analytical Methods and Prediction of Soil Organic Carbon Content

จวรรณก ปรีสงค์ อารดา บุญอาจ นันทนัช ชาวพะเยาว์
ทราย ห้วยหงษ์ทอง และ สุกัญญา แย้มประชา
Jawanchanok Preesong, Arada Boonart, Nantanat Chaopayao,
Sai Huaihongthong and Sukunya Yampracha

ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
Department of Plant Production Technology, School of Agricultural Technology,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

*Corresponding author: Email: sukunya.ya@kmitl.ac.th

(Received: 27 February 2023; Accepted: 27 April 2023)

Abstract: Soil organic carbon (SOC) can be analyzed in many methods, with different advantages and disadvantages. The objectives of this study were 1) to study the correlation between three SOC analysis methods and to predict the dry combustion-SOC with wet oxidation and Loss on Ignition (LOI) and 2) to study the correlation and predict the dry combustion-SOC with soil properties. One hundred fifty-eight soil samples were collected in lowland and upland soils and analyzed for soil properties. The SOC content was analyzed by 3 methods as follows: 1) wet oxidation method 2) dry combustion method and 3) LOI method. The results showed that the dry combustion-SOC had a statistically significant positive correlation with the wet oxidation-SOC and the LOI-SOC in both lowland and upland soils. The correlation coefficients (r) between the dry combustion-SOC with the wet oxidation-SOC in lowland and upland soils were 0.91** and 0.81**, while the r values with the LOI-SOC were 0.95** and 0.77**, respectively. The regression equation to predict the dry combustion-SOC in lowland and upland soils with the wet oxidation-SOC had a coefficient of determination (R^2) of 0.83** and 0.66**, respectively. The R^2 of the regression equation to predict the dry combustion-SOC in lowland and upland soils with the LOI-SOC were 0.90** and 0.59**, respectively. However, an equation for converting wet oxidation-SOC and LOI-SOC to dry combustion-SOC were useful for interpreting the dry combustion-SOC testing. The correlation between the dry combustion-SOC and soil properties showed that lowland and upland were positively correlated with clay content and CEC and negatively correlated with sand content and bulk density.

Keywords: Soil organic matter, soil organic carbon, soil properties, lowland soil, upland soil

บทคัดย่อ: คาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon; SOC) สามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสหสัมพันธ์ของวิธีวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ที่แตกต่างกันและสร้างสมการทำนายปริมาณคาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี dry combustion ด้วยวิธี wet oxidation และ loss on ignition (LOI) และ 2) เพื่อศึกษาสหสัมพันธ์และสร้างสมการทำนายปริมาณคาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี dry combustion ด้วยสมบัติดินเบื้องต้น โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินพื้นที่ลุ่มและดอน 158 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ 3 วิธี ดังนี้ 1) wet oxidation 2) dry combustion และ 3) LOI ผลการศึกษา พบว่า คาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion (dry combustion-SOC) มีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ วิธี wet oxidation และ LOI ทั้งพื้นที่ลุ่มและดอน โดยวิธี wet oxidation มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.91** และ 0.81** ตามลำดับ วิธี LOI มีค่า r เท่ากับ 0.95** และ 0.77** ตามลำดับ สมการถดถอยเพื่อทำนาย dry combustion-SOC ด้วยวิธี wet oxidation ของพื้นที่ลุ่มและดอนมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.83** และ 0.66** ตามลำดับ ค่า R^2 การทำนาย dry combustion-SOC ด้วยวิธี LOI ของพื้นที่ลุ่มและดอน มีค่าเท่ากับ 0.90** และ 0.59** ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากสมการที่ได้สามารถเปลี่ยนค่าวิเคราะห์จากวิธี wet oxidation และ LOI ให้เป็นวิธี dry combustion ได้ จึงเป็นประโยชน์ในการแปลผลวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion dry combustion-SOC มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอนุภาคดินเหนียว (clay) และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณอนุภาคดินทราย (sand) และความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density, BD)

คำสำคัญ: อินทรีย์วัตถุ คาร์บอนอินทรีย์ สมบัติดินเบื้องต้น พื้นที่ลุ่ม พื้นที่ดอน

คำนำ

อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter; SOM) เป็นอินทรีย์สารที่อยู่ในดิน ซึ่งได้จากการสลายตัวของซากพืช ซากสัตว์ หรือซากจุลินทรีย์ รวมทั้งอินทรีย์สารที่รากพืชปลดปล่อยออกมาและที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้น จึงมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพทางเคมี และทางชีวภาพของดิน (Patharadilok, 2013) ดังนั้น การใช้ประโยชน์ของที่ดินและการจัดการดินที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้มีปริมาณของคาร์บอนอินทรีย์ที่แตกต่างกัน (van Noordwijk *et al.*, 1997) ด้วยเหตุนี้ อินทรีย์วัตถุจึงใช้เป็นดัชนีวัดคุณภาพของดิน เพื่อใช้ประเมินความยั่งยืนของทรัพยากรดิน แต่การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในดิน ไม่สามารถวิเคราะห์ได้โดยตรง สามารถวิเคราะห์ได้จากคาร์บอนอินทรีย์ในอินทรีย์วัตถุ โดยอาศัยหลักการที่ว่าคาร์บอนอินทรีย์มีปริมาณ 58 เปอร์เซ็นต์ ของอินทรีย์วัตถุ (Grigal and Ohmann, 1992)

วิธีวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon; SOC) มีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน วิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ในดินของห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา โดยส่วนใหญ่ นิยมวิเคราะห์ด้วย 3 วิธี ดังนี้ 1) วิธี wet oxidation (Walkley and Black, 1934) เป็นวิธี oxidize คาร์บอนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) และกรดกำมะถันเข้มข้น (H_2SO_4) แล้ววัดไดโครเมตที่เหลือ ($Cr_2O_7^{2-}$) โดยการไทเทรตกับ reducing agent เป็นวิธีที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย สะดวกรวดเร็วและไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ แต่ค่าที่ได้มีความแม่นยำต่ำ ค่าเฉลี่ย recovery อยู่ในช่วง 71 - 92 เปอร์เซ็นต์ (Nelson and Sommers, 1996) ทำให้ต้องคูณค่า correction factor (CF) เพื่อให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีความถูกต้องมากขึ้น และสารเคมีที่ใช้ $K_2Cr_2O_7$ ยังเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม 2) วิธี dry combustion (LECO Corporation, 2016) เป็นวิธีมาตรฐานที่ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยาทั่วโลกยอมรับ (FAO, 2019) เป็นวิธีที่เผาคาร์บอนอินทรีย์ด้วยความร้อน

ที่อุณหภูมิ 950 - 1,400 องศาเซลเซียส มีค่าถูกต้อง (accuracy) และมีความเที่ยง (precision) สูง แต่เครื่องมีอัตราราคาสูงจึงไม่สามารถทำได้ในทุกห้องปฏิบัติการ และ 3) วิธี loss on ignition (Jones, 2001) เป็นวิธีที่วัดความแตกต่างของน้ำหนักที่หายไปของดินหลังการเผาด้วยอุณหภูมิ 350 - 440 องศาเซลเซียส Suwannaooin (2007) รายงานว่า การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion มีความถูกต้องมากกว่าวิธี wet oxidation เพราะวิธี wet oxidation มีข้อจำกัดของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี LOI เหมาะกับการวิเคราะห์ดินทรายเพียงเท่านั้น Avramidis *et al.* (2015) เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี wet oxidation และวิธี dry combustion โดยใช้ตัวอย่างดินอ้างอิง (soil certified references materials) พบว่าวิธี dry combustion มีความถูกต้องมากกว่าวิธี wet oxidation ด้วยเหตุนี้การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion จึงเป็นวิธีที่ทั่วโลกยอมรับและใช้เป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ในดิน แต่ด้วยราคาค่าใช้จ่ายที่สูงจึงมีนักวิจัยหาวิธีประมาณค่าคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion ได้จากวิธี wet oxidation และวิธี LOI โดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlation analysis) และการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) Konare *et al.* (2010) ได้ประมาณค่าคาร์บอนอินทรีย์ของดินในแอฟริกาตะวันตกจากสมการ %SOC ด้วยวิธี dry combustion = $0.03 + 0.36 (LOI - SOC)$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.89^{**} นอกจากนั้น ยังสามารถประมาณค่าคาร์บอนอินทรีย์ของดินได้โดยใช้สมบัติเบื้องต้นทางเคมีและทางกายภาพของดิน ยกตัวอย่างเช่น ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity, CEC) ความหนาแน่นรวมดิน เนื้อดิน เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองของ Konare *et al.* (2010) ยังสามารถประมาณค่าคาร์บอนอินทรีย์ของดินในแอฟริกาตะวันตก โดยใช้ปริมาณของอนุภาคดินเหนียว จากสมการ คาร์บอนอินทรีย์จากวิธี dry combustion (g/kg) = $1.854 + (0.019 \times \text{clay(g/kg)})$ มี

ค่า R^2 เท่ากับ 0.45^{**} Syers *et al.* (1970) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CEC และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ของดินทรายในทางตอนเหนือของประเทศนิวซีแลนด์ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.96^{**} ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CEC และเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคดินเหนียว มีค่า R^2 เท่ากับ 0.57^{**} จากงานวิจัยของ Stevenson (1994) สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่าง CEC กับอนุภาคดินเหนียว และคาร์บอนอินทรีย์ในดินของกลุ่มดิน stony downs พบว่า $CEC (cmol/kg) = 4.37 + 0.44 (\%clay) + 2.25 (\%SOC)$ อย่างไรก็ตาม การศึกษาทางวิจัยทางด้านความสัมพันธ์และการทำนายคาร์บอนอินทรีย์จากวิธี dry combustion มีข้อมูลน้อยในประเทศไทย

การหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ในดินและสมบัติดินเบื้องต้น โดยใช้สมการคณิตศาสตร์ในการประเมินค่าคาร์บอนอินทรีย์ในดิน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการประเมินค่าคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ช่วยลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ และค่าใช้จ่าย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาสหสัมพันธ์ของวิธีวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ที่ต่างกันและสร้างสมการทำนายปริมาณคาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี dry combustion ด้วยวิธี wet oxidation และ LOI และ 2) เพื่อศึกษาสหสัมพันธ์และสร้างสมการทำนายปริมาณคาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี dry combustion ด้วยสมบัติดินเบื้องต้น

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษาและการเก็บข้อมูล

ทำการศึกษาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2562 - 2565 โดยพื้นที่ศึกษาแบ่งตามสภาพพื้นที่ออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) พื้นที่ลุ่ม (lowland) และ 2) พื้นที่ดอน (upland) ตามแผนที่กลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน (Land Development Department, 2005) ตัวอย่างดินในพื้นที่ลุ่ม เก็บตัวอย่างจาก 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดสุพรรณบุรี และกรุงเทพมหานคร โดยมีการใช้ที่ดินเพื่อปลูกข้าวทั้งหมด จำนวน 92 ตัวอย่าง ส่วนพื้นที่ดอน เก็บตัวอย่างดินจาก 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ

จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดอุทัยธานี โดยใช้ที่ดินเพื่อปลูกพืชไร่ ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด เป็นต้น จำนวน 66 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 158 ตัวอย่าง (Figure 1)

การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินแต่ละแปลง 2 รูปแบบ ได้แก่ การเก็บตัวอย่างแบบรบกวนตัวอย่าง (disturbed soil samples) และการเก็บตัวอย่างแบบไม่รบกวนตัวอย่าง (undisturbed soil samples) ซึ่งการเก็บตัวอย่างแบบรบกวนตัวอย่างโดยใช้วิธีเก็บตัวอย่างรวม (composite sample) โดยเก็บตัวอย่างดินจำนวน 5 จุดต่อแปลง 2 ระดับความลึก คือ 0 - 15 และ 15 - 30 เซนติเมตร แล้วนำตัวอย่างดินแต่ละระดับความลึกผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วจึงสุ่มตัวอย่างดินที่ออกมา 1 ส่วนจำนวน 1 กิโลกรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นทางเคมีของดิน ส่วนการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนตัวอย่าง (undisturbed soil samples) เก็บตัวอย่างดินด้วยวิธี core sample จำนวน 2 จุดต่อแปลง 2 ระดับความลึก คือ 0 - 15 และ 15 - 30 เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์

ความหนาแน่นรวมของดินด้วยวิธี core method (Land Development Department, 2010)

การวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้น

นำตัวอย่างดินที่เก็บแบบรบกวนตัวอย่าง ผึ่งลมให้แห้ง บด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้น ได้แก่ วิเคราะห์เนื้อดินโดยวิธีปิเปต (pipette method) (Gee and Bauder, 1986) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1 : 1 วัดด้วยเครื่อง pH meter (National Soil Survey Center, 1996) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1 : 5 วัดด้วยเครื่อง EC meter (Richards, 1954) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) สกัดด้วย 1N ammonium acetate (pH 7.0) (IITA, 1979) วิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ 3 วิธี ดังนี้ 1) วิธี dry combustion โดยใช้เครื่อง CNS analyzer (LECO Corporation, 2016) 2) วิธี wet oxidation (Walkley and Black, 1934) และ 3) วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ด้วยวิธี loss of ignition (Jones, 2001) โดยมีรายละเอียดดังนี้

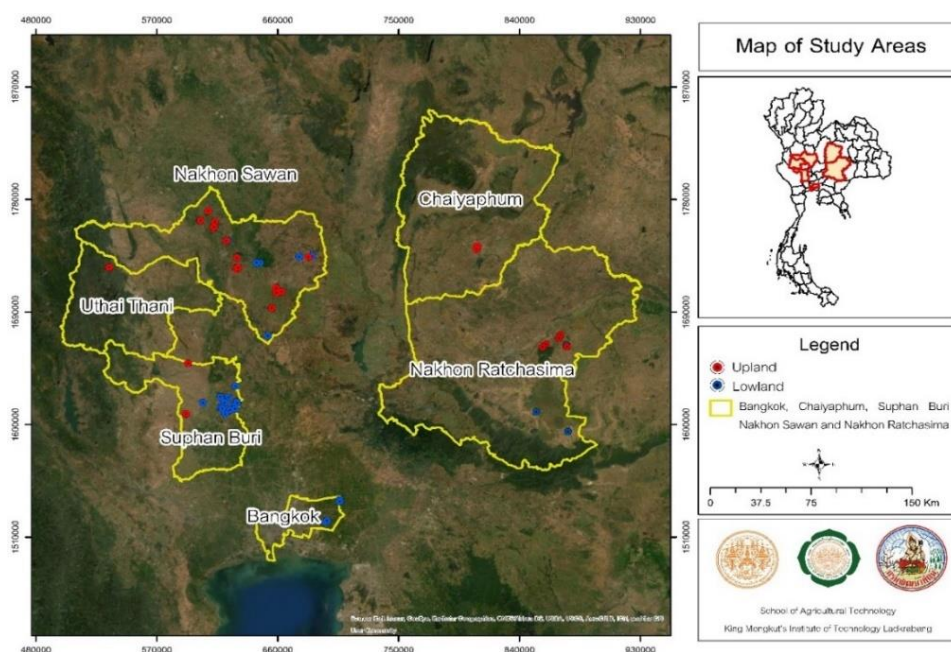


Figure 1. Map of soil sampling points of lowland ($n=92$) and upland soil ($n=66$)

การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ ด้วยวิธี dry combustion
(LECO Corporation, 2016)

นำตัวอย่างดินมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.1 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TruMac CNS analyzer S/N 15552 โดยเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1,350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที ทุกการวิเคราะห์ตัวอย่างต้องคั่นด้วยตัวอย่างดินอ้างอิง (soil certified references materials) ทุก ๆ 10 ตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าวิเคราะห์โดยค่าเฉลี่ย %recovery ของคาร์บอนในดินของวิธี dry combustion มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ ด้วยวิธี wet oxidation โดยวิธีของ Walkley and Black (1934)

นำตัวอย่างดินร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร (32 mesh) แล้วชั่งตัวอย่างดิน 0.2 - 2.0 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 1N potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) ลงไป 5 มิลลิลิตร แก้วเบา ๆ ให้ดินและสารละลายผสมกัน เติมกรดกำมะถันเข้มข้นจำนวน 10 มิลลิลิตร แก้วขวดรูปชมพู่อย่างรวดเร็วจนเต็ม ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร แก้วขวดรูปชมพู่ทิ้งไว้ให้เย็น เติม O-phenanthroline ferrous sulfate indicator 3 - 4 หยดไทเทรต suspension ด้วยสารละลาย 0.5N ferrous sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) จนกระทั่งถึงจุดยุติ (end point) คือสีของ suspension จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง ทำ blank ซึ่งไม่มีตัวอย่างดินควบคู่กับการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน สามารถคำนวณปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (\%)} = \frac{(\text{blank-sample}) \times N \text{ ของ } FeSO_4 \times 0.003 \times 100 \times 1.33}{\text{น้ำหนักของดินแห้ง (g)}}$$

โดยที่ blank คือ สารละลาย $FeSO_4$ ที่ไทเทรต blank, sample คือ สารละลาย $FeSO_4$ ที่ไทเทรตตัวอย่าง, N ของ $FeSO_4$ คือ ความเข้มข้นของ $FeSO_4$ ในหน่วย normality, 0.003 คือ น้ำหนักสมมูล (equivalent weight) ของคาร์บอนที่ถูกลอกออกซิไดซ์ใน

หน่วย meq และ 1.33 คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยคิดจากค่าเฉลี่ย %recovery ของคาร์บอน ในดินเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ ด้วยวิธี loss of ignition
(Jones, 2001)

นำ crucible อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาใส่ desiccator ซึ่งน้ำหนักของ crucible ซึ่งตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 5.0000 กรัม ใส่ crucible แล้วจดน้ำหนักก่อนอบ นำตัวอย่างดินที่ใส่ crucible แล้วไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ desiccator จดน้ำหนักหลังอบตัวอย่างดิน นำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ desiccator จดน้ำหนักหลังการเผาตัวอย่างดิน สามารถคำนวณปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักดินหลังอบที่ } 105^\circ C - \text{น้ำหนักดินหลังเผาที่ } 400^\circ C}{\text{น้ำหนักดินหลังอบที่ } 105^\circ C}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สมบัติดินเบื้องต้นวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean), ค่ามัธยฐาน (median), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD), ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variation: CV) และค่าความเบ้ (skewness)

วิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlation analysis) ของการวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ได้แก่ 1) วิเคราะห์สหสัมพันธ์ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ระหว่างวิธี dry combustion กับวิธี wet oxidation และวิธี LOI และ 2) วิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี dry combustion กับสมบัติดินเบื้องต้น

สร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion โดยสร้างสมการ

ถดถอย (regression analysis) ระหว่างปริมาณคาร์บอนอินทรีย์วิธี dry combustion ด้วยวิธี wet oxidation และ LOI และสร้างสมการการทำนายปริมาณคาร์บอนอินทรีย์วิธี dry combustion ด้วยสมบัติดินโดยวิธี stepwise regression analysis โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ training set for calibration และ testing set for validation โดยสุ่มข้อมูลออกเป็น สัดส่วน 70 : 30 โดยข้อมูลชุดที่ 1 นำมาสร้างสมการถดถอยและสมการคณิตศาสตร์ด้วยวิธี stepwise regression ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 นำมาใช้ในการประมาณค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นโดยคำนวณค่า root mean squared error (RMSE) (Saldaña-Villota and Cotes-Torres, 2021; Willmott, 1982) และค่า model efficiency (EF) เพื่อประเมินความถูกต้องของสมการคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น วิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติดินเบื้องต้น

การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของสมบัติดินเบื้องต้นของตัวอย่างดินในพื้นที่ลุ่ม พบว่า ค่า pH ของดินในพื้นที่ลุ่มมีค่าอยู่ในช่วง 4.45 - 8.01 (Table 1) การกระจายตัวเป็นแบบเบ้ซ้าย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.39 แสดงว่าค่า pH ส่วนใหญ่เป็นกรดอ่อน ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) ของพื้นที่ลุ่มอยู่ในช่วง 0.01 - 0.48 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ค่า EC อยู่ในระดับที่ไม่เค็ม ปริมาณอนุภาคทราย (sand), อนุภาคทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) มีค่าเฉลี่ย 201.02, 358.97 และ 440.77 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ พบว่า ดินส่วนใหญ่ในพื้นที่ลุ่มจัดเป็นเนื้อดินประเภทกลุ่มเนื้อละเอียดเพราะเนื้อดินเป็นดินเหนียว ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density, BD) ของพื้นที่ลุ่ม อยู่ในช่วง 0.94 - 2.13 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) อยู่ในช่วง 0.45 - 116.60 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) อยู่ในช่วง 0.35 - 28.55 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณของคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion, wet oxidation และ LOI ของพื้นที่ลุ่มอยู่ในช่วง 3.87 - 29.47, 1.66 - 31.22 และ 6.78 - 70.36 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.16, 11.23 และ 29.71 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

Table 1. Soil properties of lowland soil samples ($n = 92$)

Parameter	Minimum	Maximum	Mean	Median	SD	CV (%)	Skewness
Soil pH (1:1)	4.45	8.01	6.39	6.66	0.91	14.16	-0.33
EC (1:5) (mS/cm)	0.01	0.48	0.16	0.13	0.12	73.24	1.11
Sand (g/kg)	4.00	744.10	201.02	100.79	213.16	106.04	1.12
Silt (g/kg)	95.53	561.70	358.97	388.60	103.28	28.77	-0.63
Clay (g/kg)	58.89	751.11	440.77	445.22	178.61	40.52	0.01
BD (g/cm ³)	0.94	2.13	1.52	1.49	0.26	16.95	0.41
SOC (dry combustion) (g/kg)	3.81	29.47	13.16	11.20	7.02	53.34	0.92
SOC (wet oxidation) (g/kg)	1.66	31.22	11.23	9.22	6.71	59.72	0.83
LOI (g/kg)	6.78	70.36	29.71	25.90	15.02	50.54	0.83
CEC (cmol/kg)	0.45	116.60	32.48	28.07	22.82	70.25	1.59
TN (g/kg)	0.35	28.55	1.64	1.02	3.63	220.64	6.61

BD = Bulk density, SOC = Soil organic carbon, LOI = Loss of ignition, CEC = Cation exchange capacity, TN = Total nitrogen

แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์หาคาร์บอนอินทรีย์โดยวิธีของ LOI มีค่าสูงกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่นเป็นเพราะวิธีนี้เป็นการเผาตัวอย่างด้วยความร้อนแล้วซึ่งน้ำหนักที่หายไปอาจทำให้สารอินทรีย์บางชนิดถูกทำลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินที่มีปริมาณดินเหนียวสูง (Christensen and Malmros, 1982) จากการทดลองของ Sutherland (1998) ได้รายงานถึงข้อจำกัดของวิธี LOI ที่อาจทำให้การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ได้ไม่แม่นยำ เช่น การสูญเสียจากโครงสร้างของแร่ในดิน การเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ของสารประกอบคาร์บอนในดิน เป็นต้น ส่วนปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี wet oxidation มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่น้อยกว่าวิธี dry combustion เป็นเพราะวิธี wet oxidation มีค่าเฉลี่ย recovery อยู่ในช่วง 71 - 92 เปอร์เซ็นต์ (Nelson and Sommers, 1996) แม้ว่าคุณค่า % recovery ของคาร์บอน เพื่อให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีความถูกต้องมากขึ้นที่ 75 เปอร์เซ็นต์แล้ว (Allison *et al.*, 1965) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี wet oxidation ในพื้นที่ลุ่มและดอนมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์น้อยกว่าวิธี dry combustion มีค่าแตกต่างกัน 14 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกันกับงานทดลองของ Avramidis *et al.*

(2015) พบว่า ดินอ้างอิง 2 ตัวอย่างที่วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี wet oxidation (21.00 และ 4.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์น้อยกว่าวิธี dry combustion ซึ่งน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ (29.00 และ 5.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

สมบัติดินเบื้องต้นของพื้นที่ดอน พบว่า ดินมี pH อยู่ในช่วง 5.17 - 8.03 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.75 แสดงว่า ค่า pH ของดินในพื้นที่ดอนส่วนมากมี pH เป็นกลาง (Table 2) ค่า EC อยู่ในช่วง 0.01 - 0.19 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร อยู่ในระดับที่ไม่เค็ม ปริมาณ sand, silt และ clay ของดินในพื้นที่ดอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 471.81, 303.57 และ 224.62 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าดินส่วนใหญ่ในพื้นที่ดอนมีเนื้อดินจัดอยู่ในกลุ่มดินเหนียว BD อยู่ในช่วง 0.75 - 2.59 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่า CEC และ TN มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.98 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และ 0.97 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion, wet oxidation และ LOI ของพื้นที่ดอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.77, 8.84 และ 22.73 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การวิเคราะห์หาคาร์บอนอินทรีย์โดยวิธีของ LOI มีค่าคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าวิธีอื่นเช่นเดียวกันกับพื้นที่ลุ่ม

Table 2. Soil properties of upland soil samples ($n = 66$)

Parameter	Minimum	Maximum	Mean	Median	SD	CV (%)	Skewness
Soil pH (1:1)	5.17	8.03	6.75	6.73	0.82	12.12	-0.08
EC (1:5) (mS/cm)	0.01	0.19	0.06	0.06	0.03	54.86	1.00
Sand (g/kg)	67.68	904.36	471.81	471.78	214.49	45.46	0.16
Silt (g/kg)	67.44	540.83	303.57	313.19	124.16	40.90	0.01
Clay (g/kg)	16.67	623.11	224.62	189.22	144.34	64.26	1.22
BD (g/cm ³)	0.75	2.59	1.69	1.70	0.35	20.82	-0.18
SOC (dry combustion) (g/kg)	3.56	55.56	13.77	9.75	11.06	80.31	2.25
SOC (wet oxidation) (g/kg)	1.79	35.32	8.84	7.42	6.35	71.83	2.37
LOI (g/kg)	4.25	51.35	22.73	20.65	11.36	49.99	0.63
CEC (cmol/kg)	0.23	104.45	21.98	12.37	25.66	116.71	1.93
TN (g/kg)	0.26	3.45	0.97	0.84	0.64	65.85	2.61

BD = Bulk density, SOC = Soil organic carbon, LOI = Loss of ignition, CEC = Cation exchange capacity, TN = Total nitrogen

สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ของวิธี dry combustion กับวิธี wet oxidation และวิธี LOI

สหสัมพันธ์ระหว่างวิธีวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ 3 วิธี ได้แก่ dry combustion, wet oxidation และ LOI ของพื้นที่ลุ่มและดอน (Table 3) พบว่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ของดินในพื้นที่ลุ่มที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion มีสหสัมพันธ์เชิงบวกทั้งวิธี wet oxidation และ LOI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.91** และ 0.95** ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี wet oxidation มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับวิธี LOI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) มีค่า r เท่ากับ 0.89* ส่วนปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ของดินในพื้นที่ดอนที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion มีสหสัมพันธ์เชิงบวกทั้งวิธี wet oxidation และ LOI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) มีค่า r เท่ากับ 0.81** และ 0.77** ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี wet oxidation มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับวิธี LOI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) มีค่า r เท่ากับ 0.78** ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramamoorthi and Meena (2018) มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion มีสหสัมพันธ์เชิงบวกทั้งวิธี wet oxidation และ LOI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) มีค่า r เท่ากับ 0.94** และ 0.87** ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Rowell and Coetzee

(2003) ซึ่งปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับวิธี wet oxidation และ LOI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่า r เท่ากับ 0.93** และ 0.88** ตามลำดับ Chen *et al.* (2015) พบว่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion มีค่าสูงกว่าวิธี wet oxidation อาจเกิดจากการออกซิเดชันที่สมบูรณ์จากการเผาด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 1,150 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดของดิน พืชพรรณปกคลุม ความเป็นกรดต่าง และความลึกของดิน ส่งผลต่อ % recovery และค่า correction factor ของการวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี wet oxidation (Bisutti *et al.*, 2004)

การทำนายปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion โดยใช้วิธี wet oxidation และ LOI

การประมาณค่าคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion โดยใช้วิธี wet oxidation ของดินพื้นที่ลุ่มและดอน โดยการสร้างสมการถดถอยจากตัวอย่างดินชุดแรก (70 เปอร์เซ็นต์) สมการทำนายค่าคาร์บอนอินทรีย์ของดินในพื้นที่ลุ่มมีรายละเอียดดังนี้

$$\text{SOC (dry combustion) (g/kg)} = 2.16413 + 0.97343 (\text{wet oxidation-SOC (g/kg)}), R^2=0.83^{**} \quad (1)$$

Table 3. Correlation of soil organic carbon analysis methods of lowland and upland soil samples

Parameter	Lowland soil			Upland soil		
	Dry combustion (g/kg)	Wet oxidation (g/kg)	LOI (g/kg)	Dry combustion (g/kg)	Wet oxidation (g/kg)	LOI (g/kg)
Dry combustion (g/kg)	1.00			1.00		
Wet oxidation (g/kg)	0.91**	1.00		0.81**	1.00	
LOI (g/kg)	0.95**	0.89*	1.00	0.77**	0.78**	1.00

** = significant difference at $P \leq 0.01$, * = significant difference at $P \leq 0.05$

พบว่า การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี wet oxidation สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ได้ 83 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี wet oxidation ของดินชุดที่ 2 (30 เปอร์เซ็นต์) มาแทนค่าในสมการที่ (1) แล้วจะได้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion พบว่า มีค่า RMSE เท่ากับ 1.68 และ EF เท่ากับ 0.93 ค่า R^2 และค่า EF มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าสมการนี้สามารถใช้ทำนายค่าวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ได้ใกล้เคียงกับค่าจริง และจากกราฟ 1 : 1 line (Figure 2a) จะเห็นได้ว่าค่าที่ทำนายได้มีค่าใกล้เคียงกันกับค่าวิเคราะห์จริงจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งงานวิจัยของ Ulmer *et al.* (1992) ทำนายค่าคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ของดินในรัฐนอร์ท-ดาโคตา $SOC (\%) = 0.23 + 1.17 (\text{wet oxidation-SOC} (\%))$ มีค่า $R^2 = 0.99^{**}$ ส่วนสมการทำนายค่าคาร์บอนอินทรีย์ของดินในพื้นที่ดอนมีรายละเอียดดังนี้

$$SOC (\text{dry combustion}) (g/kg) = 1.78434 + 1.39310 (\text{wet oxidation-SOC} (g/kg)), R^2 = 0.66^{**} \quad (2)$$

พบว่า การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี wet oxidation สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ได้ 66 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี

wet oxidation ของดินชุดที่ 2 (30 เปอร์เซ็นต์) มาแทนค่าในสมการที่ (2) แล้วจะได้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion พบว่า มีค่า RMSE เท่ากับ 3.06, และ EF เท่ากับ 0.40 ค่า R^2 และค่า EF ไม่เข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าสมการนี้ไม่เหมาะสมในการทำนาย ซึ่งสอดคล้องกับกราฟ 1 : 1 line (Figure 2b) ค่าที่ทำนายได้มีค่าทั้งสูง (overestimate) และต่ำ (underestimate) กว่าค่าจริง

การประมาณค่าคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion โดยใช้วิธี LOI ของดินพื้นที่ลุ่มและดอน โดยสร้างสมการถดถอยจากตัวอย่างดินชุดแรก (70 เปอร์เซ็นต์) สมการทำนายค่าคาร์บอนอินทรีย์ของดินในพื้นที่ลุ่มมีรายละเอียดดังนี้

$$SOC (\text{dry combustion}) (g/kg) = -0.4002 + 0.45029 (LOI-SOC (g/kg)), R^2 = 0.90^{**} \quad (3)$$

พบว่า การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี LOI สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ได้ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี LOI ของดินชุดที่ 2 (30 เปอร์เซ็นต์) มาแทนค่าในสมการที่ (3) แล้วจะได้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion พบว่า มีค่า RMSE เท่ากับ 2.32 และ EF เท่ากับ 0.86 ค่า R^2 และ EF มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าสมการนี้สามารถใช้ทำนายค่าวิเคราะห์คาร์บอน-

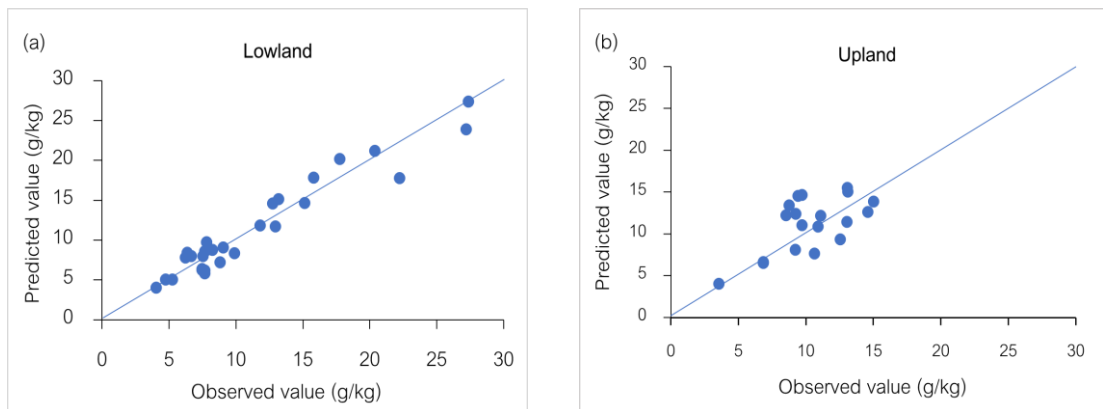


Figure 2. Scatter plot 1 : 1 line of observed and predicted dry combustion-SOC content of lowland (a) and upland soil samples (b) using wet oxidation-SOC

อินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ได้ใกล้เคียงกับค่าจริงและจากกราฟ 1 : 1 line (Figure 3a) เห็นได้ว่าค่าที่ทำนายได้มีค่าใกล้เคียงกันกับค่าจริง ซึ่งงานวิจัยของ Konare *et al.* (2010) ใช้สมการในการทำนายคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ของดินในแอฟริกาตะวันตก จากสมการ $SOC (\%) = 0.03 + 0.36 (LOI-SOC (\%))$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.89** ส่วนสมการทำนายค่าคาร์บอนอินทรีย์ของดินในพื้นที่ดอนมีรายละเอียดดังนี้

$$SOC (\text{dry combustion}) (g/kg) = -3.93329 + 0.78879 (LOI-SOC (g/kg)), R^2=0.59^{**} \quad (4)$$

พบว่า การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี LOI สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ได้ 59 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี LOI ของดินชุดที่ 2 (30 เปอร์เซ็นต์) มาแทนค่าในสมการที่ (4) พบว่า มีค่า RMSE เท่ากับ 5.56 และ EF เท่ากับ -0.96 ค่า R^2 และค่า EF ไม่เข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าสมการนี้ไม่เหมาะสมในการทำนาย สอดคล้องกับกราฟ 1 : 1 line (Figure 3b) ค่าที่ทำนายได้มีค่าสูงและต่ำกว่าค่าจริง

สหสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion กับสมบัติดินเบื้องต้น

สหสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion กับสมบัติดินเบื้องต้นของพื้นที่ลุ่มและดอน (Table 4) แสดงให้เห็นว่าดินพื้นที่ลุ่มมีปริมาณของ sand และ BD มีสหสัมพันธ์ในเชิงลบกับคาร์บอนอินทรีย์ในดินของพื้นที่ลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยมีค่า r เท่ากับ -0.43** และ -0.62** ตามลำดับ ปริมาณ clay และ CEC มีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับคาร์บอนอินทรีย์ในดินของพื้นที่ลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยมีค่า r เท่ากับ 0.45** และ 0.63** ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaudhari *et al.* (2013) พบว่า BD มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน โดยมีค่า r เท่ากับ -0.89** อินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นทำให้ BD ในดินลดลง งานวิจัยของ Zhong *et al.* (2018)

พบว่า ปริมาณ clay มีความสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน โดยปริมาณ clay ที่เพิ่มขึ้นได้รับอิทธิพลมาจากสภาพอากาศ วัตถุต้นกำเนิด และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสร้างตัวของดิน ซึ่งมีการเพิ่มคาร์บอนอินทรีย์ระหว่างการสร้างตัวของดิน

สหสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนอินทรีย์กับสมบัติดินเบื้องต้นของพื้นที่ดอน พบว่า มีปริมาณ clay และค่า CEC มีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับคาร์บอนอินทรีย์ในดินของพื้นที่ดอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) มีค่า r เท่ากับ 0.47** และ 0.45** ตามลำดับ (Table 5)

การทำนายปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion โดยใช้สมบัติดินเบื้องต้น

การประมาณค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion โดยใช้สมบัติดินเบื้องต้นของดินชุดที่ 1 (70 เปอร์เซ็นต์) โดยวิธี stepwise regression สมการทำนายค่าคาร์บอนอินทรีย์ของดินในพื้นที่ลุ่มมีรายละเอียดดังนี้

$$SOC (\text{dry combustion}) (g/kg) = 31.2836 - 15.1449 (BD (g/cm^3)) + 0.1462 (CEC (cmol/kg)), R^2=0.60^{**} \quad (5)$$

พบว่า การทำนายคาร์บอนอินทรีย์ด้วยสมบัติดิน สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ได้ 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าวิเคราะห์ BD และ CEC มาแทนค่าในสมการที่ (5) แล้วจะได้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion พบว่า มีค่า RMSE เท่ากับ 5.03 และ EF เท่ากับ 0.37 ค่า EF ไม่เข้าใกล้ 1 แต่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.60 ถือว่ายอมรับได้ แสดงให้เห็นว่าสมการนี้สามารถทำนายค่าได้ แต่จากกราฟ 1 : 1 line (Figure 4a) ของดินพื้นที่ลุ่ม แสดงให้เห็นว่า ค่าที่ทำนายได้ไม่ใกล้เคียงค่าจริง ส่วนสมการทำนายค่าคาร์บอนอินทรีย์ของดินในพื้นที่ดอนมีรายละเอียดดังนี้

$$SOC (g/kg) = -37.54045 + 0.07992 (\text{clay} (g/kg)) + 11.87893 (BD (g/cm^3)) + 0.02895 (\text{sand} (g/kg)), R^2=0.40^{**} \quad (6)$$

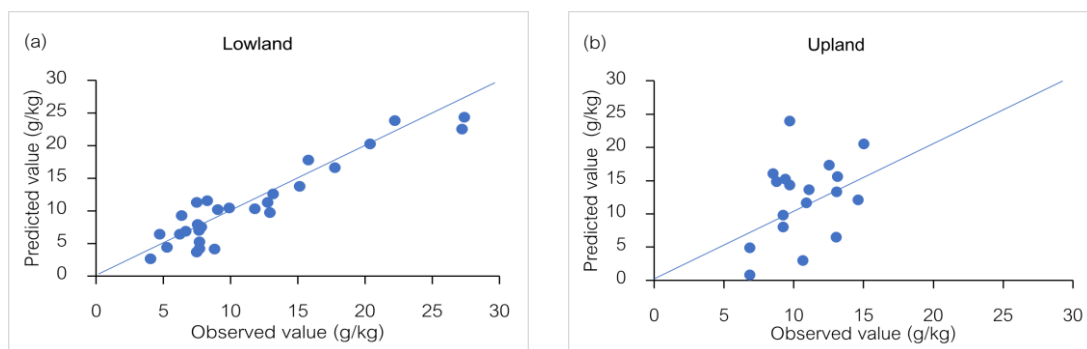


Figure 3. Scatter plot 1 : 1 line of observed and predicted dry combustion-SOC content of lowland (a) and upland soil samples (b) using LOI-SOC

Table 4. Correlation coefficient between dry combustion-SOC and soil properties of lowland soil samples

Parameter	SOC (Dry combustion) (g/kg)	Sand (g/kg)	Silt (g/kg)	Clay (g/kg)	BD (g/cm ³)	CEC (cmol/kg)
SOC (dry combustion) (g/kg)	1.00					
Sand (g/kg)	-0.43**	1.00				
Silt (g/kg)	-0.04	-0.27*	1.00			
Clay (g/kg)	0.45**	-0.86**	-0.27*	1.00		
BD (g/cm ³)	-0.62**	0.35**	0.08	-0.39**	1.00	
CEC (cmol/kg)	0.63**	-0.52**	-0.32**	0.68**	-0.28*	1.00

SOC = Soil organic carbon, BD = Bulk density, CEC = Cation exchange capacity

** = significant difference at $P \leq 0.01$, * = significant difference at $P \leq 0.05$

Table 5. Correlation coefficient between dry combustion-SOC with soil properties of upland soil samples

Parameter	SOC (Dry combustion) (g/kg)	Sand (g/kg)	Silt (g/kg)	Clay (g/kg)	BD (g/cm ³)	CEC (cmol/kg)
SOC (dry combustion) (g/kg)	1.00					
Sand (g/kg)	-0.27	1.00				
Silt (g/kg)	-0.11	-0.74**	1.00			
Clay (g/kg)	0.47**	-0.86**	0.28	1.00		
BD (g/cm ³)	0.26	0.16	-0.05	-0.19	1.00	
CEC (cmol/kg)	0.45**	-0.77**	-0.23	0.91**	-0.01	1.00

SOC = Soil organic carbon, BD = Bulk density, CEC = Cation exchange capacity

** = significant difference at $P \leq 0.01$, * = significant difference at $P \leq 0.05$

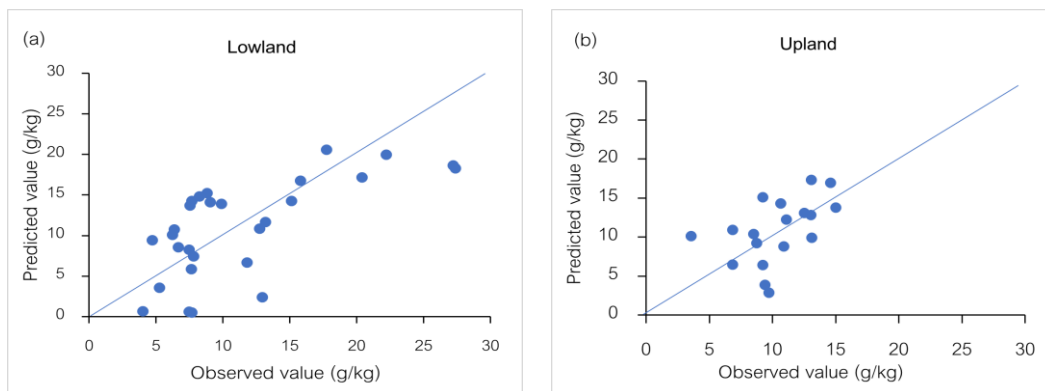


Figure 4. Scatter plot 1 : 1 line of observed and predicted dry combustion-SOC content of lowland (a) and upland soil samples (b) using LOI-SOC

พบว่า การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ด้วยสมบัติดิน สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ได้ 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าวิเคราะห์ clay, BD และ sand มาแทนค่าในสมการที่ (6) แล้วจะได้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion พบว่ามีค่า RMSE เท่ากับ 3.64 และ EF เท่ากับ -0.57 ค่า R^2 และ ค่า EF ไม่เข้าใกล้ 1 ค่า RMSE มีค่าไม่เข้าใกล้ 0 แสดงให้เห็นว่าสมการนี้ไม่เหมาะสมนำมาทำนาย นอกจากนี้กราฟ 1: 1 line (Figure 4b) ของดินพื้นที่ดอน แสดงให้เห็นว่า ค่าที่ทำนายได้มีค่าไม่ใกล้ค่าจริง

สรุป

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน โดยวิธี dry combustion, wet oxidation และ LOI มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่แตกต่างกัน ทั้งพื้นที่ลุ่มและดอนมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี LOI > dry combustion > wet oxidation วิธี dry combustion มีสหสัมพันธ์กับวิธี wet oxidation และ LOI ทั้งพื้นที่ลุ่มและดอน วิธี wet oxidation มีค่า R^2 เท่ากับ 0.83** และ 0.66** ตามลำดับ วิธี LOI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.90** และ 0.59** ตามลำดับ สมการถดถอยที่ใช้ในการทำนายคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี dry combustion ตัวอย่างดินของพื้นที่ลุ่มสามารถอธิบาย

ความผันแปรได้ดีและมากกว่าการทำนายตัวอย่างดินพื้นที่ดอน ส่วนการทำนายคาร์บอนอินทรีย์ด้วยสมบัติดินทั้งพื้นที่ลุ่มและดอนมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ clay และ CEC แต่มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณ sand และ BD สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ของพื้นที่ลุ่มมีความถูกต้องมากกว่าพื้นที่ดอน โดยใช้ค่า BD, CEC, clay และ sand ในการทำนาย แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ควรมีการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Allison, L.E., W.E. Bollen and C.D. Moodie. 1965. Total carbon. pp. 1346-1366. In: C.A. Black (ed.). Methods of Soil Analysis: Chemical and Microbiological Properties, Part 2. Agronomy Monographs 9, American Society of Agronomy, Inc. Press, Madison.
- Avramidis, P., K. Nikolaou and V. Bekiari. 2015. Total organic carbon and total nitrogen in sediments and soils: A comparison of the wet oxidation – titration method with the combustion-infrared method. Agriculture and Agricultural Science Procedia 4: 425-430.

- Bisutti, I., I. Hilke and M. Raessler. 2004. Determination of total organic carbon-an overview of current methods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 23(10-11): 716-726.
- Chaudhari, P.R., D.V. Ahire, V.D. Ahire, M. Chkravarty and S. Maity. 2013. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil. *International Journal of Scientific and Research Publications* 3(2): 1-8.
- Chen, L., D.F.B. Flynn, X. Jing, P. Kühn, T. Scholten and J.S. He. 2015. A comparison of two methods for quantifying soil organic carbon of alpine grasslands on the Tibetan plateau. *PLOS ONE* 10(5): e0126372, doi: 10.1371/journal.pone.0126372.
- Christensen, B.T. and P.A. Malmros. 1982. Loss-on-ignition and carbon content in a beech forest soil profile. *Holarctic Ecology* 5(4): 376-380.
- FAO. 2019. Standard operating procedure for soil total carbon: Dumas dry combustion method. (Online). Available: <https://www.fao.org/3/ca7781en/ca7781en.pdf> (September 13, 2022).
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-441. *In*: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. Soil Science Society of America, Inc. Press, Madison.
- Grigal, D.F. and L.F. Ohmann. 1992. Carbon storage in upland forests of the lake states. *Soil Science Society of America Journal* 56(3): 935-943.
- IITA. 1979. Selected Methods for Soil and Plant Analysis. Manual Series No.1. IITA (International Institute for Tropical Agriculture), Ibadan. 57 p.
- Jones, J.B. 2001. Laboratory Guides for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, Boca Raton, 384 p.
- Konare, H., R.S. Yost, M. Doumbia, G.W. McCarty, A. Jarju and R. Kablan. 2010. Loss on ignition: Measuring soil organic carbon in soils of the Sahel, West Africa. *African Journal of Agricultural Research* 5(22): 3088-3095.
- Land Development Department. 2005. The Miracle of Soil Series: Office of Soil Resources Survey and Research. Land Development Department, Bangkok. 137 p. (in Thai)
- Land Development Department. 2010. Manual of physical analysis process operations. (Online). Available: <https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-04.pdf> (September 13, 2022). (in Thai)
- LECO Corporation. 2016. Operation. TruMac CNS/NSCarbon/Nitrogen/Sulfur Determinators. Instruction Manual. LECO Corporation, LECO Europe B.V., Netherlands. 56 p.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Method Manual. Soil survey investigation report No. 42. National Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture, Washington, DC, 735 p.
- Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Chapter 34 total carbon, organic carbon, and organic matter. pp. 961-1010. *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. and

- American Society of Agronomy, Inc., Madison.
- Patharadilok, H. 2013. Soil Water and Fertilizers. 2nd ed. In: A. Jittaladakorn, P. Dittakit, H. Patharadilok, Y. Osotsapar, C. Thongjoo, N. Tawinte, W. Sueadee, S. Yampracha, S. Prakunhungsit, S. Hungspruke, K. Mingsiritham S. Sukwut and A. Wongmaneeroj (eds.). Sukhothai Thammathirat Open University, Bangkok. 403 p. (in Thai)
- Ramamoorthi, V. and S. Meena. 2018. Quantification of soil organic carbon - comparison of wet oxidation and dry combustion methods. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 7(10): 146-154.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook No. 60. United States Department of Agriculture, Washington, D.C. 160 p.
- Rowell, M.J. and M.E. Coetzee. 2003. The measurement of low organic matter contents in soils. South African Journal of Plant and Soil 20(2): 49-53.
- Saldaña-Villota, T.M. and J.M. Cotes-Torres. 2021. Comparison of statistical indices for the evaluation of crop models performance. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 74(3): 9675-9684.
- Stevenson, F.J. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York. 512 p.
- Sutherland, R.A. 1998. Loss-on-ignition estimates of organic matter and relationships to organic carbon in fluvial bed sediments. Hydrobiologia 389(1-3): 153-167.
- Suwannaoin, P. 2007. The comparison study of organic carbons among different soils and their correction factors determinations of Walkley-Black methods using dry combustion techniques. M.S. Thesis. Silpakorn University, Bangkok. 80 p. (in Thai)
- Syers, J.K., A.S. Campbell and T.W. Walker. 1970. Contribution of organic carbon and clay to cation exchange capacity in a chronosequence of sandy soils. Plant and Soil 33: 104-112.
- Ulmer, M.G., L.J. Swenson, D.D. Patterson and W.C. Dahnke. 1992. Organic carbon determination by the Walkley-Black, Udy dye, and dry combustion methods for selected North Dakota soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 23(3-4): 417-429.
- van Noordwijk, M., C. Cerri, P.L. Woomer, K. Nugroho and M. Bernoux. 1997. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. Geoderma 79(1-4): 187-225.
- Walkley, A.J. and I.A. Black. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.
- Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of the American Meteorological Society 63(11): 1309-1313.
- Zhong, Z., Z. Chen, Y. Xu, C. Ren, G. Yang, X. Han, G. Ren and Y. Feng. 2018. Relationship between soil organic carbon stocks and clay content under different climatic conditions in central China. Forests 9: 1-14.

การใช้กรดจิบเบอเรลลิคเพื่อยืดช่อดอก ชักน้ำให้ไร้เมล็ด และเพิ่มขนาดของผลองุ่นพันธุ์ไวท์มะละกา

GA₃ Applications for Inflorescence Elongation, Seedless Induction, and Berry Enlargement in 'White Malaga' Grape

สุวรรณา วันคำ เกரியศักดิ์ไทยพงษ์ และ ภาสันต์ ศารทูลหัตต์
Suwanna Wankam, Kriengsak Thaipong and Parson Saradhulhat

ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. นครปฐม 73140

Department of Horticulture, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140, Thailand

*Corresponding author: Email: parson.s@ku.ac.th

(Received: 10 October 2022; Accepted: 18 May 2023)

Abstract: 'White Malaga' grape has been popularly consumed in Thailand. Research data for its problems as short peduncle, small and various berry sizes, have been limited. This research aimed to solve the problems using gibberellic acid (GA₃) applications. The experiments were 1) to elongate the peduncle with GA₃ spraying of 2, 4, and 6 mg/L at 15, 20, and 25 days after pruning (DAP) compared to untreated inflorescence (control). Spraying 4 mg/L GA₃ at 20 DAP increased the peduncle length up to 119%. 2) To induce seedless with GA₃ spraying of 25, 50, 100 mg/L at -3, 0, 3, and 6 days after flowering (DAF) compared to untreated inflorescence (control). GA₃ spraying on a flowering day at any concentrations induced 100% seedless. 3) To enlarge the berry size with GA₃ spraying alone of 25, 50, and 100 mg/L or added with 5 mg/L forchlorfenuron (CPPU) at 2 weeks after flowering. The 50 mg/L of GA₃ + 5 mg/L CPPU yielded larger berries, as 1.82 cm wide, 3.35 cm long, 7.58 g in berry weight, and bunch weight of 376.37 g, with 20.37 % TSS and 0.80 % TA. These indicated that spraying GA₃ with suitable concentrations and correct times can elongate the peduncle, induce seedless, and enlarge the berry size of the 'White Malaga' grape.

Keywords: Gibberellins, CPPU, table grape (*Vitis vinifera*), fruit development

บทคัดย่อ: องุ่นพันธุ์ไวท์มะละกา (White Malaga) ได้รับความนิยมรับประทานผลสดมานาน แต่การแก้ปัญหาช่อดอกสั้น ผลมีเมล็ด ผลขนาดเล็กและไม่สม่ำเสมอ ยังมีข้อมูลจำกัด งานวิจัยนี้จึงทำเพื่อหาวิธีใช้สาร GA₃ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยทำการทดลอง 1) การยืดช่อดอกด้วยการพ่นสาร GA₃ เข้มข้น 2, 4 หรือ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อช่อดอกมีอายุ 15, 20 หรือ 25 วันหลังตัดแต่งกิ่ง เปรียบเทียบกับไม่พ่นสาร (กรรมวิธีควบคุม) พบว่า การพ่น GA₃ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อายุ 20 วันหลังตัดแต่งกิ่ง ทำให้ช่อดอกยืดยาวเพิ่มขึ้น 119 เปอร์เซ็นต์ 2) การชักนำให้ไร้เมล็ดด้วยการพ่น GA₃ เข้มข้น 25, 50 หรือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะดอกบาน -3, 0, 3 หรือ 6 วัน เปรียบเทียบกับไม่พ่นสาร (กรรมวิธีควบคุม) พบว่า การพ่น GA₃ ที่ระยะดอกบานทุกความเข้มข้นสามารถชักนำให้ไร้เมล็ดได้ 100 เปอร์เซ็นต์ 3) การเพิ่มขนาดผลองุ่นด้วยการพ่น GA₃ เข้มข้น 25, 50 หรือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างเดียว หรือร่วมกับ CPPU 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะหลังดอกบานสองสัปดาห์ พบว่า การพ่น GA₃ 50 + CPPU 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้ผลองุ่นมีขนาดใหญ่ที่สุด ผลกว้าง 1.82 เซนติเมตร ยาว 3.35 เซนติเมตร มีน้ำหนักผล 7.58 กรัม น้ำหนักช่อ 376.37 กรัม TSS 20.37 เปอร์เซ็นต์ และ TA 0.80 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าการใช้ GA₃ ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มความยาวช่อ ชักนำผลไร้เมล็ด และเพิ่มขนาดผลองุ่นพันธุ์ไวท์มะละกาได้

คำสำคัญ: จิบเบอเรลลิน CPPU องุ่นผลสด การพัฒนาผล

คำนำ

องุ่น (grape, *Vitis vinifera* L.) เป็นพืชเขตร้อนที่สามารรถนำมาปลูกในเขตร้อนได้ แต่การปลูกองุ่นในประเทศไทยมีความซับซ้อนกว่าการปลูกในเขตกึ่งร้อน ทั้งนี้เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยเป็นแบบร้อนชื้นจึงส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นองุ่นเป็นไปอย่างต่อเนื่องไม่มีการพักตัว อย่างไรก็ตามองุ่นรับประทานผลสดก็ได้รับความนิยมในประเทศไทย โดยเฉพาะพันธุ์ไวท์มะละกาผลยาว (White Malaga) (Department of Agricultural Extension, 2016) เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง โดยเฉพาะจังหวัดราชบุรี เนื่องจากปลูกได้ค่อนข้างง่ายและมีการเจริญเติบโตดี มีช่อดอกขนาดใหญ่ ยาว รสชาติหวานแหลม และผลมีสีเหลืองทอง มีเมล็ด 1 - 3 เมล็ด

แม้ว่าปัจจุบันมีองุ่นรับประทานผลสดพันธุ์ใหม่ ๆ โดยเฉพาะพันธุ์ที่ไร้เมล็ดให้เลือกเพิ่มมากขึ้นในตลาด เช่น Flame Seedless, Crimson Seedless, Maroo Seedless, Perlette, Centennial Seedless, Loose Perlette และ Black Queen (Suratin, 2010) ซึ่งองุ่นไร้เมล็ดเป็นที่ต้องการของตลาดเนื่องจากสะดวกต่อการรับประทาน แต่มักมีผลขนาดเล็ก (Chatbanyong *et al.*, 2010) องุ่นพันธุ์ไวท์มะละกาก็ยังคงได้รับความนิยมอยู่ หากสามารถ

พัฒนาหาวิธีการทำให้ไร้เมล็ดเพื่อสะดวกต่อการรับประทาน แก้ปัญหาช่อดอกสั้น และเพิ่มขนาดผลให้ใหญ่ขึ้นได้ ก็อาจเป็นที่ต้องการของตลาดในประเทศมากขึ้นได้

ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการแก้ปัญหาด้านการปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มผลผลิตให้กับองุ่น ด้วยการนำสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชกลุ่มจิบเบอเรลลินและไซโทไคนินเข้ามาใช้ประโยชน์ในการผลิตพืชมากขึ้น โดยมีงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศถึงการให้ Gibberellic acid (GA₃) ซึ่งมีคุณสมบัติกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ การแบ่งขยายเซลล์ และการเปลี่ยนเพศดอก โดยกลไกที่สำคัญที่ทำให้เซลล์ยืดตัวได้เป็นการเพิ่มสภาพความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ สำหรับการผลิตองุ่นมีการใช้ GA₃ เพื่อส่งเสริมให้ได้ช่อดอกมีขนาดใหญ่ (Nilnond *et al.*, 1996) และการใช้สาร Cytokinins ที่มีคุณสมบัติในการส่งเสริมการแบ่งเซลล์ การยืดยาวของเซลล์ เพื่อทำให้น้ำหนักผล ขนาดผลและน้ำหนักช่อดอกมากขึ้น (Kittiwatsopon *et al.*, 2014) อีกทั้งมีการใช้ร่วมกันของสาร CPPU และ GA₃ ในการส่งเสริมกระบวนการทางสรีรวิทยา ทำให้ผลมีขนาดใหญ่และน้ำหนักช่อดอกที่มากขึ้นกว่าการใช้สารใดสารหนึ่งเพียงอย่างเดียว โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อรูปร่างและลักษณะคุณภาพภายในของผล (Ben-Arie *et al.*, 1998)

สำหรับเกษตรกรผู้ปลูกองุ่น มีการใช้สารจิบเบอเรลลินและไซโทไคนินอยู่บ้าง แต่การใช้มักขึ้นกับประสบการณ์และการลองผิดลองถูก ดังนั้น จึงได้ทำงานวิจัยนี้ขึ้นมาเพื่อให้ทราบวิธีการใช้สาร ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม และช่วงอายุที่พืชตอบสนองได้ดีที่สุดสำหรับการยืดช่อดอก การชักน้ำให้ไร่เมล็ด และการขยายขนาดผลขององุ่นพันธุ์ไวท์มะละกา โดยข้อมูลผลการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการผลิตองุ่นพันธุ์ไวท์มะละกาหรือพันธุ์อื่น ๆ ตลอดจนเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการใช้ในไม้ผลชนิดอื่นได้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมต้นพันธุ์และสถานที่ทำวิจัย

ทดลองกับองุ่นพันธุ์ไวท์มะละกาแบบผลยาวที่ปลูกในอำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี (พิกัด 13.694355 N, 100.005246 E) ในช่วงเดือนกันยายน 2560 ถึงเดือนมีนาคม 2561 ณ สวนองุ่นของเกษตรกร คุณกิ่งมณี รุ่งเรือง อายุต้น 5 ปี โดยให้ผลผลิตสองครั้งต่อปี มีการปลูกในระบบค้างแนวนอน ระยะห่างระหว่างต้น 3 เมตร x 3 เมตร คัดเลือกต้นองุ่นที่มีขนาดต้นสม่ำเสมอ บำรุงต้นโดยใส่ปุ๋ย 15 - 15 - 15 ในอัตรา 50 กรัมต่อต้น ในวันที่ 24 เดือนกันยายน 2560 (ก่อนตัดแต่งกิ่ง 7 วัน) รดน้ำทางดินให้ชุ่มและพ่นสารเคมีกำจัดโรคพืชในตอนเช้าก่อนตัดแต่งกิ่ง 3 วัน

การตัดแต่งกิ่งและกระตุ้นตาช่อดอก

ตัดแต่งกิ่งในวันที่ 1 เดือนตุลาคม 2560 ให้มี 4 ตาต่อกิ่ง แล้วพ่นสาร hydrogen cyanamide (@Dormax) อัตรา 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยกระบอกฉีดน้ำ เพื่อกระตุ้นการแตกตาที่สม่ำเสมอ เมื่อตาช่อดอกเกิดขึ้นพร้อมการแตกยอดอ่อนที่ผลิขึ้นมาใหม่คัดเลือกลูกช่อดอกที่มีขนาดใกล้เคียงกันเพื่อทำการทดลอง

การทดลองที่ 1 ผลของ GA₃ และอายุช่อดอกที่ได้รับสารต่อการยืดช่อดอก

สุ่มเลือกช่อดอกองุ่นที่เพิ่งแตกตาขึ้นมาแล้วทำการติดป้ายจำนวน 80 ช่อ จาก 10 ต้น เพื่อพ่น

สารละลาย GA₃ ปริมาตร 20 มิลลิตร ด้วยกระบอกฉีดน้ำ ที่ความเข้มข้น 2, 4 หรือ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อช่อดอกได้อายุ 15, 20 หรือ 25 วันหลังตัดแต่งกิ่ง (DAP, days after pruning) เปรียบเทียบกับการไม่ใช้สาร (กรรมวิธีควบคุม) รวมเป็น 10 วิธีการ ทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ช่อดอก

วัดขนาดความยาวช่อดอกทุกสัปดาห์ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์ที่ 18 (เก็บเกี่ยวผลผลิต) เพื่อบันทึกการยืดตัวของช่อดอก และน้ำหนักช่อผลเมื่อเก็บเกี่ยว

การทดลองที่ 2 ผลของ GA₃ และอายุช่อดอกที่ได้รับสารต่อการไร่เมล็ด

สุ่มเลือกช่อดอกองุ่นที่เพิ่งแตกตาแล้วติดป้ายจำนวน 104 ช่อ จาก 13 ต้น เพื่อพ่นสารละลาย GA₃ ปริมาตร 20 มิลลิตร ด้วยกระบอกฉีดน้ำ ที่ระยะ 3 วันก่อนดอกบาน วันดอกบาน 3 หรือ 6 วันหลังดอกบาน (-3, 0, 3 หรือ 6 วันหลังดอกบาน) ด้วยความเข้มข้น 25, 50 หรือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับการไม่ใช้สาร (กรรมวิธีควบคุม) รวม 13 วิธีการ ทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ช่อดอก

สุ่มเก็บตัวอย่างผลองุ่น 5 ผลต่อช่อ เพื่อผ่าตรวจเมล็ดที่ระยะเก็บเกี่ยว (สัปดาห์ที่ 18 หลังตัดแต่งกิ่ง) โดยนับจำนวนผลไร่เมล็ดแล้วคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ผลไร่เมล็ด

การทดลองที่ 3 ผลของ GA₃ และ CPPU ต่อการเพิ่มขนาดผลงุ่น

สุ่มเลือกช่อผลงุ่นที่มีอายุ 2 สัปดาห์หลังดอกบาน (หรือ 6 สัปดาห์หลังตัดแต่งกิ่ง) มีความยาวประมาณ 3 เซนติเมตร แล้วติดป้ายจำนวน 56 ช่อผล จาก 7 ต้น เพื่อพ่นสารละลาย GA₃ ปริมาตร 20 มิลลิตร ด้วยกระบอกฉีดน้ำ ที่ความเข้มข้น 25, 50 หรือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับ CPPU 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับการไม่ได้รับสาร (กรรมวิธีควบคุม) รวม 7 วิธีการ ทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ช่อผล หลังพ่นสารแล้วหนึ่งสัปดาห์ปิดผลในช่อด้วยกรรไกรให้เหลือ 50 ผลต่อช่อเท่ากัน

ติดตามการเจริญเติบโตของผลงุ่นทุกสัปดาห์ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 11 ถึงสัปดาห์ที่ 16 และสัปดาห์ที่ 18

(เก็บเกี่ยวผลผลิต) ตรวจวัดผลผลิตในเชิงปริมาณ และคุณภาพผลโดยสุ่มเก็บผลที่กระจายในช่อ 5 ผลต่อช่อ เพื่อวัดขนาดความกว้าง และความยาวผล น้ำหนักผล น้ำหนักช่อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids, TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) และอัตราส่วน TSS/TA

แผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ Sirichai Statistics 6.07

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การยืดช่อดอกองุ่น - ผลของ GA₃ และอายุช่อดอกที่ได้รับสาร

การเจริญเติบโตของช่อดอกองุ่นพันธุ์ไวท์-มะละกาเริ่มเกิดขึ้นหลังจากการตัดแต่งกิ่ง ตาดอกที่อยู่ใต้อยอดเริ่มแตกและพัฒนาเป็นช่อดอกขึ้นมา จากผลการทดลองเห็นได้ว่าความยาวช่อดอกเพิ่มขึ้น

อย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 4 - 7 (Figure 1) จากนั้นเปลี่ยนแปลงน้อยมากตั้งแต่สัปดาห์ที่ 8 ถึงสัปดาห์ที่ 18 หลังตัดแต่งกิ่ง ซึ่งเป็นระยะเก็บเกี่ยวผล โดยลักษณะการเติบโตของก้านช่อดอกเป็นแบบ single sigmoid curve และสอดคล้องกับรายงานของ Skinkis *et al.* (2019) ช่อดอกองุ่นมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก แล้วค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อผลมีขนาดโตเต็มที่และความยาวของช่อดอกเริ่มคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อผลเริ่มเปลี่ยนสี แสดงให้เห็นว่า เนื้อเยื่อก้านช่อดอกมีการแบ่งเซลล์และเพิ่มขนาดจึงทำให้ความยาวของช่อดอกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์ที่ 4 - 7 หลังตัดแต่งกิ่ง มีความยาวช่ออยู่ที่ 9.66 เซนติเมตร (Table 1) สังเกตได้ว่ามีระยะห่างระหว่างดอกน้อยทำให้ช่อผลมีลักษณะค่อนข้างแน่น ซึ่งโดยทั่วไปองุ่นรับประทานผลสดในเชิงการค้าส่วนมากต้องการช่อผลยาวเพื่อให้มีระยะห่างระหว่างผลมากพอ ผลไม่เบียดกันแน่น และมีขนาดช่อผลใหญ่ ดังนั้น ในทางปฏิบัติผู้ปลูกองุ่นจำเป็นต้องปลิดผลในช่อบางส่วนออกเพื่อให้มีช่องว่างซึ่งเป็นการลดพลังงานและเพิ่มต้นทุนการผลิต การยืดช่อผลให้ยาวขึ้นจึงช่วยเพิ่มระยะห่างระหว่างผล และลดการเบียดแน่นในช่อได้ โดยการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มจิบเบอเรลลินทำให้เกิดการยืดขยายของเซลล์ (Nilnond *et al.*, 1996)

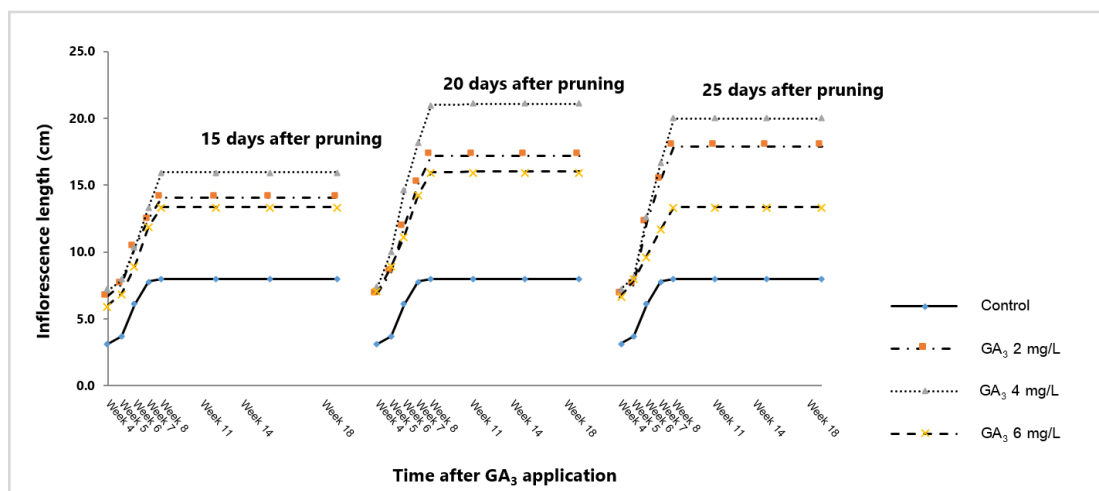


Figure 1. Developmental changes in inflorescence length of 'White Malaga' grape treated at various ages with different GA₃ concentrations

จากการทดลองพ่นช่อดอกด้วย GA₃ เข้มข้น 2, 4 หรือ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อายุ 15, 20 หรือ 25 วัน หลังตัดแต่งกิ่ง พบว่า ช่อดอกที่ได้รับ GA₃ ทุกความเข้มข้น พ่นทุกอายุช่อ มีความยาวช่อ 14 - 21 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าที่ไม่พ่นสาร (กรรมวิธีควบคุม) กว่า 47 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า GA₃ สามารถช่วยส่งเสริมให้ก้านช่อดอกยืดยาวเพิ่มมากขึ้นได้ และเมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มข้นของ GA₃ และอายุช่อดอกเมื่อได้รับสาร พบว่าการพ่น GA₃ ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะ 20 วันหลังตัดแต่งกิ่ง สามารถชักนำให้ช่อดอกตอบสนองยืดยาวเพิ่มได้มากถึง 21 เซนติเมตร หรือยาวกว่าช่อที่ไม่พ่นสาร 119 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) ส่วนช่อดอกที่ได้รับสารความเข้มข้น 2 และ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวช่อน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นที่ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความเหมาะสมที่สุดในการยืดช่อดอกสำหรับพันธุ์นี้ ความเข้มข้นที่สูงหรือต่ำกว่าจึงมีการยืดขนาดน้อยกว่า ในขณะงุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ BRS Clara ที่ได้รับสาร GA₃ ความเข้มข้น 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร สองครั้ง ห่างกัน 30 วัน ร่วมกับการปลิดผล พบว่า ความเข้มข้นที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

ช่วยให้ก้านช่อดอกยืดยาวเพิ่มขึ้นได้ (Formolo *et al.*, 2010) เนื่องจากสารกลุ่มจิบเบอเรลลินทำหน้าที่กระตุ้นการขยายตัวของเซลล์ เพิ่มความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ จึงยืดยาวขึ้นได้

อายุช่อดอกที่เหมาะสมต่อการได้รับ GA₃ จากการทดลองนี้เห็นได้ว่าการพ่นที่ 20 วันหลังตัดแต่งกิ่ง ทำให้ได้ช่อดอกที่ยาวมากกว่าการพ่นที่อายุ 15 หรือ 25 วันหลังตัดแต่งกิ่งเล็กน้อย ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Nilnond *et al.* (1996) ที่ได้พ่น GA₃ เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังดอกบาน 5 วัน (ประมาณ 20 วันหลังตัดแต่งกิ่ง) กับองุ่นพันธุ์ไวท์มะละกาที่ปลูกบนดอยอินทนนท์ โดยช่อดอกที่ยาวมากขึ้นนั้นนอกจากช่วยเพิ่มระยะห่างระหว่างผลแล้ว ยังช่วยทำให้ผลแต่ละผลสามารถขยายขนาดได้มากขึ้น จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าช่อดอกที่ได้รับ GA₃ ทุกกรรมวิธีมีน้ำหนักช่อผลมากกว่าชุดควบคุม และช่อผลที่ได้รับ GA₃ เข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งยืดยาวมากที่สุดก็มีน้ำหนักช่อผลมากที่สุดด้วยถึง 268 กรัม (Table 1) ดังนั้น การพ่นช่อดอกด้วย GA₃ เข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะ 20 วันหลังตัดแต่งกิ่ง จึงเหมาะสมสำหรับการยืดช่อดอกองุ่นพันธุ์ไวท์มะละกา

Table 1. 'White Malaga' grape bunch length and weight at harvest, which the inflorescences were treated at various ages with different GA₃ concentrations

Inflorescence age at spraying (Days after pruning, DAP)	GA ₃ (mg/L)	Bunch length (cm)	% Bunch length increase	Bunch weight (g)
Untreated (control)		9.66 f ¹	0.00	207.50 d
15	2	15.91 d	64.70	251.12 c
	4	16.25 d	68.22	258.75 b
	6	14.22 e	47.20	259.25 b
20	2	17.56 c	81.78	265.25 a
	4	21.20 a	119.46	268.50 a
	6	17.45 c	80.64	267.87 a
25	2	17.33 c	79.40	259.25 b
	4	19.38 b	100.62	267.87 a
	6	16.50 d	70.81	259.25 b
F-test		**		**
C.V (%)		3.58		2.07

¹ Means in the same column with different letters are significantly different ($P \leq 0.01$)

การชักนำผลไร้เมล็ด - ผลของ GA₃ และอายุช่อดอกที่ได้รับสาร

การพัฒนาเป็นผลไร้เมล็ดหรือเมล็ดฝ่อในไม้ผลบางชนิดขึ้นกับลักษณะประจำพันธุ์ หรืออาจเกิดจากการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตพืชบางอย่างเพื่อชักนำลักษณะไร้เมล็ดในช่วงระยะการพัฒาที่เหมาะสม ซึ่งในองุ่นไวท์มะละกาอาจพบได้ทั้งเมล็ดที่มีหรือไม่มี การพัฒนา จากการพ่นสาร GA₃ เข้มข้น 25, 50 หรือ

100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้กับช่อดอกที่ระยะ 3 วันก่อนดอกบาน, ดอกบาน, 3 วันหลังดอกบาน หรือ 6 วันหลังดอกบาน (-3, 0, 3 หรือ 6 วันหลังดอกบาน) พบว่า มีการติดเมล็ดที่แตกต่างกัน (Figure 2) พบว่า ผลที่ไม่ได้รับ GA₃ (กรรมวิธีควบคุม) มีอัตราการไร้เมล็ด 0 เปอร์เซ็นต์ หรือติดเมล็ดทุกผล ในขณะที่ผลที่ได้รับ GA₃ มีอัตราไร้เมล็ด 30 - 100 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างตามช่วงอายุช่อดอกที่ได้รับสารและความเข้มข้นของ GA₃ (Table 2)

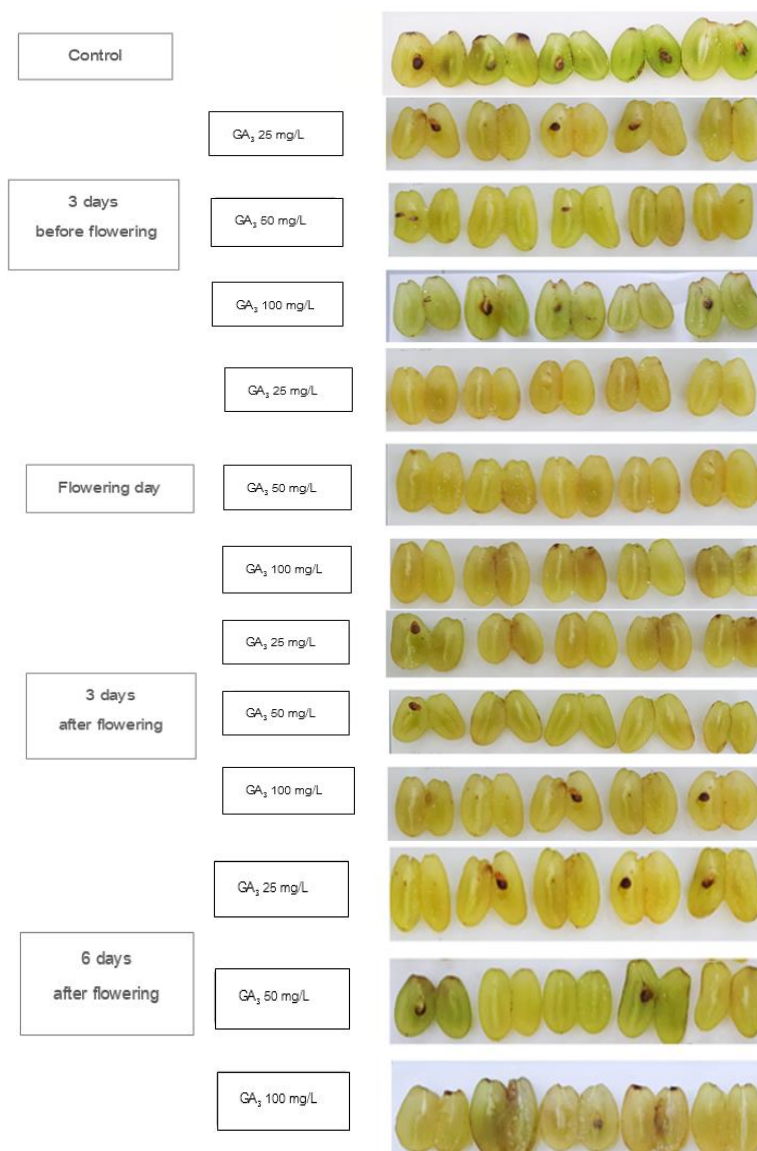


Figure 2. Seedless appearance in 'White Malaga' grape berry applied with different concentrations of GA₃ at various inflorescence ages

Table 2. Percentage of seedless berry in 'White Malaga' grape treated with different GA₃ concentrations at various ages

Inflorescence ages at spraying	GA ₃ (mg/L)	Seedless berry (%)
Untreated (control)		0.0 f ¹
3 days before flowering (-3)	25	70.0 b
	50	70.0 b
	100	70.0 b
Flowering day (0)	25	100.0 a
	50	100.0 a
	100	100.0 a
3 days after flowering (3)	25	50.0 c
	50	47.5 cd
	100	40.0 d
6 days after flowering (6)	25	30.0 e
	50	45.0 cd
	100	40.0 d
F-test		**
C.V (%)		15.55

¹ Means in the same column with different letters are significantly different ($P \leq 0.01$)

การพ่นช่อดอกองุ่นที่ระยะดอกบานด้วย GA₃ เข้มข้น 25 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดผลไร้เมล็ดได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการพ่นที่ระยะสามวันก่อนดอกบานชักนำผลไร้เมล็ดได้ 70 เปอร์เซ็นต์ และการพ่นที่ระยะ 3 - 6 วันหลังดอกบานชักนำผลไร้เมล็ดได้เพียง 30 - 50 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้า (Nilnond *et al.*, 1996) เนื่องจากสารจิบเบอเรลลินมีคุณสมบัติทำลายเรณู ยับยั้งการออกของหลอดเรณู และยับยั้งการเจริญของอวุล จึงทำให้เมล็ดมีการเจริญเติบโตและพัฒนาน้อยลงซึ่งส่งผลต่อการไร้เมล็ดมากขึ้น (Chatbanyong *et al.*, 2010)

นอกจากการชักนำให้ไร้เมล็ดแล้ว การพ่น GA₃ ทุกความเข้มข้นทำให้ช่อผลมีขนาดใหญ่กว่าที่ไม่ได้รับสาร เนื่องจากจิบเบอเรลลินส่งเสริมการยืดขยายเซลล์ในช่วงที่กำลังพัฒนา จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าการพ่น GA₃ ที่ระยะดอกบานมีความสำคัญมากต่อการชักนำให้ไร้เมล็ด และสามารถใช้ที่ความเข้มข้นต่ำ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็เพียงพอต่อการชักนำให้ไร้เมล็ดได้อย่างสมบูรณ์

การเพิ่มขนาดผลองุ่น - ผลของ GA₃ ร่วมกับ CPPU ต่อขนาดผลองุ่น

จากการทดลองเพื่อเพิ่มขนาดผลองุ่นด้วยการใช้สาร GA₃ เข้มข้น 25, 50 หรือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับ CPPU เข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชกลุ่มจิบเบอเรลลินและไซโทไคนินตามลำดับ กับช่อผลองุ่นพันธุ์ไวท์มะละกาที่อายุสองสัปดาห์หลังดอกบานเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้พ่นสาร พบว่า ผลองุ่นที่ได้รับสารมีการเติบโตด้านน้ำหนักผลตั้งแต่สัปดาห์ที่ 11 เป็นต้นไปมากกว่าผลที่ไม่ได้รับสารอย่างเด่นชัด (Figure 3) ผลที่ได้รับสารแสดงการเติบโตแบบ double sigmoid curve ในช่วงแรกน้ำหนักผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตามด้วยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์ที่ 12 - 13 ซึ่งเป็นระยะที่ผิวผลใกล้เปลี่ยนสี และเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งการใช้ GA₃ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ CPPU 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้การเติบโตในระยะที่สองเพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีการอื่นอย่างชัดเจน (Figure 3)

ผลงุ่นที่ได้รับ GA_3 เพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับ CPPU มีน้ำหนักผลระหว่าง 4.9 - 7.6 กรัม มากกว่าผลที่ไม่ได้รับสาร (ที่มีน้ำหนัก 3.6 กรัม) ประมาณ 40 - 110 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) ทำให้มีน้ำหนักช่อผลมากกว่าถึง 35 - 105 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

เป็นผลมาจากปริมาณผลที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาสัดส่วนความกว้างต่อความยาวผลจะเห็นได้ว่าการใช้สาร GA_3 และ CPPU ทำให้รูปทรงผลยาวรีมากขึ้นเล็กน้อย มีสัดส่วนความกว้าง/ความยาวลดลงจาก 0.61 เป็น 0.51 - 0.57

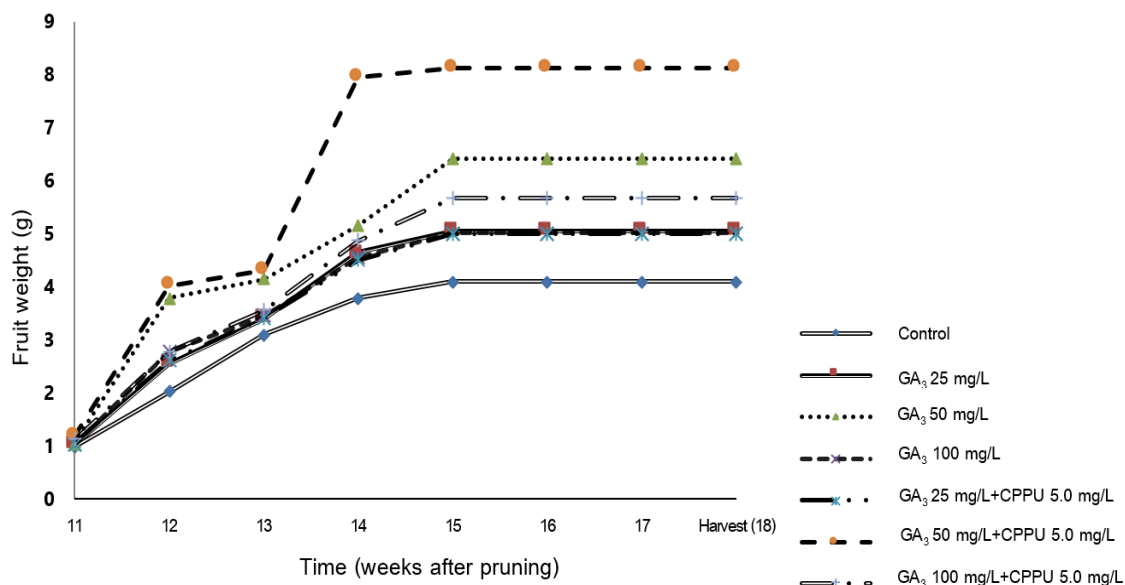


Figure 3. Changes in berry weight of 'White Malaga' grape applied with GA_3 and CPPU

Table 3. Physical properties at harvest of 'White Malaga' grape treated with GA_3 (G) and CPPU (C) at two weeks after flowering

	Berry width (cm)	Berry length (cm)	Width/ Length	Berry weight (g)	Bunch weight (g)
Untreated (control)	1.45 d ¹	2.36 d	0.61 a	3.63 c	182.75 f
G 25 mg/L	1.63 c	2.82 c	0.57 b	5.03 b	253.37 d
G 50 mg/L	1.73 b	3.12 b	0.55 b	5.92 b	283.00 c
G 100 mg/L	1.66 bc	2.90 c	0.57 b	5.02 b	293.87 b
G 25 mg/L + C 5.0 mg/L	1.67 bc	3.02 b	0.55 b	4.88 bc	245.00 e
G 50 mg/L + C 5.0 mg/L	1.82 a	3.35 a	0.54 c	7.58 a	376.37 a
G 100 mg/L + C 5.0 mg/L	1.60 c	3.10 b	0.51 c	5.67 b	280.87 c
F-test	**	**	**	**	**
C.V (%)	5.05	3.85	5.61	2.88	1.56

¹ Means in the same column with different letters are significantly different ($P \leq 0.01$)

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าผลที่ได้รับ GA₃ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ CPPU 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขนาดผลและน้ำหนักช่อมากที่สุด แตกต่างจากวิธีการอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเป็นระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มขนาดผลองุ่นพันธุ์ไวท์มะละกา ซึ่งสอดคล้องกับองุ่น 'Zeiny' ที่ควรใช้ GA₃ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ CPPU 5 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ben-Arie *et al.*, 1998) ทั้งนี้ อาจเนื่องจาก GA₃ ช่วยส่งเสริมการยืดตัวของเซลล์และ CPPU ส่งเสริมการแบ่งตัวของเซลล์ และยังช่วยกระตุ้นการเคลื่อนย้ายของสารอาหาร ส่งผลให้มีการสะสมอาหารเพิ่มขึ้น การใช้สารร่วมกันจึงช่วยเพิ่มขนาดผลได้มากยิ่งขึ้นทั้งความยาวผล ความกว้างผล และน้ำหนักช่อของผล (Peacock, 2001)

คุณภาพผลเมื่อเก็บเกี่ยว (Table 4) พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ของผลที่ได้รับ GA₃ มีค่าระหว่าง 19.50 - 20.87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าผลควบคุม (มีค่า 17.62 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ในผลที่ได้รับสารมีค่า 0.80 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าผลที่ไม่ได้รับสาร (มีค่า 0.70 เปอร์เซ็นต์) แต่อย่างไรก็ตามทุกวิธีการให้สัดส่วน TSS/TA ใกล้เคียงกันในช่วง 25.09 - 25.57 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าทั้งสาร GA₃ และ CPPU ทุกความเข้มข้นไม่มีผลทำให้สัดส่วนของ TSS/TA เปลี่ยนแปลงไป (Abu-Zahra, 2010) และเป็นผลจากสารทั้งสองอย่างช่วยส่งเสริมการเคลื่อนย้ายและสะสมสารอาหารในผลที่เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ผลองุ่นที่ได้มีรสชาติเข้มข้นขึ้นกว่าผลที่ไม่ได้รับสาร (Ezzahouani, 2000)

Table 4. Berry qualities at harvest of 'White Malaga' grape treated with GA₃ (G) and CPPU (C) at two weeks after flowering

	(Total Soluble Solids, TSS) (%)	(Titratable acidity, TA) (%)	TSS/TA
Untreated (control)	17.62 c ¹	0.70 c	25.09
G 25 mg/L	19.50 b	0.76 b	25.40
G 50 mg/L	20.37 a	0.81 a	25.07
G 100 mg/L	20.50 a	0.80 a	25.34
G 25 mg/L + C 5.0 mg/L	20.87 a	0.81 a	25.57
G 50 mg/L + C 5.0 mg/L	20.37 a	0.80 a	25.19
G 100 mg/L + C 5.0 mg/L	20.37 a	0.80 a	25.19
F-test	**	**	ns
C.V (%)	2.52	0.00	1.89

¹ Means in the same column with different letters are significantly different ($P \leq 0.01$)

ns Means in the same column are not significantly different ($P > 0.05$)

สรุป

จากการวิจัยใช้ GA₃ และ CPPU กับช่อดอก องุ่นพันธุ์ไวท์มะละกาสรุปได้ว่าการพ่นช่อดอกที่อายุ 20 วันหลังตัดแต่งกิ่งด้วย GA₃ เข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถช่วยยืดช่อดอกได้ 119 เปอร์เซ็นต์ การฉีดพ่น ช่อดอกที่ระยะดอกบานด้วย GA₃ เข้มข้น 25 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วยชักนำการไร้เมล็ดได้ และการพ่น ช่อผลด้วย GA₃ เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ CPPU เข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สองสัปดาห์หลัง ดอกบานช่วยเพิ่มขนาดผล น้ำหนักช่อผล และทำให้มี TSS และ TA สูงกว่าช่อผลที่ไม่ได้รับการพ่นสาร

เอกสารอ้างอิง

- Abu-Zahra, T.R. 2010. Berry size of Thomson Seedless as influenced by the application of gibberellic acid and cane girdling. *Pakistan Journal of Botany* 42(3): 1755-1760.
- Ben-Arie, R., P. Sarig, Y. Cohen-Ahdut, Y. Zutkhi, L. Sonogo, T. Kapulonov and N. Lisker. 1998. CPPU and GA₃ effects on pre- and post-harvest quality of seedless and seeded grapes. *Acta Horticulturae* 463: 349-358.
- Chatbanyong, R., S. Nilnond and V. Siripok. 2010. Fruiting response of 'Marroo seedless' grape to GA₃ application. *Agricultural Science Journal* 41(Suppl. 3/1): 421-424. (in Thai)
- Department of Agricultural Extension. 2016. Grape. (Online). Available: <http://www.agriinfo.doae.go.th/year59/plant/rortor/fruit2/grape.pdf> (September 25, 2016). (in Thai)
- Ezzahouani, A. 2000. Effects of forchlorfenuron (CPPU) and girdling on table grape cultivars "Perlette" and "Italia". *OENO One* 34(2): 57-60.
- Formolo, R., L. Rufato, A.A. Kretschmar, C. Schlemper, M. Mendes, J.L. Marcon Filho and A.P. Lima. 2010. Gibberellic acid and cluster thinning on seedless grape 'BRS Clara' in Caxias do Sul, Rio Grande do Sul State, Brazil. *Acta Horticulturae* 884: 467-471.
- Jaidee, S. 2010. Effects of growth regulators on yield and quality of table grape in tropic humidity. M.S. Thesis. Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima. 73 p. (in Thai)
- Kittwatsopon, K., P. Karintunyakit and K. Suvittawat. 2014. Effect of GA₃ and CPPU on growth and berry quality of Marroo seedless grape. *Khon Kaen Agriculture Journal* 42(Suppl. 3): 71-74. (in Thai)
- Nilnond, S., R. Yuwansiri, C. Sukumalanandana and P. Kermanee. 1996. Effects of gibberellic acid on seed and berry development in 'White Malaga' grape at Doi Inthanon Chiang Mai province. *Kasetsart Journal (Natural Science)* 30(2): 157-162. (in Thai)
- Peacock, W.L. 2001. Grape Notes. Agricultural BLDG., County Civic Center, California, USA.
- Skinkis, P.A., J.W. Pscheidt, M.L. Moretti, V.M. Walton, K.C. Achala and C. Kaiser. 2019. 2019 Pest Management Guide for Wine Grapes in Oregon. Oregon State University, Corvallis. 46 p.

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการป้องกันโรคใบด่างมันสำปะหลัง ของเกษตรกรในอำเภอนองบัวระเหว จังหวัดชัยภูมิ

Factors Influencing Prevention of Cassava Mosaic Disease (CMD) of Farmers in Nong Bua Rawe District, Chaiyaphum Province

ขวัญสุดา ขันบุตร อนันต์ พลธานี ไกรเลิศ ทวีกุล ยศ บริสุทธิ์ และ ไชยธีระ พันธุ์ภักดี*
Khuansuda Khanbut, Anan Polthanee, Krailert Taweekul, Yos Borisudhi and Chaiteera Panpakdee*

สาขาวิชาการส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

Department of Agricultural Extension and Development, Faculty of Agriculture,

Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

*Corresponding author: Email: chaitpa@kku.ac.th; chaiteera.p@gmail.com

(Received: 19 September 2022; Accepted: 8 May 2023)

Abstract: The purpose of this study was to investigate factors that influence the prevention of Cassava Mosaic Disease (CMD) of farmers in Nong Bua Rawe district, Chaiyaphum province. The sample size was 359 farmers of 3 Sub-districts, namely Wang Takhe, Huai Yae and Khok Sa-at. Data was gathered using an interview form with the computation of statistic methods of frequency, percentage, mean, minimum and maximum value, standard deviation, and multiple regression analysis. The results showed that most of the farmers were female (62.7 percent) with an average age of 52.8 years old. Their experience in cassava planting was 26.1 years, with average numbers of cassava planting areas and yields were 34.3 rai and 3.2 tons/rai respectively, received training and advice about cassava mosaic disease (CMD) from agricultural extension officers average 1 time/year, knowledge of CMD was at a moderate level. Regarding practices against CMD, most farmers had been conducted by not importing cassava stems from foreign countries. This had simultaneously done with, if cassava leaves were seen infectious, they would be exterminated for the benefit of prevention. From hypothesis testing, it was found that the factors that significantly correlated with the prevention of CMD ($P < 0.05$) were production costs, income, and knowledge of CMD.

Keywords: cassava mosaic disease (CMD), agricultural practice, Chaiyaphum

บทคัดย่อ: การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการป้องกันโรคใบด่างมันสำปะหลังของเกษตรกรในอำเภอหนองบัวระเหว จังหวัดชัยภูมิ จากกลุ่มตัวอย่าง 359 คน ใน 3 ตำบล ได้แก่ ตำบลวังตะเฆ่ ตำบลห้วยไผ่ และตำบลโคกสะอาด เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์ สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ค่าเฉลี่ยค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ถดถอยพหุ ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 62.7 มีอายุเฉลี่ย 52.8 ปี มีประสบการณ์ปลูกมันสำปะหลังเฉลี่ย 26.1 ปี มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเฉลี่ย 34.3 ไร่ ได้ผลผลิตเฉลี่ย 3.2 ตันต่อไร่ ได้รับคำแนะนำเกี่ยวกับโรคใบด่างมันสำปะหลังจากเจ้าหน้าที่ เฉลี่ย 1 ครั้งต่อปี มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคใบด่างมันสำปะหลังอยู่ในระดับปานกลาง ก่อนปลูกและการดูแลรักษามันสำปะหลังพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มีการป้องกันการเกิดโรคใบด่างคือ ไม่นำเข้าท่อนพันธุ์หรือส่วนขยายพันธุ์มันสำปะหลังจากต่างประเทศเข้ามา คัดเลือกท่อนพันธุ์ที่สะอาด เมื่อเกิดโรคใบด่าง พบว่า ส่วนใหญ่จะป้องกันโดยทำลายต้นที่เป็นโรคทิ้งจากการทดสอบสมมติฐาน พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ได้แก่ ต้นทุนการผลิต รายได้ และความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคใบด่างมันสำปะหลัง

คำสำคัญ: โรคใบด่างมันสำปะหลัง การปฏิบัติทางการเกษตร ชัยภูมิ

คำนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและสร้างรายได้ให้ประเทศไทยมายาวนาน (Prasara-A and Gheewala, 2021) พิจารณาได้จากรายงานในปี พ.ศ. 2563 ที่ระบุว่าประเทศไทยผลิตมันสำปะหลังมากเป็นอันดับ 3 ของโลก รองจากไนจีเรียและคองโก (Office of Agricultural Economics, 2022) มีปริมาณการส่งออก 4.6 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 83,128 ล้านบาท โดยกลุ่มประเทศในทวีปแอฟริกาเน้นผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศเป็นหลัก ขณะที่ไทยเน้นผลิตเพื่อส่งออก และเป็นประเทศผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากเป็นอันดับ 1 ของโลก (Office of Agricultural Economics, 2021) ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่ส่งออก ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง มันเส้น มันอัดเม็ด เด็กตรินและโมดิไฟด์ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ และมีตลาดหลักที่สำคัญ ได้แก่ สาธารณรัฐประชาชนจีน ญี่ปุ่น อินโดนีเซีย ไต้หวัน สหรัฐอเมริกา และเกาหลีใต้ (Bureau of Agricultural and Industrial Trade Promotion, 2021)

นอกจากปัจจัยทางด้านการตลาดที่มีความต้องการสูงแล้ว อีกหนึ่งเหตุผลที่ทำให้มันสำปะหลังเป็นพืชที่ได้รับความนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย มาจากการที่มันสำปะหลังเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี สามารถปลูกได้

ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนและดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และง่ายต่อการขยายพันธุ์ (Howeler *et al.*, 2013) กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความเหมาะสมกับเกษตรกรที่มีทุนน้อย และยังชีพอยู่ด้วยการผลิตพืชในพื้นที่ที่มีสภาพฝนแปรปรวน จากเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมาจึงทำให้มันสำปะหลังเป็นที่นิยมปลูกของเกษตรกรทุกภาคของไทย (El-Sharkawy, 2012) โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ดินเค็มสูง ซึ่งเหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลัง (Ploddee *et al.*, 2017) ในปี พ.ศ. 2563 มีรายงานว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีเนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดของประเทศรวม 5.3 ล้านไร่ จากพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังทั่วประเทศ 9.4 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 57 ของประเทศ โดยจังหวัดที่ปลูกมากที่สุดในภูมิภาคนี้ ได้แก่ นครราชสีมาและชัยภูมิ (Office of Agricultural Economics, 2021)

แม้มันสำปะหลังจะเป็นพืชที่ไม่ต้องการความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารและน้ำในการสร้างผลผลิตเหมือนพืชทั่ว ๆ ไป แต่ปัญหาที่สร้างผลกระทบให้กับการผลิตมันสำปะหลังที่สุดคือ โรคใบด่างมันสำปะหลัง (cassava mosaic disease, CMD) ซึ่งมีแมลงหิวข้าวยาสูบเป็นพาหะนำเชื้อไวรัส (Bizabani *et al.*, 2021) ความรุนแรงของโรคมาจากระดับการ-

ทำลายผลผลิตในระดับสูง แพร่กระจายเชื้อได้อย่างรวดเร็วผ่านทางท่อนพันธุ์ ส่งผลให้มันสำปะหลังที่ติดเชื้อไม่สร้างหัว (Komchadluek, 2021) และที่สร้างปัญหาแก่เกษตรกรมากที่สุดคือ ปัจจุบันยังไม่มีวิธีการรักษา นอกจากทำลายต้นที่เป็นโรคทิ้งโดยการฝังกลบในหลุมลึกไม่น้อยกว่า 2 - 3 เมตร ราดด้วยสารกำจัดวัชพืช หรือใส่ในถุง/กระสอบ มัดปากตากแดดไม่น้อยกว่า 7 วัน หรือใช้วิธีการนำเข้าเครื่องบดสับคลุมกองด้วยพลาสติกตากแดดให้มันสำปะหลังแห้งตาย และทำลายแมลงหีวขาวยาสูบที่เป็นพาหะนำโรค (Prasara-A and Gheewala, 2021)

ประเทศไทยพบการระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลังครั้งแรกในปี พ.ศ. 2561 ที่จังหวัดศรีสะเกษ สุรินทร์ ปราจีนบุรี โดยเชื้อไวรัสที่พบได้แก่สายพันธุ์ *Sri Lankan Cassava Mosaic Virus* (SLCMV) มีแมลงหีวขาวยาสูบเป็นพาหะนำเชื้อไวรัส (Alabi *et al.*, 2011) ซึ่งกรมวิชาการเกษตรได้จัดให้โรคนี้เป็นโรคอุบัติใหม่ (emerging disease) และดำเนินการกำจัดเพื่อควบคุมวงจรการระบาด (Siriwan *et al.*, 2020) อย่างไรก็ตาม เพียง 1 ปี หลังจากนั้น พบว่า มีต้นมันสำปะหลังแสดงอาการใบด่างอีกครั้งที่จังหวัดสระแก้ว ซึ่งการระบาดครั้งนี้มีผลทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลังลดลงถึงร้อยละ 80 - 100 และมีบางกรณีที่ผลกระทบของโรคใบด่างมันสำปะหลังทำให้ผลผลิตเสียหายทั้งหมด (National Agricultural Big Data Center, 2020)

ปัจจุบันโรคใบด่างมันสำปะหลังยังไม่มีวิธีการรักษา (Komchadluek, 2021) กรมส่งเสริมการเกษตรร่วมกับกรมวิชาการเกษตรจึงออกมาตรการในการปฏิบัติเพื่อควบคุมและป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง ซึ่งประกอบด้วย 5 มาตรการหลัก ดังนี้ 1. ระบบกักกันพืช (plant quarantine system) พระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 และที่แก้ไขเพิ่มเติม เป็นกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับห้ามนำเข้านำออกศัตรูพืชชนิดร้ายแรงมาในเขตควบคุมศัตรูพืช และประกาศคณะกรรมการว่าด้วยราคาสินค้าและบริการ (กจร.) เรื่องการควบคุมการขนย้ายต้นพันธุ์ ท่อนพันธุ์ มันสำปะหลัง (Department of Agricultural Extension, 2022) 2. สุขอนามัยพืช (phytosanitation) (Legg

et al., 2015) การใช้พันธุ์สะอาด โดยไม่ใช้ท่อนพันธุ์จากแหล่งที่พบการระบาดของโรค 3. การใช้พันธุ์ทนทานโรค (disease resistance varieties) 4. การเขตกรรม (cultural control) ทำความสะอาดแปลงสม่ำเสมอ 5. การควบคุมแมลงพาหะ (vector control) (Thresh and Cooter, 2005) โดยใช้ศัตรูธรรมชาติ สารเคมี สารชีวภัณฑ์

อย่างไรก็ดี ปี พ.ศ. 2564 พบการระบาดของโรคใบด่างในอำเภอหนองบัวระเหว ซึ่งโรคดังกล่าวยังไม่มีวิธีการรักษา การควบคุมป้องกันทำได้โดยการปฏิบัติตามมาตรการที่หน่วยงานราชการแนะนำ เพื่อไม่ให้เกิดการระบาดและแพร่กระจายของโรคขยายเป็นวงกว้าง แต่ยังไม่มีการสำรวจว่าเกษตรกรปฏิบัติหรือไม่ปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคใบด่าง (Nong Bua Rawe District Agricultural Extension Office, 2021) หากเกษตรกรมีการปฏิบัติ ดูแลแปลงมันสำปะหลังของตนเองอย่างถูกต้อง ถูกวิธี สม่ำเสมอ จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการระบาดของโรคใบด่างที่จะสร้างความเสียหายต่อผลผลิต ส่งผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกร รวมทั้งส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมส่งออกมันสำปะหลังที่เป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศ จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการปฏิบัติในการป้องกันและปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติในการป้องกันโรคใบด่างประโยชน์ของการวิจัยครั้งนี้คาดว่าจะประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำผลการศึกษานี้ไปใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริม ควบคุมและป้องกันโรคใบด่างมันสำปะหลังต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐานของเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง การปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาในการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการป้องกันโรคใบด่างมันสำปะหลังของเกษตรกรในอำเภอหนองบัวระเหว จังหวัดชัยภูมิ มีรายละเอียด ดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ คือ เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกรกับกรมส่งเสริมการเกษตร ปี พ.ศ. 2563 จำนวน 5,441 คน ใน 3 ตำบล ได้แก่ ตำบลวังตะเฒ่า ห้วยแย้ และโคกสะอาด อำเภอหนองบัวระเหว จังหวัดชัยภูมิ โดยทั้ง 3 ตำบล มีลักษณะภูมิประเทศที่คล้ายคลึงกัน คือเป็นที่ราบสูงในพื้นที่ตำบลโคกสะอาดห้วยแย้ และวังตะเฒ่า และบางส่วนมีภูเขาสลับกับพื้นที่ป่าในตำบลวังตะเฒ่า และพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่ของอำเภออยู่ใน 3 ตำบลดังกล่าว ส่วนอีก 2 ตำบล ได้แก่ ตำบลโสกปลาดุกและหนองบัวระเหว มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มซึ่งส่วนใหญ่เพาะปลูกข้าว ผู้วิจัยเลือกจังหวัดชัยภูมิเป็นพื้นที่การศึกษา เพราะเป็นแหล่งเพาะปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญเป็นอันดับ 2 ของประเทศรองจากนครราชสีมา ปี พ.ศ. 2563 มีเนื้อที่เพาะปลูก 735,629 ไร่ ผลผลิต 1.8 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 2.848 ตันต่อไร่ โดยอำเภอหนองบัวระเหว ปลูกมันสำปะหลังมากเป็นอันดับ 2 ของจังหวัด มีเนื้อที่เพาะปลูก 128,999 ไร่ ถือเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่ปลูกมากที่สุด (Nong Bua Rawe District Agricultural Extension Office, 2020) อย่างไรก็ตาม ในปี พ.ศ. 2564 เกิดการระบาดของโรคใบด่างมันสำปะหลังครั้งแรกในอำเภอหนองบัวระเหว สาเหตุเกิดจากการนำท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ติดโรครามาปลูก ทำให้เกิดการระบาดเป็นวงกว้าง (Chaiyaphum Provincial Agricultural Extension Office, 2021)

1.2 กลุ่มตัวอย่าง กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรเครจซี่และมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970) ผลคือได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 359 คน เป็นผู้ให้ข้อมูล (informant) คัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยสุ่มเลือกหมู่บ้านเป้าหมาย ตำบลละ 4 หมู่บ้าน โดยใช้วิธีการสุ่มแบบง่าย (Simple random sampling) จากนั้นกำหนดกลุ่มตัวอย่างในแต่ละหมู่บ้านที่ได้รับการสุ่มเลือก โดยให้จำนวนตัวอย่างในแต่ละหมู่บ้านเป็นสัดส่วนกับประชากรที่มีอยู่ (proportional sampling) โดยการเทียบบัญชีรายชื่อครัวเรือน จากนั้นเลือกใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างในแต่ละหมู่บ้านแบบง่าย (Simple random sampling)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ใช้แบบสัมภาษณ์ ซึ่งประกอบด้วยคำถามปลายปิดและปลายเปิด ในการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกร การปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาในการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ จากการนำแบบสัมภาษณ์ไปสัมภาษณ์รายบุคคล (individual interview) กับเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง (Jowsey *et al.*, 2021)

3.2 เก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ โดยการค้นคว้าจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัย (Abuhamda *et al.*, 2021)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ได้แก่ ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics) คือ การวิเคราะห์การถดถอยพหุ (multiple regression analysis) เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม (Abuhamda *et al.*, 2021) ซึ่งการศึกษาค้างนี้ตัวแปรอิสระ (independent variables) ที่นำมาวิเคราะห์มีทั้งหมด 12 ตัวแปร ได้แก่ เพศ (ชายหรือหญิง) อายุ (จำนวนปี) ระดับการศึกษา (จำนวนปี) พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง (จำนวนไร่) ประสบการณ์ปลูกมันสำปะหลัง (จำนวนปี) จำนวนแรงงาน (จำนวนคน) พื้นที่ปลูกของตนเอง (จำนวนไร่) ผลผลิตมันสำปะหลัง (จำนวนตันต่อไร่) ต้นทุนการผลิตมันสำปะหลัง (จำนวนบาทต่อปี) รายได้จากการปลูกมันสำปะหลัง (จำนวนบาทต่อปี) การได้รับคำแนะนำเกี่ยวกับโรคใบด่างมันสำปะหลังจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร (จำนวนครั้งต่อปี) ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคใบด่างมันสำปะหลัง ประกอบด้วยคำถาม จำนวน 14 ข้อ แต่ละข้อให้เลือกคำตอบถูกหรือผิด คำตอบถูกต้องจะได้ 1 คะแนน ตอบไม่ถูกต้องได้ 0 คะแนน

แล้วนำค่าคะแนนที่ได้มาแบ่งระดับความรู้ความเข้าใจออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ มีความรู้ความเข้าใจน้อย (ค่าเฉลี่ย 0.00 - 4.67 คะแนน) มีความรู้ความเข้าใจปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 4.68 - 9.35 คะแนน) มีความรู้ความเข้าใจมาก (ค่าเฉลี่ย 9.36 - 14.00 คะแนน) ตัวแปรตาม (dependent variable) คือการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง กำหนดระดับการปฏิบัติเป็นปฏิบัติ = 1 คะแนน และไม่ปฏิบัติ = 0 คะแนน โดยมีคะแนนเต็ม 15 คะแนน จากวิธีการปฏิบัติทั้งหมด 15 ข้อ

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ข้อมูลพื้นฐานด้านเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง

เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 62.7 อายุเฉลี่ย 24 ปี อายุมากที่สุด 78 ปี มีอายุเฉลี่ย 52.8 ปี จบการศึกษาระดับประถมศึกษา (ร้อยละ 71.6) มีประสบการณ์การปลูกมันสำปะหลังน้อยที่สุด 2 ปี มากที่สุด 54 ปี โดยเฉลี่ย 26.1 ปี มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4 คน และแรงงานภาคการเกษตรเฉลี่ย 3 คน มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเฉลี่ย 34.3 ไร่ มีพื้นที่การถือครองที่ดินเป็นของตนเอง เฉลี่ย 26.1 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 3.2 ตันต่อไร่ มีรายได้จากการปลูกมันสำปะหลังเฉลี่ย 7,295 บาทต่อไร่ ต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 4,382 บาทต่อไร่ มีระดับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคใบด่างมันสำปะหลังอยู่ในระดับปานกลาง ได้รับคำแนะนำหรือคำปรึกษาจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรเฉลี่ย 1 ครั้งต่อปี (Table 1)

2. การปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังของเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง

2.1 การศึกษาการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังของเกษตรกรในช่วงก่อนปลูกมันสำปะหลังและการดูแลรักษามันสำปะหลัง พบว่าเกษตรกรร้อยละ 100 ไม่นำเข้าท่อนพันธุ์หรือส่วนขยายพันธุ์มันสำปะหลังจากต่างประเทศเข้ามาในประเทศไทย ตามพระราชบัญญัติกักพืช พ.ศ. 2507 ซึ่ง

ถือเป็นกฎหมายที่เกษตรกรให้ความสำคัญปฏิบัติตามมากที่สุด ด้านสุขอนามัยพืช พบว่า เกษตรกรร้อยละ 98.6 มีการคัดเลือกท่อนพันธุ์ที่ปราศจากโรคและแมลง ซึ่งเกษตรกรคัดเลือกท่อนพันธุ์ตั้งแต่ตอนตัดท่อนพันธุ์ในแปลงเพื่อนำไปใช้ปลูกครั้งต่อไป รองลงมาร้อยละ 94.4 มีการใช้ท่อนพันธุ์ของตนเอง เป็นการนำท่อนพันธุ์ที่มีคุณภาพดีจากต้นแม่ที่ปราศจากโรคและแมลง อีกทั้งยังลดต้นทุนในการซื้อท่อนพันธุ์ปลูกอีกด้วย ด้านเขตกรรม พบว่า เกษตรกรร้อยละ 92.5 มีการสำรวจแปลงอย่างสม่ำเสมอ อย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง หากพบการระบาดของโรคจะทำให้สามารถป้องกันกำจัดได้ทันเวลาที่ รองลงมาร้อยละ 90.3 มีการไถตากดินเพื่อทำลายวัชพืช โรคพืชบางชนิดได้ และร้อยละ 14.8 มีการทำความสะอาดแปลง เพื่อไม่ให้เป็นที่หลบซ่อนของแมลงศัตรูพืช ด้านการใช้พันธุ์ทนทานโรค พบว่า เกษตรกรร้อยละ 91.4 มีการเลือกปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ทนทานโรค ได้แก่ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ระยะเวลา 72 ชั่วโมง 60 ตามที่หน่วยงานราชการแนะนำ ด้านการควบคุมแมลงพาหะ พบว่า เกษตรกรร้อยละ 90.3 มีการใช้ศัตรูธรรมชาติ เช่น แมลงช้างปีกใส ตัวเต่าตัวห้ำ ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติช่วยควบคุมแมลงศัตรูพืชที่เป็นพาหะของโรค รองลงมาร้อยละ 78.3 ใช้สารเคมีพ่น อาจเนื่องจากสารเคมีเห็นผลเร็ว และหาซื้อได้ง่าย ร้อยละ 76.0 ใช้สารชีวภัณฑ์ เช่น เชื้อรา-บิวเวอเรีย ที่สามารถผลิตใช้เองได้และไม่เป็นอันตรายกับผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม และร้อยละ 67.1 แห่ท่อนพันธุ์เพื่อควบคุมแมลงพาหะ (Table 2)

2.2 เมื่อเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง พบว่า เกษตรกรร้อยละ 96.4 มีการทำลายต้นที่เป็นโรคทิ้งเพื่อตัดวงจรการระบาดของโรค รองลงมาร้อยละ 93.9 แจ้งเจ้าหน้าที่สำนักงานเกษตร เพื่อขอคำแนะนำในด้านการป้องกันกำจัดโรคและแมลงพาหะ ร้อยละ 91.6 พักแปลงอย่างน้อย 2 เดือน ก่อนปลูกมันสำปะหลังครั้งต่อไป และร้อยละ 13.4 ใช้อินเทอร์เน็ตรับหาข้อมูลเกี่ยวกับโรคและการป้องกันกำจัดโรคใบด่าง ซึ่งเป็นสื่อออนไลน์ที่ช่วยให้เกษตรกรทราบข้อมูลวิธีการปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคได้อีกช่องทางหนึ่ง (Table 2)

Table 1. Socio-Economic background of farmers

(n = 359)

Personal and socio-economic background	Number	Percentage
Gender		
Male	134	37.3
Female	225	62.7
Age (years)		
≤ 40	44	12.3
41-50	113	31.5
51-60	126	35.1
> 60	76	21.2
Mean = 52.81 S.D. = 10.182 Min = 24 Max = 78		
Education level		
Uneducated	10	2.8
Primary school	257	71.6
Lower secondary school	43	12.0
Upper secondary school	45	12.5
Diploma	3	0.8
Bachelor's degree	1	0.3
Size of cassava planting area (rai)		
≤ 20	120	33.4
21-40	153	42.7
41-60	50	13.9
> 60	36	10.0
Mean = 34.32 S.D. = 23.989 Min = 2 Max = 187		
Cassava planting experience (years)		
≤ 10	53	14.8
11-25	113	31.5
26-40	171	47.6
> 40	22	6.1
Mean = 26.11 S.D. = 11.125 Min = 2 Max = 54		
Number of family members		
1-2	46	12.8
3-4	178	49.6
5-6	107	29.8
> 6	28	7.8
Mean = 4.21 S.D. = 1.662 Min = 1 Max = 12		
Number of labors		
≤ 2	180	50.1
3-4	157	43.7
5-6	21	5.8
> 6	1	0.3
Mean = 2.7 S.D. = 1.104 Min = 1 Max = 7		

Table 1. (Continue)

(n = 359)		
Personal and socio-economic background	Number	Percentage
Own land ownership (rai)		
≤ 20	172	47.9
21-40	130	36.2
41-60	41	11.4
> 60	16	4.5
Mean = 26.06 S.D. = 21.391 Min = 0 Max = 187		
Cassava yield (tons/rai)		
< 3	208	57.9
3-5	149	41.5
> 5	2	0.6
Mean = 3.25 S.D. = 0.74 Min = 0.80 Max = 6.00		
Income from cassava cultivation (baht/rai)		
≤ 3,000	9	2.5
3,001-6,000	111	30.9
6,001-9,000	164	45.7
> 9,000	75	20.9
Mean = 7,295.12 S.D. = 2,271.52 Min = 1,700 Max = 17,000		
Cost of planting cassava (baht/rai)		
≤ 3,000	76	21.2
3,001-4,000	237	66
4,001-5,000	39	10.9
> 5,000	7	1.9
Mean = 4,381.89 S.D. = 1,156.58 Min = 2,000 Max = 8,000		
Knowledge of cassava mosaic disease (CMD) (score)		
0.00-4.67	0	0
4.68-9.35	198	55.2
9.36-14.00	161	44.8
Mean = 9.54 S.D. = 1.69 Min = 5 Max = 14		
Received training and advice from agricultural extension officers (times/year)		
0	139	38.7
1-2	179	49.9
3-4	35	9.7
> 4	6	1.7
Mean = 1.06 S.D. = 1.124 Min = 0 Max = 5		

Table 2. Farmers' of practices for prevention of cassava mosaic disease (CMD)

Prevention of cassava mosaic disease	Practice			
	Practice	%	No Practice	%
Before planting				
Plant quarantine system				
Not importing cultivars or propagating from foreign countries	359	100	0	0
Phytosanitation				
Select cultivars that are free from disease and insects	354	98.6	5	1.4
Use self-breeding cuttings	339	94.4	20	5.6
Cultural control				
Plow soil	324	90.3	35	9.7
Clean plantation	53	14.8	306	85.2
Survey plantation area regularly at least once a week	332	92.5	27	7.5
Use disease resistant varieties				
Use resistant cultivars	328	91.4	31	8.6
Control vector				
Soak cultivars to prevent pests	241	67.1	118	32.9
Use natural enemies to control pests	324	90.3	35	9.7
Apply bio-insecticides	273	76.0	86	24.0
Apply chemicals	281	78.3	78	21.7
When cassava mosaic disease occurs				
Notify the district agricultural extension offices	337	93.9	22	6.1
Destroy diseased plants	346	96.4	13	3.6
Leave infected plantation for at least 2 months	329	91.6	30	8.4
Search for cassava mosaic via internet disease information	48	13.4	311	86.6

3. ปัญหาในการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง

3.1 ด้านความรู้เรื่องโรคใบด่างมันสำปะหลัง พบว่า เกษตรกรมีปัญหา เรื่องขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคใบด่างมันสำปะหลังที่ถูกต้อง

3.2 ด้านการปฏิบัติงาน พบว่า เกษตรกรมีปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงาน ค่าจ้างแรงงานมีราคาสูง และการทำลายต้นที่เป็นโรคทิ้งยุ่งยากและใช้ค่าใช้จ่ายสูง

3.3 ด้านสารเคมี พบว่า เกษตรกรมีปัญหาเรื่องสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชมีราคาแพง

4. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังในอำเภอหนองบัวระเหว จังหวัดชัยภูมิ

จากการวิเคราะห์หัตถดอยพหุ เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังของเกษตรกรในอำเภอหนองบัวระเหว จังหวัดชัยภูมิ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (multiple coefficient of determination, R^2) มีค่าเท่ากับ 0.103 หมายความว่า ตัวแปรอิสระทั้งหมดร่วมกันอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้ร้อยละ 10.3 (Abuhamda *et al.*, 2021) ซึ่งตัวแปรอิสระทั้งหมด

12 ตัวแปร มี 3 ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ ต้นทุนการผลิตมันสำปะหลัง รายได้ และความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคใบด่างมันสำปะหลัง (Table 3) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ต้นทุนการผลิตมีผลเชิงบวกหรือมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการปฏิบัติในการป้องกันโรคใบด่างมันสำปะหลัง หมายความว่า เกษตรกรที่มีต้นทุนการผลิตสูงขึ้นจะมีแนวโน้มที่จะปฏิบัติในการป้องกันโรคใบด่างมันสำปะหลังมากกว่าเกษตรกรที่มีต้นทุนการผลิตน้อยกว่า ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sangklinhrom *et al.* (2015) และ Krungsri Research (2021) ซึ่งให้เหตุผลว่า ในการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง ย่อมมีผลให้เกษตรกรมีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น

กว่าปกติ โดยค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น อาจมาจากการจ้างแรงงานมาช่วยในขั้นตอนการไถตากดิน การทำความสะอาดแปลง หรือการแช่ท่อนพันธุ์ อย่างไรก็ตาม การลงทุนกับการปฏิบัติเหล่านี้ก็คุ้มค่า หากพิจารณาว่า เกษตรกรอาจไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตเพื่อสร้างรายได้ได้เลย หรือได้เพียงบางส่วน หากไร่มันสำปะหลังของตนถูกทำลายโดยโรคใบด่างมันสำปะหลัง สิ่งนี้เป็นเรื่องที่ยอมรับได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสถานการณ์โลกปัจจุบันที่การผลิตมันสำปะหลังก็มีความเสี่ยงในกระบวนการผลิตสูงอยู่แล้วจากผลกระทบการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ (climate change) และการผันผวนของราคาปัจจัยการผลิตในกลุ่มปุ๋ยเคมีและน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากวิกฤติการทำสงครามในต่างประเทศ

Table 3. Regression coefficient of independent variables related to prevention of cassava mosaic disease (CMD)

Variables	Unstandardized coefficients : B	t	Sig.
Constant	0.609	11.456	0.000
1. Sex	-0.007	-0.605	0.546
2. Age	-0.003	-0.427	0.670
3. Education level	0.002	0.315	0.753
4. Size of cassava planting area	-0.006	-0.914	0.361
5. Cassava planting experience	-0.010	-1.180	0.239
6. Number of labors	-0.002	-0.178	0.859
7. Land ownership	0.004	0.196	0.845
8. Cassava yield	0.009	0.658	0.511
9. Cost of planting cassava	0.026	2.881	0.004*
10. Income from cassava cultivation	0.021	2.291	0.023*
11. Knowledge of cassava mosaic disease (CMD)	0.037	3.029	0.003*
12. Received training and advice from agricultural extension officers	0.003	0.247	0.805
R = 0.321 R ² = 0.103 SEE = 0.105 F = 3.309 Sig. of F = 0.000			

* significantly different at $P < 0.05$

ตัวแปรอิสระตัวที่สองที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ได้แก่ รายได้จากการปลูกมันสำปะหลัง อธิบายได้ว่า เกษตรกรที่มีรายได้สูงจากการปลูกมันสำปะหลัง มีการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังมากกว่าเกษตรกรที่มีรายได้น้อย ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Bunyanit and Sirisunyaluck (2019) และ National Agricultural Big Data Center (2020) กล่าวว่า เกษตรกรที่มีรายได้สูงจากการจำหน่ายผลผลิตมีแนวโน้มที่จะยอมรับนวัตกรรม หรือการปฏิบัติทางการเกษตรใหม่ ๆ เพราะรายได้ที่เพิ่มขึ้นมีผลให้พวกเขามีเงินทุนในการครองนวัตกรรม รวมถึงมีความมั่นใจที่จะปฏิบัติตามหลักเกณฑ์การปฏิบัติทางการเกษตรชนิดใหม่ที่ตนไม่คุ้นเคย (Panpakdee *et al.*, 2022) ส่วนความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคใบด่างมันสำปะหลัง เป็นตัวแปรอิสระที่สามที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง อธิบายได้ว่า เกษตรกรที่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคใบด่างมันสำปะหลังมาก ไม่ว่าจะจากการแนะนำของเจ้าหน้าที่หรือเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านสื่อ จะมีการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังมากกว่าเกษตรกรที่มีความรู้ความเข้าใจน้อย สอดคล้องกับ Kanokhong *et al.* (2018) กล่าวว่า เกษตรกรที่มีความรู้ในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง เช่น เกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่มีความรู้เรื่องการผลิตข้าวตามหลักการเกษตรที่ดี (good agricultural practices: GAP) จะเป็นกลุ่มคนที่เปิดใจยอมรับและปฏิบัติตามหลักการผลิดดังกล่าวสูงกว่าเกษตรกรที่ไม่มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องดังกล่าว

สรุป

เกษตรกรส่วนใหญ่มีการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังตามมาตรฐานหลัก 5 ด้านที่หน่วยงานราชการกำหนด ได้แก่ ระบบกักกันพืช โดยเกษตรกรมีการปฏิบัติโดยไม่นำเข้าท่อนพันธุ์หรือส่วนขยายพันธุ์มันสำปะหลังจากต่างประเทศเข้ามา ด้านสุขอนามัย มีการคัดเลือกท่อนพันธุ์ที่สะอาดปราศจากโรคและแมลงมากที่สุด ด้านการใช้พันธุ์

ทนทานโรค เกษตรกรมีการเลือกปลูกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ระยะยง 72 และห้วยบง 60 ตามที่หน่วยงานราชการแนะนำ ด้านเขตกรรม เกษตรกรมีการสำรวจแปลงอย่างสม่ำเสมออย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง และด้านการควบคุมแมลงพาหะ เกษตรกรมีการใช้ศัตรูธรรมชาติเพื่อควบคุมแมลงหิวข้าวยาสูบที่เป็นพาหะของโรค เนื่องจากศัตรูธรรมชาติที่ควบคุมศัตรูพืชมีอยู่แล้วตามธรรมชาติ ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ได้แก่ ต้นทุนการผลิตมันสำปะหลัง รายได้จากการปลูกมันสำปะหลัง และความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคใบด่างมันสำปะหลัง

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะต่อเกษตรกร การปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดโรคใบด่างมันสำปะหลัง ย่อมมีผลทำให้ต้นทุนการผลิตของเกษตรกรสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม มีการปฏิบัติหลาย ๆ วิธี ที่ไม่เพียงมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคใบด่างมันสำปะหลังเท่านั้น แต่ยังใช้ต้นทุนน้อย เพื่อจูงใจให้เกษตรกรปฏิบัติและรักษาโอกาสในการสร้างผลกำไรได้ เช่น การให้ความสำคัญกับการคัดเลือกท่อนพันธุ์คุณภาพดี เช่น พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ระยะยง 72 และ ห้วยบง 60 เป็นต้น และหากพบว่าท่อนพันธุ์มีโรคใบด่าง ก็ควรคัดทิ้งทันที แม้กระบวนการคัดเลือกท่อนพันธุ์จะใช้เวลาค่อนข้างสูง แต่หากพิจารณาในมิติเศรษฐกิจแล้วคุ้มค่ามาก เพราะการใช้ท่อนพันธุ์คุณภาพดีก่อนปลูก สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ในหลาย ๆ ส่วน เช่น ลดการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดเพลี้ย ซึ่งมีค่าใช้จ่ายหลักหมื่นบาทต่อรอบฉีดพ่น นอกจากนี้ การยกทรงปลูกโดยเว้นระยะห่างระหว่างร่อง 100 - 120 เซนติเมตร และระหว่างต้น 60 - 90 เซนติเมตร ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ทำให้ต้นมันสำปะหลังแข็งแรง เพราะระยะการยกทรงดังกล่าว จะช่วยให้มันสำปะหลังได้รับแสงอย่างเพียงพอ และทั่วถึง ทำให้มันสำปะหลังแข็งแรงและเพิ่มภูมิต้านทานต่อโรคและแมลงต่าง ๆ (Sangklinhrom *et al.* 2015)

2. ข้อเสนอแนะต่อหน่วยงาน หน่วยงานรัฐที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการเกษตรของประเทศ เช่น กรมส่งเสริมการเกษตรและกรมวิชาการเกษตร เป็นต้น ควรอบรมให้ความรู้แก่เกษตรกรโดยเฉพาะกลุ่มที่มีระดับความรู้ความเข้าใจน้อยได้ทราบถึงผลกระทบของโรคใบด่างมันสำปะหลัง ลักษณะอาการ วิธีการป้องกัน กำจัดโรคที่ถูกต้อง รวมทั้งการผลิตสารชีวภัณฑ์ โดยช่วงการอบรมให้ความรู้ควรเป็นช่วงเวลาตั้งแต่ 07.00 น. ใช้เวลาในการอบรม 1 - 1.30 ชั่วโมง เนื่องจากเกษตรกรมีภารกิจต้องออกไปปฏิบัติงานในแปลงหรือรับจ้างทำการเกษตร อีกทั้งช่วงเวลาดังกล่าวยังเหมาะสมต่อการบรรลุผลการเรียนรู้ของเกษตรกรด้วย (Carr *et al.*, 2018) ควรมีการอบรมให้ความรู้แก่เกษตรกรบางกลุ่ม ให้พัฒนาเป็นผู้นำการเปลี่ยนแปลง (change agent) เพื่อช่วยเจ้าหน้าที่ถ่ายทอดองค์ความรู้ไปสู่เกษตรกรรายอื่น ๆ เนื่องจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในปัจจุบันมีจำนวนน้อยและมีแนวโน้มจะลดลงกว่าเดิม เพื่อให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์การปรับลดขนาดกำลังคนภาครัฐ ตามมติของสำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือนเร่งดำเนินการหาพันธุ์ต้านทานโรคใบด่างมันสำปะหลังซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติในการป้องกันโรค วิธีการทำลายต้นที่เป็นโรคทั้งด้วยวิธีการที่ง่าย ใช้ค่าใช้จ่ายที่น้อยและที่สำคัญสอดคล้องกับภูมิสังคมของเกษตรกรด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Abuhamda, E.A.A., I.A. Ismail and T.R.K. Bsharat. 2021. Understanding quantitative and qualitative research methods: A theoretical perspective for young researchers. *International Journal of Research* 8(2): 71-87.
- Alabi, O.J., P.L. Kumar and R.A. Naidu. 2011. Cassava mosaic disease: A curse to food security in Sub-Saharan Africa. *The American Phytopathological Society (APS)*, doi: 10.1094/APSnetFeature-2011-0701.
- Bizabani, C., S.J. Rogans and M.E.C. Rey. 2021. Differential miRNA profiles in South African cassava mosaic virus-infected cassava landraces reveal clues to susceptibility and tolerance to cassava mosaic disease. *Virus Research* 303: 198400, doi: 10.1016/j.virusres.2021.198400.
- Bunyanit, A. and R. Sirisunyaluck. 2019. Factors influencing obtaining good agricultural practice certification of rice growers in Phrao district, Chiang Mai province. *Khon Kaen Agriculture Journal* 47(1): 167-172. (in Thai)
- Bureau of Agricultural and Industrial Trade Promotion. 2021. Cassava products. (Online). Available: http://ditp.go.th/ditp_web61/index.php (September 12, 2021). (in Thai)
- Carr, A., K. Balasubramanian, R. Atieno and J. Onyango. 2018. Lifelong learning to empowerment: Beyond formal education. *Distance Education* 39(1): 69-86.
- Chaiyaphum Provincial Agricultural Extension Office. 2021. Report area of cassava mosaic disease outbreak Chaiyaphum province in 2021. Chaiyaphum Provincial Agricultural Extension Office, Chaiyaphum. 1 p. (in Thai)
- Department of Agricultural Extension. 2022. Management of cassava mosaic disease and related laws. Department of Agricultural Extension, Bangkok. 8 p. (in Thai)
- El-Sharkawy, M.A. 2012. Stress-tolerant cassava: The role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. *Open Journal Soil Science* 2: 162-186.
- Howeler, R., N. Lutaladio and G. Thomas. 2013. *Save and Grow: Cassava: A Guide to Sustainable Production Intensification*. FAO, Rome. 129 p.

- Jowsey, T., C. Deng and J. Weller. 2021. General-purpose thematic analysis: A useful qualitative method for anaesthesia research. *BJA Education* 21(12): 472-478.
- Kanokhong, K., N. Rattanawan and P. Jeerat. 2018. Adoption of crop growing methods under the standards of good agricultural practice (GAP) of farmers, Mon Ngo royal project development center Mae Tang district, Chiang Mai. *Journal of Agricultural Research and Extension* 36(1): 75-84. (in Thai)
- Komchadluek. 2021. Department of Agricultural Extension accelerates the cure of cassava mosaic disease, joins KU researchers to find disease-resistant varieties to plant instead. (Online). Available: <http://www.komchadluek.net/news/457726> (November 27, 2021). (in Thai)
- Krejcie, R.V. and D.W. Morgan. 1970. Determining sample sizes for research activities. *Educational and Psychological Measurement* 30(3): 607-610.
- Krungsri Research. 2021. Industry Outlook 2022-2024: Cassava Industry. (Online). Available: <https://www.krungsri.com/en/research/industry/industry-outlook/agriculture/cassava/io/io-cassava-21> (April 9, 2023).
- Legg, J.P., P.L. Kumar, T. Makesh Kumar, L. Tripathi, M. Ferguson, E. Kanju, P. Ntawuruhunga and W. Cuellar. 2015. Chapter four - Cassava virus diseases: biology, epidemiology, and management. *Advances in Virus Research* 91: 85-142.
- National Agricultural Big Data Center. 2020. Analysis of situation of cassava mosaic disease. (Online). Available: <http://www.nabc.go.th/disaster/baidang> (December 12, 2020). (in Thai)
- Nong Bua Rawe District Agricultural Extension Office. 2020. Result of registration of cassava farmers in 2020/2021. Nong Bua Rawe District Agricultural Extension Office, Chaiyaphum. 1 p. (in Thai)
- Nong Bua Rawe District Agricultural Extension Office. 2021. Report area of cassava mosaic disease outbreak. Nong Bua Rawe District Agricultural Extension Office, Chaiyaphum. 1 p. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. 2021. Agricultural Statistics of Thailand 2020. Office of Agricultural Economics, Bangkok. 214 p. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. 2022. Agricultural Statistics of Thailand 2021. Office of Agricultural Economics, Bangkok. 210 p. (in Thai)
- Panpakdee, C., S. Simaraks and C. Sookcharoen. 2022. Using the Delphi method to develop social-ecological resilience indicators of organic rice production in Thailand. *Forest and Society* 6(1): 157-174.
- Ploddee, P., S. Phoon and B. Mokmoor. 2017. Soil Capacity Assessment Guidelines for Planting Cassava in Nakhon Ratchasima. Land Development Department, Bangkok. 132 p. (in Thai)
- Prasara-A, J. and S.H. Gheewala. 2021. An assessment of social sustainability of sugarcane and cassava cultivation in Thailand. *Sustainable Production and Consumption* 27: 372-382.
- Sangklinhrom, O., S. Seesang and P. Saranrom. 2015. Appropriate technology utilization for cassava production by farmers

participating in the project of increasing production efficiency of industrial and export crops in Mueang district of Kanchanaburi province. pp. 1-15. *In*: The 5th STOU Graduate Research Conference, Nonthaburi. (in Thai)

Siriwan, W., N. Hemniam, J. Thawinampan, S. Roekwan, K. Saokham, S. Hunsawattanakul, P. Pleeprom and C. Phumichai. 2020. Study of disease incidence in cassava mosaic disease clean seed. *Agricultural Science Journal* 51(2): 181-191. (in Thai)

Thresh, J.M. and R.J. Cooter. 2005. Strategies for controlling cassava mosaic virus disease in Africa. *Plant Pathology* 54(5): 587-614.

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่
ของสมาชิกสหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่ฝางจำกัด อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่

Factors Relating to Onion Production Management of Fang Onion Growers
Cooperative's Members, Fang District, Chiang Mai Province

วรารคณา ตี๋โปธา¹ สุกิจ กันจินะ^{1*} รุจ ศิริสญลักษณ์¹ และ พิมพีใจ สีหะนาม²
Warangkana Tippota¹, Sukit Kanjina^{1*}, Ruth Sirisunyaluck¹ and Pimjai Seehanam²

¹สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและพัฒนาชนบท ภาควิชาพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตร
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹Division of Agricultural Extension and Rural Development, Department of Agricultural Economy and Development,
Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Division of Horticulture, Department of Plant and Soil Sciences,
Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: sukit.ka@cmu.ac.th

(Received: 25 January 2023; Accepted: 2 June 2023)

Abstract: The objectives of this research were to study onion production management and analyze factors relating to this management of the farmers in Fang District, Chiang Mai Province. An interview form was used to collect data from a sample group of 188 farmers who were members of the Fang Onion Growers Cooperative (FOC) between January and May 2022. The results revealed that most farmers were male, with an average age of 53.09 years, and graduated primary school. On average, they had 19.96 years of onion cultivation experience and 5.36 rai planting areas. Most farmers used their own funds, and loan from various sources such as FOC and Village Funds for the onion production. Approximately half of the farmers had only one market distribution channel. They also accessed about two sources of agricultural information on average. In 2021, most farmers attended no training (67.60 %) and made no contact with relevant officers for assistance with onion production (67.00 %). Regarding onion production management, it was found that the farmers were at a moderate management level. From an analysis of factors relating to the onion production management, it was found that knowledge of onion production management and onion planting areas were positively significant ($P < 0.01$ and $P < 0.05$, respectively). Thus, relevant officers should provide knowledge on production and marketing to the farmers, so they can apply this knowledge to improve their onion production management.

Keywords: Production management, onion, Farmer's knowledge

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ และวิเคราะห์ปัจจัยที่สัมพันธ์กับการจัดการดังกล่าวของเกษตรกรในอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นสมาชิกสหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่ฝาง จำกัด จำนวน 188 ราย ระหว่างเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2565 จากการศึกษาพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชายมีอายุเฉลี่ย 53.09 ปี และสำเร็จการศึกษาในระดับประถมศึกษา โดยเกษตรกรมีประสบการณ์ในการปลูกหอมหัวใหญ่เฉลี่ย 19.96 ปี และมีรายได้จากการปลูกหอมหัวใหญ่เฉลี่ย 99,930.85 บาทต่อปี มีพื้นที่ปลูกหอมหัวใหญ่เฉลี่ย 5.36 ไร่ เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้เงินทุนของตนเองและการกู้ยืมเงินจากแหล่งต่างๆ เช่น สหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่ฝาง จำกัด และกองทุนหมู่บ้าน เพื่อการผลิตหอมหัวใหญ่ เกษตรกรประมาณครึ่งหนึ่งมีแหล่งจำหน่ายหอมหัวใหญ่เพียงแหล่งเดียวและได้รับข้อมูลข่าวสารทางการเกษตรเฉลี่ยจาก 2 ช่องทาง ในปี พ.ศ. 2564 พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ได้รับการอบรม (ร้อยละ 67.60) และการติดต่อกับเจ้าหน้าที่เพื่อขอความช่วยเหลือในด้านการผลิตหอมหัวใหญ่ (ร้อยละ 67.00) ในส่วนของการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ พบว่า เกษตรกรมีระดับการจัดการในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ พบว่า ความรู้ในด้านการจัดการการผลิตและพื้นที่ที่ใช้ในการปลูกหอมหัวใหญ่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$ และ $P < 0.05$ ตามลำดับ) ดังนั้น เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องควรเข้ามาให้ความรู้เกี่ยวกับการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่แก่เกษตรกร อาทิ การผลิต และการตลาด เพื่อให้เกษตรกรสามารถนำไปปรับใช้ในการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ของตนให้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การจัดการการผลิต หอมหัวใหญ่ ความรู้ของเกษตรกร

คำนำ

หอมหัวใหญ่เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยนิยมนำมาประกอบอาหารหรือบริโภคสด และใช้แปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การอบแห้ง การดองน้ำส้ม และใช้เป็นส่วนผสมในปลากะป๋อง เป็นต้น (Extension and Training Office, 2022) สำหรับประเทศไทยมีการปลูกหอมหัวใหญ่และให้ผลผลิตเพียงหนึ่งครั้งต่อปี โดยเป็นการผลิตหอมหัวใหญ่เพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ นอกจากนี้ยังมีการนำเข้าหอมหัวใหญ่มารับประทานภายในประเทศ ในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยผลิตหอมหัวใหญ่ปริมาณ 34,797 ตัน และมีการส่งออกทั้งผลผลิตสด แห้ง และแปรรูปเป็นผง ปริมาณการส่งออก 3,465 ตัน มูลค่ารวม 50.34 ล้านบาท โดยมีประเทศคู่ค้าที่สำคัญ คือ ญี่ปุ่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย และออสเตรเลีย (Bureau of Agricultural Commodities Promotion and Management, 2021) ทั้งนี้ ในปีดังกล่าว ประเทศไทยมีการเพาะปลูกหอมหัวใหญ่ใน 5 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย

นครสวรรค์ กาญจนบุรี และแม่ฮ่องสอน โดยมีพื้นที่เพาะปลูกรวมทั้งสิ้น 8,800 ไร่ โดยจังหวัดเชียงใหม่มีการผลิตหอมหัวใหญ่มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 74.66 (Office of Agricultural Economics, 2021a)

ในช่วงที่ผ่านมาเกษตรกรผู้ผลิตหอมหัวใหญ่ประสบปัญหาหลายด้าน เช่น การลักลอบนำเข้าหอมหัวใหญ่จากประเทศจีน การไม่มีแหล่งรับซื้อผลผลิต ราคาหอมหัวใหญ่ในประเทศตกต่ำและมีความผันผวน และต้นทุนการผลิตหอมหัวใหญ่สูงกว่าประเทศคู่แข่ง ปัญหาดังกล่าวทำให้หอมหัวใหญ่ของไทยไม่สามารถแข่งขันในเรื่องราคาได้ นอกจากนี้ เกษตรกรยังประสบปัญหาหอมหัวใหญ่ล้นตลาด (Bureau of Agricultural Commodities Promotion and Management, 2021) ดังนั้น รัฐบาลโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จึงมีการควบคุมการผลิตและการตลาดหอมหัวใหญ่ ภายใต้ความตกลงขององค์การการค้าโลก (WTO) ปี พ.ศ. 2564 - 2566 โดยมีการส่งเสริมให้ใช้กระบวนการสหกรณ์ในการบริหารจัดการการผลิตและการตลาดอย่างครบวงจร เพื่อรักษาเสถียรภาพราคาหอมหัวใหญ่ในประเทศ ตั้งแต่

การจัดหาเมล็ดพันธุ์ให้แก่เกษตรกรสมาชิก รวมไปถึง
การมีส่วนในการจัดสรรปริมาณนำเข้าหอมหัวใหญ่
แห้งแบบผงและแบบไม่เป็นผงให้แก่ผู้ประสงค์นำเข้า
เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ประเทศไทยยังไม่สามารถผลิต
เองได้ (Department of Foreign Trade, 2021)

จังหวัดเชียงใหม่เป็นจังหวัดที่มีการปลูก
หอมหัวใหญ่และมีปริมาณผลผลิตมากที่สุดใน
ประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2564 มีพื้นที่เพาะปลูก
จำนวน 6,489 ไร่ และสามารถผลิตหอมหัวใหญ่ได้
จำนวน 25,978 ตัน เมื่อพิจารณาถึงแหล่งเพาะปลูก
ที่สำคัญพบว่า อยู่ในอำเภอฝาง แม่วาว สันป่าตอง
พร้าว แม่ริม และเวียงแหง (Office of Agricultural
Economics, 2021b) โดยมีการจัดตั้งสหกรณ์ผู้ปลูก
หอมหัวใหญ่ขึ้นจำนวน 4 แห่ง คือ สหกรณ์ผู้ปลูก
หอมหัวใหญ่ฝาง จำกัด สหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่
แม่วาว จำกัด สหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่พร้าว จำกัด
และสหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่บ้านกาดพัฒนา
จำกัด ซึ่งการจัดตั้งสหกรณ์ดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อ
รองรับผลผลิตและให้บริการแก่เกษตรกรผู้ปลูก
หอมหัวใหญ่ในด้านต่าง ๆ (Tulathammakul, 2000)
ถึงกระนั้นก็ตามในแต่ละปีเกษตรกรผู้ปลูกหอมหัว-
ใหญ่ยังคงประสบปัญหาผลผลิตล้นตลาดจากผลผลิต
ที่ออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมาก ยังผลให้หอมหัวใหญ่มี
ราคาลดลง

อำเภอฝางเป็นแหล่งปลูกหอมหัวใหญ่ที่สำคัญ
ของจังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากมีสภาพภูมิอากาศที่
เหมาะสมและมีแหล่งน้ำที่อุดมสมบูรณ์ สหกรณ์
ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่ฝาง จำกัด เป็นสหกรณ์ผู้ปลูก
หอมหัวใหญ่แห่งแรกและมีจำนวนสมาชิกมากที่สุดใน
จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีสมาชิกจำนวน 2,359 ราย
และมีพื้นที่เพาะปลูกจำนวน 3,560 ไร่ (Cooperative
Promotion Department, 2021) แม้ว่าเกษตรกรเข้า
ร่วมเป็นสมาชิกของสหกรณ์ฯ แต่ก็ยังประสบปัญหา
ผลผลิตหอมหัวใหญ่ล้นตลาด และปัญหาราคาผลผลิต
ตกต่ำตามมา ดังนั้นการแก้ไขปัญหาอาจเริ่มต้นที่การ
ได้รับทราบเกี่ยวกับวิธีการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่
ของเกษตรกร ทั้งในด้านการวางแผนการผลิต และ
การจัดการด้านการผลิต ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจ

ศึกษาการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ของเกษตรกร
ที่เป็นสมาชิกสหกรณ์หอมหัวใหญ่ฝาง จำกัด ซึ่งการทำ
ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่
ของเกษตรกรจะทำให้ทราบถึงลักษณะการผลิต และ
การวางแผนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การผลิต และ
การตลาด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
ในการหาแนวทางบรรเทาปัญหาผลผลิตหอมหัวใหญ่
ล้นตลาด และปัญหาราคาผลผลิตตกต่ำต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ
เกษตรกรที่เป็นสมาชิกสหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่
ฝาง จำกัด อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 2,359
ราย (Cooperative Promotion Department, 2021) การ-
วิจัยครั้งนี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม
ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 ผู้วิจัยได้กำหนดขนาด
ของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของ Yamane (1973)
ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ที่ระดับ 0.07 เนื่องจาก
สมาชิกสหกรณ์ฯ เป็นเกษตรกรที่มีลักษณะพื้นฐานทาง
เศรษฐกิจและสังคมที่ใกล้เคียงกัน ได้จำนวนตัวอย่าง
188 ราย และใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (simple
random sampling) โดยการจับสลาก

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล คือ แบบ
สัมภาษณ์ ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ 1)
ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล 2) การจัดการการผลิต
หอมหัวใหญ่ 3) ความรู้ในการจัดการการผลิต
หอมหัวใหญ่ และ 4) ปัญหาอุปสรรคในการจัดการ
การผลิตหอมหัวใหญ่ โดยในส่วนของจัดการ
การผลิตหอมหัวใหญ่ประกอบด้วย คำถามเกี่ยวกับ
สภาพการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ของเกษตรกร
จากวิธีปฏิบัติทั้งหมด 30 ข้อ ผู้วิจัยกำหนดระดับการ
ปฏิบัติ 4 ระดับ คือ ปฏิบัติเป็นประจำ = 3 คะแนน
ปฏิบัติบ่อยครั้ง = 2 คะแนน ปฏิบัตินาน ๆ ครั้ง = 1
คะแนน และไม่เคยปฏิบัติ = 0 คะแนน แล้วนำค่าคะแนน

ที่ได้มาแบ่งระดับการปฏิบัติออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ไม่มีการจัดการ (ค่าเฉลี่ย 0.00 - 0.75 คะแนน) มีการจัดการน้อย (ค่าเฉลี่ย 0.76 - 1.50 คะแนน) มีการจัดการปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 1.51 - 2.25) คะแนน และมีการจัดการมาก (ค่าเฉลี่ย 2.26 - 3.00 คะแนน) คำถามส่วนนี้มีการตรวจสอบคุณภาพด้านความเชื่อถือได้ (Reliability) และมีค่า Cronbach's alpha coefficient เท่ากับ 0.739 และในส่วนของการความรู้ในการผลิตหอมหัวใหญ่ ประกอบด้วยคำถามจำนวน 28 ข้อ แต่ละข้อให้เลือกคำตอบถูกหรือผิด คำตอบที่ถูกต้องได้ 1 คะแนน คำตอบที่ไม่ถูกต้องได้ 0 คะแนน จากนั้นนำคะแนนที่ได้มาแบ่งระดับความรู้ออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ มีความรู้เล็กน้อย (คะแนน 0.00 - 9.33 คะแนน) มีความรู้ปานกลาง (คะแนน 9.34 - 18.66 คะแนน) และมีความรู้มาก (คะแนน 18.67 - 28.00 คะแนน) คำถามส่วนนี้มีการตรวจสอบคุณภาพด้านความเชื่อถือได้ (Reliability) และมีค่า Kuder-Richardson coefficient (KR-20) เท่ากับ 0.702 (Vanichbuncha and Vanichbuncha, 2018)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) เพื่ออธิบายข้อมูลลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคม ได้แก่ ค่าร้อยละ (percentage) ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และใช้สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) วิเคราะห์การถดถอยพหุ (Multiple Regression Analysis) เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ของเกษตรกร โดยได้กำหนดแบบจำลองปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ของเกษตรกรในอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ดังนี้

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + b_7x_7 + b_8x_8 + b_9x_9 + b_{10}x_{10} + b_{11}x_{11} + b_{12}x_{12} + b_{13}x_{13} + b_{14}x_{14}$$

เมื่อ Y = Onion production management (score)

a = Constant

b_{1-14} = The correlation coefficient of the independent variables 1 to 14

x_1 = Gender (1 = male, 0 = female)

x_2 = Age (year)

x_3 = Education (year)

x_4 = Experience in onion production (year)

x_5 = Agricultural laborers (number)

x_6 = Onion income (baht/year)

x_7 = Planting area (rai)

x_8 = Finance (0 = personal funds, 1 = personal funds and loan)

x_9 = Market (number)

x_{10} = Sources of news and information (number)

x_{11} = Training (times/year)

x_{12} = Contact with officer about onion (times/year)

x_{13} = Group membership (number)

x_{14} = Knowledge of onion production (score)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล เศรษฐกิจ และสังคมของเกษตรกรผู้ปลูกหอมหัวใหญ่

ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรประมาณ 2 ใน 3 เป็นเพศชาย (ร้อยละ 65.40) มีอายุเฉลี่ย 53.09 ปี และจบการศึกษาในระดับประถมศึกษา เกษตรกรเหล่านี้มีประสบการณ์ในการปลูกหอมหัวใหญ่เฉลี่ย 19.96 ปี และมีสมาชิกในครัวเรือนที่เป็นแรงงานเกษตรจำนวน 2 คน ในปี พ.ศ. 2564 เกษตรกรมีรายได้จากการปลูกหอมหัวใหญ่เฉลี่ย 99,930.85 บาทต่อปี และมีพื้นที่ปลูกหอมหัวใหญ่เฉลี่ย 5.36 ไร่ เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ทั้งเงินทุนของตนเองและจากการกู้ยืมเงินเพื่อการผลิตหอมหัวใหญ่ โดยเกษตรกรเกินกว่าร้อยละ 50 มีแหล่งจำหน่ายหอมหัวใหญ่เพียงแหล่งเดียว ในส่วนของการรับข้อมูลข่าวสารพบว่า เกษตรกรได้รับข้อมูลข่าวสารทางการเกษตรโดยเฉลี่ยจาก 2 ช่องทาง ซึ่งช่องทางที่เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ เช่น เจ้าหน้าที่สหกรณ์ผู้ผลิต

หอมหัวใหญ่ฝาง และผู้นำชุมชน เป็นต้น ในปี พ.ศ. 2564 เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ได้รับการอบรม (ร้อยละ 67.60) และการติดต่อกับเจ้าหน้าที่เพื่อขอความช่วยเหลือในด้านการผลิตหอมหัวใหญ่ (ร้อยละ 67.00) นอกจากนี้พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ได้เป็นสมาชิกกลุ่มอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากสหกรณ์ผู้ผลิตหอมหัวใหญ่ฯ และมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการผลิตหอมหัวใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง (Table 1)

การจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ของเกษตรกร

การจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ของเกษตรกรพิจารณาจากการจัดการการผลิตในภาพรวม ประกอบไปด้วย การวางแผนการผลิต การผลิต และการตลาด รวมถึงความรู้เกี่ยวกับการผลิตหอมหัวใหญ่ ทั้งนี้ ในส่วนของการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ในภาพรวมซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการปฏิบัติของเกษตรกรพบว่า เกษตรกรมีการจัดการในระดับปานกลาง ($\bar{X}$ =

1.97, SD = 0.40) เมื่อพิจารณาในด้านของการจัดการการผลิต พบว่า ด้านการวางแผนอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}$ = 2.03, SD = 0.48) ด้านการผลิตอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}$ = 2.09, SD = 0.42) และด้านการตลาดอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}$ = 1.78, SD = 0.55) (Table 2)

ในส่วนของการรู้เกี่ยวกับผลิตหอมหัวใหญ่ เกษตรกรส่วนใหญ่ (ร้อยละ 72.30) มีความรู้ความเข้าใจในระดับปานกลาง (คะแนนเฉลี่ย 16.04 จากคะแนนเต็ม 28 คะแนน) ทั้งนี้อาจสืบเนื่องมาจากการรับทราบข้อมูลในด้านดังกล่าวยังมีค่อนข้างจำกัด เกษตรกรมีแหล่งข้อมูลที่ไม่หลากหลาย โดยเฉลี่ยประมาณ 2 แหล่ง ($\bar{X}$ = 2.27, SD = 1.23) นอกจากนี้เกษตรกรยังเข้ารับการอบรมหรือติดต่อกับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหอมหัวใหญ่ไม่ถึงหนึ่งครั้ง/ปี (Table 1) อย่างไรก็ตาม เกษตรกรสามารถเข้าถึงสื่ออื่น ๆ เช่น สื่อออนไลน์และสื่อสิ่งพิมพ์ ทำให้เข้าถึงข้อมูลข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหอมหัวใหญ่ จึงยังทำให้เกษตรกร

Table 1. Personal, economic and social characteristics of the onion farmers in Fang district, Chiang Mai province

Characteristics	%	$\bar{X}$	SD
1. Gender			
female	34.60		
male	65.40		
2. Age (year)		53.09	9.90
3. Education (year)		5.96	3.86
4. Experience in onion production (year)		19.96	9.50
5. Agricultural labors (number)		2.06	0.92
6. Onion income (baht/year)		99930.85	96570.00
7. Planting area (rai)		5.36	3.61
8. Finance			
personal funds	9.60		
personal funds and loan	90.40		
9. Market (number)		1.38	0.55
10. Sources of news and information (number)		2.27	1.23
11. Training (times/year)		0.40	0.64
12. Contact with officer about onion (times/year)		0.39	0.61
13. Group membership (number)		0.13	0.40
14. Knowledge of onion production (score)		16.04	3.71

ยังพอมีความรู้ในด้านดังกล่าว ทั้งนี้ ประเด็นความรู้ความเข้าใจที่เกษตรกรจำนวนมากตอบผิด 5 อันดับแรก ได้แก่ 1) การระบาดของหนอนกระทู้หอม 2) การระบาดของโรคราดำในหอมหัวใหญ่ 3) การย้ายกล้าปลูก 4) การลดความเป็นด่างของดินในแปลงเพาะปลูก และ 5) การเก็บรักษาหอมหัวใหญ่ในโรงเรือน สาเหตุที่เกษตรกรยังคงมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในประเด็นความรู้เหล่านี้ อาจสืบเนื่องมาจากการที่เกษตรกรส่วนใหญ่เข้ารับการอบรมและติดต่อเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหอมหัวใหญ่อย่างจำกัด ทั้งนี้ การอบรมหรือการติดต่อเจ้าหน้าที่เป็นช่องทางที่เกษตรกรสามารถสอบถาม รวมทั้งขอคำอธิบายในประเด็นต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกษตรกรเกิดความเข้าใจได้ ดีกว่าการศึกษาข้อมูลด้วยตัวเอง (Footan *et al*, 2017)

ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่

จากการวิเคราะห์ถดถอยพหุเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ของเกษตรกรที่เป็นสมาชิกสหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่ผาง จำกัด พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (multiple coefficient of determination, R^2) มีค่าเท่ากับ 0.196 หมายความว่า ตัวแปรอิสระทั้งหมดร่วมกันอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้ร้อยละ 19.60 ซึ่งตัวแปรอิสระทั้ง 14 ตัวแปรนั้น มีจำนวน 2 ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 0.05 ตามลำดับ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการผลิตหอมหัวใหญ่ (Sig. = 0.000) และพื้นที่ที่ใช้ปลูกหอมหัวใหญ่ (Sig. = 0.032) (Table 3)

Table 2. Management of onion production

Management of onion production	$\bar{X}$	SD	Level
Planning	2.03	0.48	medium
Production	2.09	0.42	medium
Marketing	1.78	0.55	medium
Total	1.97	0.40	medium

Table 3. Regression coefficient of independent variables related to the onion management

Variables	Unstandardized coefficients: B	t	Sig.
Constant	45.846	6.023	0.000
1. Gender	0.042	0.024	0.981
2. Age	-0.069	-0.607	0.545
3. Education	0.036	0.149	0.882
4. Experience in onion production	0.059	0.539	0.590
5. Agricultural labors	-0.774	-0.775	0.439
6. Onion income	-1.345E-05	-0.898	0.371
7. Planting area	0.855	2.162	0.032*
8. Finances	-0.685	-0.233	0.816
9. Market	-1.790	-1.043	0.298
10. News and information	-1.357	-1.741	0.083
11. Training	-0.344	-0.232	0.816
12. Contact with officer about onion	-0.460	-0.297	0.767
13. Group membership	0.753	0.346	0.730
14. Knowledge of onion production	1.254	5.193	0.000**
R = 0.442	R ² = 0.196	SEE = 11.220	F = 3.007
sig. of F = 0.000			

* significantly different at $P < 0.05$; ** significantly different at $P < 0.01$

จาก Table 3 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยในการจัดการการผลิตได้ว่า เกษตรกรที่มีพื้นที่ในการเพาะปลูกหอมหัวใหญ่มากและมีความรู้เกี่ยวกับการผลิตหอมหัวใหญ่มาก มีการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ได้ดีกว่าเกษตรกรที่มีพื้นที่ในการเพาะปลูกน้อยและมีความรู้เกี่ยวกับการผลิตน้อยกว่า สอดคล้องกับ Meena *et al.* (2016) ที่อธิบายว่าในฟาร์มขนาดใหญ่มีผลผลิตและรายได้มากกว่าฟาร์มขนาดกลางและขนาดเล็ก ตามลำดับ เนื่องจากมีการจัดการการผลิตได้ดีและสามารถผลิตหอมหัวใหญ่ได้มากกว่าฟาร์มขนาดเล็ก ทั้งนี้ ฟาร์มขนาดใหญ่ยังมีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตน้อยกว่าฟาร์มขนาดกลางและฟาร์มขนาดเล็ก อีกประการหนึ่ง คือ เกษตรกรที่มีความรู้ความเข้าใจในการผลิตหอมหัวใหญ่มาก มีแนวโน้มในการจัดการการผลิตได้ดีกว่าเกษตรกรที่มีลักษณะตรงข้าม ซึ่งสอดคล้องกับ (Mamiro *et al.*, 2014) ที่กล่าวไว้ว่าเกษตรกรผู้ปลูกหอมหัวใหญ่ที่มีความรู้และสามารถใช้การจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน ทำให้เกษตรกรมีการจัดการศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันการเข้าทำลายของศัตรูพืชในหอมหัวใหญ่ และยังทำให้ผลผลิตของเกษตรกรสูงขึ้น

ในส่วนของปัญหาและข้อเสนอแนะในการจัดการการผลิตของเกษตรกรผู้ปลูกหอมหัวใหญ่ในอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ปัญหาที่เกษตรกรพบมากใกล้เคียงกัน คือ ปัญหาด้านการตลาด (ร้อยละ 25.53) และปัญหาด้านการผลิต (ร้อยละ 25.00) สำหรับปัญหาด้านการตลาด เกษตรกรประสบกับปัญหาราคาหอมหัวใหญ่ตกต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงของราคาอย่างรวดเร็ว ทำให้เกษตรกรปรับตัวและวางแผนการตลาดไม่ทัน รวมทั้งมีจำนวนพ่อค้าคนกลางเข้ามารับซื้อผลผลิตน้อยราย ทำให้พ่อค้าคนกลางที่มีอยู่สามารถกดราคาให้ลดต่ำลง และในบางครั้งการไม่มีตลาดรองรับผลผลิตหอมหัวใหญ่ที่แน่นอน ทำให้เกษตรกรจำเป็นต้องจำหน่ายผลผลิตในราคาถูก กรณีของปัญหาการผลิต เกษตรกรประสบกับสภาพอากาศที่แปรปรวน โดยบางปีมีฝนตกนานกว่าปกติทำให้เกิดโรคอีกทั้งจำนวนผลผลิตหอมหัวใหญ่ไม่

เป็นไปตามที่ต้องการ กล่าวคือ ได้ผลผลิตน้อยและผลผลิตบางส่วนเกิดความเสียหาย ปัญหารองลงมาของเกษตรกร คือ ปัญหาด้านเงินทุน (ร้อยละ 19.68) เนื่องจากปัจจัยการผลิต (เช่น ปุ๋ย และสารเคมี) มีราคาแพงขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรมีต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้น ดังนั้น เกษตรกรส่วนใหญ่จึงมีการกู้ยืมเงินเพื่อมาลงทุนในการผลิตหอมหัวใหญ่ เมื่อเกษตรกรจำหน่ายผลผลิตหอมหัวใหญ่ได้ในราคาที่ต่ำ ทำให้เกิดการขาดทุน และขาดเงินทุนหมุนเวียน จึงจำเป็นต้องกู้ยืมเงินเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้เกษตรกรยังประสบปัญหาค่าแรงที่สูงขึ้น (ร้อยละ 5.32) ทั้งนี้ เกษตรกรมีความต้องการให้หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องเข้ามาช่วยเหลือเมื่อมีสถานการณ์ที่ไม่ปกติเกิดขึ้น อาทิ การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) และการช่วยพยุงราคาหอมหัวใหญ่ให้เหมาะสมกับต้นทุน นอกจากนี้เกษตรกรยังเสนอแนะให้หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องเข้ามาดูแลเกษตรกรในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวหอมหัวใหญ่ เพื่อป้องกันการเอารัดเอาเปรียบจากพ่อค้าคนกลาง และควรมีการวิจัยพันธุ์หอมหัวใหญ่ที่เหมาะสมกับสภาพอากาศในประเทศไทย รวมทั้งการจำกัดการนำเข้าหอมหัวใหญ่จากต่างประเทศ

สรุป

จากการศึกษาเรื่องการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ยที่ 53.09 ปี และมีการศึกษาอยู่ในระดับประถมศึกษา เกษตรกรมีประสบการณ์ในการปลูกหอมหัวใหญ่เฉลี่ย 19.96 ปี และมีพื้นที่ปลูกหอมหัวใหญ่เฉลี่ย 5.36 ไร่ เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้เงินทุนของตนเองและการกู้ยืมเงินเพื่อการผลิตหอมหัวใหญ่ ทั้งนี้เกษตรกรเกินครึ่งมีแหล่งจำหน่ายหอมหัวใหญ่เพียงแหล่งเดียวและได้รับข้อมูลข่าวสารทางการเกษตรโดยเฉลี่ยจำนวน 2 ช่องทาง (เช่น เจ้าหน้าที่สหกรณ์ผู้ผลิตหอมหัวใหญ่ฝางและผู้นำชุมชน) โดยในปี พ.ศ. 2564 เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ได้รับการอบรมและติดต่อกับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเพื่อขอความช่วยเหลือในด้านการผลิตหอมหัวใหญ่ นอกจากนี้เกษตรกรส่วน

ใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับการผลิตหอมหัวใหญ่ในระดับปานกลาง อย่างไรก็ตามพบว่า เกษตรกรมีความรู้ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องในหลายประเด็น เช่น การย้ายกล้าปลูก การระบาดของโรคและแมลง และการจัดการดินในแปลงเพาะปลูก เป็นต้น ในส่วนของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ พบว่าความรู้ในการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ และพื้นที่ที่ใช้ปลูกหอมหัวใหญ่ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และระดับ 0.05 ตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้ว่าเกษตรกรที่มีความรู้เกี่ยวกับการผลิตหอมหัวใหญ่มากกว่า และมีพื้นที่ในการเพาะปลูกหอมหัวใหญ่ขนาดใหญ่กว่า มีการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ได้ดีกว่าเกษตรกรที่มีความรู้เกี่ยวกับการผลิตน้อยกว่า และมีพื้นที่ในการเพาะปลูกขนาดเล็กกว่า โดยปัญหาสำคัญของเกษตรกรในการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ คือ ปัญหาด้านการตลาด โดยเฉพาะปัญหาราคาหอมหัวใหญ่ตกต่ำเนื่องจากตลาดมีการเปลี่ยนแปลงของราคาอย่างรวดเร็ว ทำให้เกษตรกรปรับตัวและวางแผนการตลาดไม่ทัน นอกจากนี้พ่อค้าคนกลางที่เข้ามารับซื้อผลผลิตมีจำนวนน้อย ทำให้ที่มีอยู่สามารถดราค่าผลผลิตของเกษตรกรได้ ปัญหาด้านการผลิตหอมหัวใหญ่ที่สืบเนื่องมาจากสภาพอากาศที่แปรปรวน ทำให้หอมหัวใหญ่เกิดโรค ส่งผลให้ผลผลิตหอมหัวใหญ่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ และปัญหาด้านเงินทุน เนื่องจากต้นทุนในการผลิตหอมหัวใหญ่ที่สูงขึ้น ทำให้เกษตรกรต้องมีการกู้ยืมเงินเพื่อมาลงทุนในการผลิตหอมหัวใหญ่ และเมื่อผลิตหอมหัวใหญ่มีราคาตกต่ำทำให้เกิดการขาดทุนและจำเป็นต้องกู้ยืมเงินเพิ่มมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1) จากการศึกษาพบว่า เกษตรกรที่มีความรู้เกี่ยวกับการผลิตหอมหัวใหญ่มาก มีแนวโน้มในการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ที่ดีมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องควรมีการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับการผลิตหอมหัวใหญ่ให้กับเกษตรกรอย่างต่อเนื่อง โดยเน้นวิธีการปฏิบัติในการผลิต

หอมหัวใหญ่ที่ถูกต้อง เช่น การอบรมเชิงปฏิบัติการการผลิตหอมหัวใหญ่ นอกจากนี้ หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องควรเผยแพร่ความรู้และพัฒนาทักษะการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ให้กับเกษตรกร ทั้งในด้านการวางแผนการผลิตและการตลาด เพื่อให้เกษตรกรสามารถวางแผนการผลิต และรับมือกับความผันผวนของตลาดหอมหัวใหญ่ได้ดียิ่งขึ้น

2) จากผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรแทบไม่มีการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง หรือเข้ารับการอบรมเกี่ยวกับการผลิตหอมหัวใหญ่ ในขณะเดียวกันเกษตรกรก็มีแหล่งข้อมูลทางการเกษตรเพียงเล็กน้อย ดังนั้นนอกเหนือจากการเผยแพร่ความรู้ทั้งด้านการผลิต และการจัดการการผลิตหอมหัวใหญ่ ดังกล่าวข้างต้น หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องควรส่งเจ้าหน้าที่เข้าไปพบปะเยี่ยมเยียนเกษตรกร หรือสร้างช่องทางการติดต่อสื่อสารกับเกษตรกร เช่น การเข้าไปเยี่ยมเยียนในชุมชนเป็นประจำ หรือการสร้างช่องทางการติดต่อสื่อสารโดยอาศัยสื่อสังคมออนไลน์ อาทิ ไลน์ (LINE) หรือเฟซบุ๊ก (Facebook) เป็นต้น เพื่อให้เกษตรกรสามารถสอบถามหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตหอมหัวใหญ่ได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง

3) ข้อมูลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า เกษตรกรจำนวนมากจำหน่ายผลผลิตหอมหัวใหญ่ผ่านพ่อค้าคนกลางเพียงช่องทางเดียว ทำให้ถูกกดราคาได้ง่าย ดังนั้นสหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่ต่าง จำกัด ควรเข้าไปให้ความช่วยเหลือในด้านการรวบรวมหอมหัวใหญ่จากเกษตรกรที่เป็นสมาชิก เพื่อให้มีอำนาจในการต่อรองกับพ่อค้าคนกลาง แทนการทำหน้าที่เป็นเพียงตัวกลางในการจำหน่ายหอมหัวใหญ่เช่นในปัจจุบัน นอกจากนี้สหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่ฯ ยังควรทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการจำหน่ายหอมหัวใหญ่ที่รวบรวมได้ให้กับภาคธุรกิจที่ต้องการโดยตรง เพื่อลดบทบาทของพ่อค้าคนกลาง และเพิ่มช่องทางการจำหน่ายให้กับสมาชิก ในส่วนของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ สำนักงานส่งเสริมเกษตรจังหวัดเชียงใหม่ และสำนักงานพาณิชย์จังหวัดเชียงใหม่ ควรมีการเพิ่มความรู้และทักษะทางการตลาดให้แก่เกษตรกร เพื่อให้เกษตรกรทราบถึงกลไกการตลาด และสามารถเพิ่มช่องทางในการจำหน่ายผลผลิตได้มากขึ้น

4) สหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัวใหญ่ฝาง จำกัด ควรให้การสนับสนุนด้านปัจจัยการผลิตให้กับเกษตรกร เพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนในการผลิต หอมหัวใหญ่ เช่น การจัดหาปัจจัยการผลิต (อาทิ ปุ๋ย และสารเคมี) มาจำหน่ายให้กับเกษตรกรในราคาทุน แทนการจำหน่ายในราคาเท่ากับท้องตลาดเช่นในปัจจุบัน หรือการส่งเสริมการรวมกลุ่มของสมาชิกเพื่อ จัดหาปัจจัยการผลิต ซึ่งอาจช่วยให้ได้ปัจจัยการผลิต ที่ราคาถูกลงเมื่อเทียบกับการที่สมาชิกซื้อปัจจัยการ- ผลิตด้วยตนเอง นอกจากนี้สหกรณ์ผู้ปลูกหอมหัว- ใหญ่ฯ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรให้ความรู้เกี่ยวกับการ ใช้ปัจจัยการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลด ปริมาณการใช้ปัจจัยการผลิตลง

เอกสารอ้างอิง

- Bureau of Agricultural Commodities Promotion and Management. 2021. Onion. (Online). Available: <http://www.agriman.doe.go.th/home/news/2565/21onion.pdf> (May 2, 2022). (in Thai)
- Cooperative Promotion Department. 2021. Report cooperative profile. (Online). Available: https://app1.cpd.go.th/profile/report_con_s tep2.asp (May 3, 2022). (in Thai)
- Department of Foreign Trade. 2021. The results of the allocation of import-export volumes of agricultural products. (Online). Available: <https://www.dft.go.th/th-th/Information/show -import-export-volume/ArticleId/20883/20883> (May 2, 2022). (in Thai)
- Extension and Training Office. 2022. Onion. (Online). Available: http://eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/herb_gar/hom_hua.pdf (May 2, 2022). (in Thai)
- Footan, C., S. Sreshthaputra, W. Intrauccomporn and T. Pankasemsuk. 2017. Factors affecting farmers' adoption in good agricultural practices for safe vegetable production in Mae Tha Nuea Royal Project Development Center, Chiang Mai province. Journal of Agriculture 33(3): 397- 404. (in Thai)
- Mamiro, D.P., A.P. Maerere, K.P. Sibuga, M.J. Ebaugh, S.A. Miller, H.D. Mtui, E. Mgembe, C.P. Msuya-Bengesig and A. Aloyce. 2014. Local community's knowledge on onion production, pests and pests management in Kilosa and Kilolo districts, Tanzania. Tanzania Journal of Agricultural Sciences 13(2): 18-26.
- Meena, S., I.P. Singh and R.L. Meena. 2016. Cost of cultivation and returns on different cost concepts basis of onion in Rajasthan. Economic Affairs 61(1): 11-16.
- Office of Agricultural Economics. 2021a. Onion. (Online). Available: <http://mis-app.oae.go.th/product/onion> (May 30, 2022). (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. 2021b. The table shows the details of the onion. (Online). Available: https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/1_Onion%2 064%20dit.pdf (May 5, 2022). (in Thai)
- Tulathammakul, F. 2000. Market intervention of agricultural commodity: A case study of onion in Chiang Mai province. M. Econ. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 123 p. (in Thai)
- Vanichbuncha, K. and T. Vanichbuncha. 2018. SPSS for Windows. 31th ed. Samlada Printing, Bangkok. 531 p.
- Yamane, T. 1973. Statistics: An Introductory Analysis. 3rd ed. Harper and Row, New York. 1130 p.

การศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคดและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการเพื่อการจำแนกชนิดที่เชื่อถือได้ของแมลงวันหนอนชอนใบ (Diptera: Agromyzidae) ในประเทศไทย

DNA Barcodes and Phylogenetic Study for Reliable Identification of Leafminers (Diptera: Agromyzidae) in Thailand

ยุวรินทร์ บุญทบ^{1*}, สุนัดดา เชาวลิต¹, ชมัยพร บัวมาศ¹
เกศสุดา สนศิริ¹ และ เฉลิมวุธ สมปาก²
Yuvarin Boontop^{1*}, Sunadda Chaovalit¹, Chamaiporn Buamas¹
Kessuda Sonsiri and Chalermwoot Somapark²

¹สำนักงานวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok 19000, Thailand

²กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

²Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: Email: Yuvarin9320@gmail.com

Abstract: Agromyzid leafminers comprise a pest group that causes considerable economic losses to vegetable crops and poses serious quarantine challenges. In this study, the fragment of the cytochrome c oxidase subunit 1 gene (Cox1) of the mitochondrial genome was sequenced to assist in the species identification of Agromyzidae which are pestiferous in Thailand. Sequences of leafminers collected in the country were analyzed using a "barcode" region and identified using standard nucleotide BLAST from GenBank database. Five species of *Liriomyza* sp. were identified and sequences of 20 samples for each species were deposited in GenBank: *Liriomyza brassicae* Riley, 1884; *Liriomyza chinensis* Kato, 1949; *Liriomyza huidobrensis* Blanchard, 1926; *Liriomyza sativae* Blanchard, 1938; and *Liriomyza trifolii* Burgess, 1880. A molecular phylogeny of these five species of leafminer was generated using the sequences of Cox1 gene. Bayesian and Maximum Likelihood analyses were used to investigate patterns of clustering. Analyses gave consistent results. The phylogeny showed that the *L. chinensis* clade is also separated from the other leafminers, and it is closely related to *L. chinensis* haplotype A from Japan. The phylogeny showed that the *L. sativae* clade is more closely related to *L. trifolii*. This study provided basic information on the number of species and DNA data of *Liriomyza* in Thailand. Cox1 sequences were demonstrated as an effective tool for identifying leafminer species.

Keywords: Leaf miner flies, identification, DNA barcoding, phylogenetics

บทคัดย่อ: แมลงวันหนอนขนใบวงศ์ Agromyzidae จัดได้ว่าเป็นกลุ่มศัตรูพืชที่ก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจต่อพืชผักและความทำลายที่สำคัญยิ่งต่องานด้านการกักกันพืช การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ดีเอ็นเอบาร์โค้ดจากส่วนของยีน cytochrome c oxidase subunit 1 mitochondrial gene (Cox1) มาช่วยในการจำแนกชนิดแมลงวันหนอนขนใบวงศ์ Agromyzidae ซึ่งเป็นศัตรูพืชผักที่สำคัญในประเทศไทย ลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันหนอนขนใบได้ถูกรวบรวมภายในประเทศและนำไปวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นดีเอ็นเอบาร์โค้ดในการจำแนกชนิดแมลงวันหนอนขนใบกับลำดับนิวคลีโอไทด์มาตรฐานในฐานข้อมูล GenBank ผลการทดลองพบว่า แมลงวันหนอนขนใบ *Liriomyza* sp. จำนวน 5 ชนิด จากลำดับนิวคลีโอไทด์ 20 ตัวอย่าง ถูกระบุและบันทึกไว้ในฐานข้อมูล GenBank ว่าเป็นชนิดพันธุ์ *Liriomyza brassicae* Riley, 1884; *Liriomyza chinensis* Kato, 1949; *Liriomyza huidobrensis* Blanchard, 1926; *Liriomyza sativae* Blanchard, 1938 และ *Liriomyza trifolii* Burgess, 1880 การศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการ จากลำดับนิวคลีโอไทด์ของตำแหน่งยีน Cox1 จากแมลงวันหนอนขนใบจำนวน 5 ชนิด มาวิเคราะห์ด้วย Maximum likelihood และ Bayesian analysis พบว่า แผนภูมิความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการจากทั้งสองวิธีการมีผลที่สอดคล้องกันยีน Cox1 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการใช้จำแนกชนิดแมลงวันหนอนขนใบ โดยความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการแสดงให้เห็นว่าแมลงวันหนอนขนใบ *L. chinensis* นั้น มีความแตกต่างกับแมลงวันหนอนขนใบชนิดอื่นๆ และยังพบว่า แมลงวันหนอนขนใบ *L. chinensis* ที่พบในประเทศไทยนั้นมีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมกับชนิดพันธุ์ haplotype A ที่พบในประเทศญี่ปุ่น และแผนภูมิวิวัฒนาการยังแสดงให้เห็นว่า แมลงวันหนอนขนใบ *L. sativae* นั้นมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับแมลงวันหนอนขนใบ *L. trifolii* มากกว่าแมลงวันหนอนขนใบชนิดอื่น ๆ การศึกษานี้ให้ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับจำนวนชนิดของแมลงวันหนอนขนใบสกุล *Liriomyza* ในประเทศไทย และลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน Cox1 ได้รับการพิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพในการระบุชนิดของแมลงวันหนอนขนใบ

คำสำคัญ: แมลงวันหนอนขนใบ การจำแนกชนิด ดีเอ็นเอบาร์โค้ด ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการ

คำนำ

จากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและสภาพแวดล้อมในปัจจุบันส่งผลต่อการอุบัติใหม่ (emerging species) และการรุกราน (invasive species) ของศัตรูพืชเพิ่มขึ้นหลากหลายชนิด และในหลาย ๆ ประเทศพบการเปลี่ยนแปลงจากศัตรูพืชรอง (minor pest) สามารถเข้าทำลายพืช ผัก และผลผลิตทางการเกษตรมากขึ้นจนกลายมาเป็นศัตรูพืชหลัก (major pest) แมลงวันหนอนขนใบ (leafminers) เป็นศัตรูพืชชนิดหนึ่ง โดยในระยะตัวอ่อนจะเข้าทำลายและกัดกินใบพืชบริเวณชั้นบนและล่างของเนื้อเยื่อเมโซฟิลล์ (mesophyll tissue) จึงถูกเรียกว่า “หนอน-ขนใบ” (Spencer and Steyskal, 1986; Parrella, 1987;) แมลงวันหนอนขนใบจึงนับได้ว่าเป็นหนึ่งในศัตรูพืชที่ในปัจจุบันสร้างความเสียหายให้ผลผลิตทางการเกษตรมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืชผักเศรษฐกิจที่มี

ความสำคัญต่อการค้าขายเพื่อส่งออกไปยังต่างประเทศ (Boontop *et al.*, 2022a) ประเทศไทยในฐานะที่มีการส่งออกผักและผลไม้เป็นรายได้หลักที่สำคัญของประเทศ (Center for Information Technology and Communications, 2022) การตรวจพบแมลงวันหนอนขนใบติดไปกับพืชผักที่ต้องการส่งออก ส่งผลให้เกิดการกีดกันทางการค้าตามมาภายหลัง

แมลงวันหนอนขนใบมีความหลากหลายทางพันธุกรรมเกิดเป็นชนิดซับซ้อน (cryptic species) จึงทำให้ยากต่อการจำแนกชนิด โดยในปี ค.ศ. 2021 ประเทศญี่ปุ่นพบแมลงวันหนอนขนใบ *Liriomyza chinensis* แบ่งเป็น 2 haplotypes ได้แก่ haplotype A และ haplotype B ซึ่งมีพฤติกรรมการเข้าทำลายและการก่อให้เกิดความเสียหายที่แตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่า แมลงวันหนอนขนใบ haplotype B ซึ่งเป็นชนิดรุกรานที่ค้นพบใหม่นี้ มีการเข้าทำลายและสร้างความเสียหายในพืชสกุลหอมได้มากกว่า

haplotype A อีกทั้งยังพบว่า ลักษณะการเข้าทำลายจะเป็นลักษณะการเจาะทำลายแบบเป็นเส้นยาวแบบต่อเนื่อง (continuous mine) ซึ่งต่างจากแมลงวันหนอนขนอบ haplotype A ที่สำรวจพบมาก่อนหน้า มีการเข้าทำลายแบบเป็นเส้นยาวแบบไม่ต่อเนื่อง (discontinuous mine) (Tokumaru *et al.*, 2021)

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการแข่งขันการส่งออกและมาตรการทางด้านสุขอนามัยพืชที่เข้มงวดสำหรับการส่งออกผักผลไม้จากประเทศไทยไปสู่ตลาดโลกนั้น การจำแนกศัตรูพืชที่มีโอกาสติดไปกับการส่งออกสินค้าเกษตรที่โดยเฉพาะ “แมลงวันหนอนขนอบ” ซึ่งเป็นศัตรูสำคัญของพืชผักส่งออกให้มีความถูกต้อง มีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับในระดับสากลนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เพราะสามารถนำไปเป็นข้อมูลประกอบบัญชีรายชื่อศัตรูพืช (pest list) เพื่อการส่งออกพืชผักผลไม้ของไทยสู่ตลาดโลกได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การจำแนกชนิดของศัตรูพืชให้ถูกต้องเพื่อใช้เป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์นั้นมีความสำคัญต่องานวิจัยทางชีววิทยาขั้นพื้นฐานและการประยุกต์ต่าง ๆ อีกทั้งในปัจจุบันงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับแมลงวันหนอนขนอบนั้น มีการศึกษาการจำแนกชนิดด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาแบบดั้งเดิม (traditional taxonomy) (Boontop *et al.*, 2022a) และชนิดพืชอาหารนั้น (Boontop *et al.*, 2022b) อาจไม่เพียงพอในการจำแนกศัตรูพืชที่มีลักษณะรูปร่างทางสัณฐานวิทยาใกล้เคียงกันมาก ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่น่าเชื่อถือและมีการยอมรับในระดับสากลมาร่วมในการจัดจำแนกชนิดแมลงวันหนอนขนอบ

การวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการใช้เทคนิคทางชีวโมเลกุลในการศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคด (DNA barcode) เพื่อใช้ในการจำแนกชนิดของแมลงวันหนอนขนอบ และสามารถบอกถึงความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการ (phylogenetic analysis) ของแมลงวันหนอนขนอบเพื่อยืนยันชนิดและความสัมพันธ์ของแมลงวันหนอนขนอบที่พบในประเทศไทย ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้ก่อให้เกิดความน่าเชื่อถือด้านข้อมูลทางวิชาการ และเป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ของแมลงวันหนอนขนอบที่พบในประเทศไทย รวมทั้งสามารถจัดการ

และวางแผนงานในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีโอกาสรุกรานเข้ามาในประเทศไทยในอนาคตได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคด (DNA barcode) ของแมลงวันหนอนขนอบ

1.1 การเก็บรวบรวมตัวอย่างแมลงวันหนอนขนอบ

ตัวอย่างแมลงวันหนอนขนอบตัวเต็มวัยที่ใช้ในการศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคดได้จากตัวอย่างที่เก็บจากพื้นที่การเกษตรทั้ง 6 ภูมิภาคของประเทศไทย (ภาคกลาง ภาคตะวันตก ภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้) (Boontop *et al.*, 2022a) โดยตัวอย่างแมลงวันหนอนขนอบถูกเก็บรักษาไว้ในสารละลายแอลกอฮอล์เข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาตัวอย่างภายใต้อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

1.2 การสกัดดีเอ็นเอ

สกัดดีเอ็นเอตัวอย่างแมลงวันหนอนขนอบที่ทำกรจำแนกด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาแล้วโดยประยุกต์จากวิธีของ Boontop (2016) ร่วมกับคำแนะนำที่แนบมาพร้อมกับชุดสกัดดีเอ็นเอสำเร็จรูป (ISOLATE II Genomic DNA kit; Bioline, Australia) โดยตัดขาทางด้านขวาของแมลงวันหนอนขนอบ จำนวน 3 ข้าง ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติม lysis buffer GL ปริมาตร 180 ไมโครลิตร และเติมสารละลาย proteinase K ปริมาตร 25 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 - 20 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารละลาย lysis buffer G3 ปริมาตร 200 ไมโครลิตร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เขย่าอย่างสม่ำเสมอ และเติมสารละลายแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ ปริมาตร 210 ไมโครลิตร จากนั้นเขย่าให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ดูดสารละลายทั้งหมดใส่ลงในหลอด ISOLATE II Genomic DNA และนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อเก็บตะกอนดีเอ็นเอด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงที่ความเร็ว 11,000 x g ระยะเวลา 1 นาที จากนั้นล้างตะกอน โดยการเติมสารละลาย

wash buffer GW1 ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ทำการปั่นเหวี่ยงอีกครั้งเพื่อเก็บตะกอนดีเอ็นเอโดยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงที่ความเร็ว 11,000 x g ระยะเวลา 1 นาที และทำการล้างตะกอนดีเอ็นเอด้วยสารละลาย wash buffer GW2 ปริมาตร 500 ไมโครลิตร จากนั้นปั่นเหวี่ยงเพื่อเก็บตะกอนดีเอ็นเออีกครั้งด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงที่ 11,000 x g ระยะเวลา 1 นาที ดูดสารละลายของเหลวใสด้านบนทิ้งและเก็บตะกอนดีเอ็นเอด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงที่ความเร็ว 11,000 x g ระยะเวลา 1 นาที ทำการย้ายตะกอนดีเอ็นเอจากหลอด ISOLATE II Genomic DNA tube มาใส่ในหลอดทดลองขนาด 1.5 ไมโครลิตร และละลายดีเอ็นเอโดยเติมสารละลาย elution buffer G ปริมาตร 50 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 5 นาที ปั่นเหวี่ยงครั้งสุดท้ายเพื่อเก็บสารละลายดีเอ็นเอเข้มข้นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงที่ความเร็ว 11,000 x g ระยะเวลา 1 นาที นำสารละลายดีเอ็นเอที่ได้เก็บในตู้เก็บรักษาอุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยปฏิกิริยาถูกโซ่พอลิเมอเรสในวิธีการขั้นต่อไป

1.3 การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป้าหมายด้วยปฏิกิริยาถูกโซ่พอลิเมอเรส

เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของยีน *Cox1* ซึ่งเป็นชิ้นส่วนยีนในตำแหน่งอนุรักษ์ของสิ่งมีชีวิตด้วยปฏิกิริยาถูกโซ่พอลิเมอเรส โดยใช้ไพรเมอร์สากล (universal primer) จากบางส่วนของยีน *Cox1* (partial *Cox1* gene) จำนวน 1 คู่ คือ LCO1490 (GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG) และ HCO2198 (TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA) (Folmer *et al.*, 1994) ปฏิกิริยาถูกโซ่พอลิเมอเรสประกอบด้วยสารละลายดีเอ็นเอต้นแบบ ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ไพรเมอร์ LCO1490 และไพรเมอร์ HCO2198 เข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ ไพรเมอร์ละ 1 ไมโครลิตร สารละลายสำเร็จรูป GoTaq® ปริมาตร 10 ไมโครลิตร และปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นหนึ่งฝาเพื่อให้ครบ 20 ไมโครลิตร จากนั้นนำหลอดตัวอย่างไปเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอต้นแบบในเครื่องเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ (Thermocycle) โดยกำหนดขั้นตอนและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาถูกโซ่พอลิเมอเรส ดังนี้ 1) initial

denaturation ที่ 94 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 นาที
2) denaturation ที่ 94 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วินาที
3) annealing ที่ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วินาที
4) extension ที่ 72 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วินาที (โดยในขั้นตอน 2 - 4 ทำซ้ำจำนวน 35 รอบ) และ 5) final extension ที่ 72 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 5 นาที จำนวน 1 รอบ ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาถูกโซ่พอลิเมอเรสด้วยวิธีเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส (gel electrophoresis) ในอะกาโรสเจลความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ ที่ผสมกับสารถย้อมสีดีเอ็นเอ (RedSafe™ Nucleic Acid Staining Solution) ที่ละลายในสารละลาย 1X TBE buffer จากนั้นทำการแยกชิ้นส่วนดีเอ็นเอพร้อมกับดีเอ็นเอมาตรฐาน 100 base pair DNA Ladder (Invitrogen™ Life Technology, USA) ผ่านสนามไฟฟ้าความต่างศักย์ 100 โวลต์ ระยะเวลา 30 นาที โดยเครื่องอิเล็กโทรโฟรีซิส (electrophoresis) และตรวจสอบแถบดีเอ็นเอภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ทำการบันทึกภาพด้วยเครื่องถ่ายภาพเจลพร้อมโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ซึ่งปรากฏแถบดีเอ็นเอเป้าหมายของยีน *Cox1* ขนาดประมาณ 700 คู่เบส (bp) ทำการตรวจหาลำดับนิวคลีโอไทด์ (DNA sequencing) โดยส่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาถูกโซ่พอลิเมอเรสที่ได้ไปทำให้บริสุทธิ์ และวิเคราะห์หาลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยเครื่อง ABI 3730 x 1 automated sequencer (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA) ABI BigDye terminator chemistry ตามกรรมวิธีของบริษัท MacroGen ประเทศเกาหลีใต้

1.4 การเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน *Cox1* ของแมลงวันหนอนขนใบ

ทำการตรวจสอบลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *Cox1* ของแมลงวันหนอนขนใบจากข้อ 1.3 เพื่อยืนยันความถูกต้อง ด้วยโปรแกรม Bioedit Sequence Alignment Editor Version 7.2.5 (Hall, 1999) และบันทึกข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ในรูปแบบไฟล์ FASTA และเปรียบเทียบกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันหนอนขนใบที่มีรายงานในฐานข้อมูล GenBank ของ NCBI (National Center for Biotechnology Information) ด้วยการ BLAST(<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>)

PAGE_TYPE= BlastSearch) และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเหมือน (% identity) เพื่อยืนยันความถูกต้องลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันหนอนขนใบที่ได้ บันทึกข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ไว้ในระบบฐานข้อมูลของ GenBank ในรูปแบบ accession number

2. การศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของแมลงวันหนอนขนใบ

2.1 วิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์จากยีน Cox1 นำข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ทั้งหมดที่บันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูลของ GenBank จากข้อ 1.4 และร่วมกับลำดับนิวคลีโอไทด์จากฐานข้อมูล GenBank (Table 1) บันทึกลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันหนอนขนใบแต่ละชนิดในรูปแบบ FASTA และเปรียบเทียบด้วยการจัดให้ตรงตำแหน่ง (alignment) ทดสอบโมเดลที่เหมาะสมก่อนการสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการด้วยแผนภูมิต้นไม้ (phylogenetic tree) โดยกำหนดให้ *Metopomyza flavonotata* และ *Metopomyza scutellata* ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่พบน้อยในใกล้เคียงกับวงศ์แมลงวันหนอนขนใบ (Xuan *et al.*, 2023) เป็น outgroup สำหรับสร้างแผนภูมิต้นไม้ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลใช้เกณฑ์มาตรฐาน 2 เกณฑ์ คือ Bayesian inference (BI) และ Maximum likelihood (ML) และเปรียบเทียบ topology ที่ได้จากทั้ง 2 เกณฑ์มาตรฐาน โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้ เตรียม dataset ของยีนตำแหน่ง Cox1 สำหรับ

วิเคราะห์โดย Bayesian inference (BI) เตรียมไฟล์ .nexus ใช้โปรแกรม MrBayes (Ronquist and Huelsenbeck, 2003) ใช้วิธี Markov Chain Monte Carlo (MCMC) ค่าตั้งต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้ Mcmcstartingtree = user ngen = 10 000 000 temp = 0.25 nrns = 4 samplefreq = 1000 pintfreq = 1000 nchains = 4 savebrlens = yes stoprules = yes stopval = 0.01; ปรับค่า generation temperature substitution model parameters จำนวน generation และ burnin เพื่อให้ได้ consensus topology ตรวจสอบความเชื่อมั่นของผลวิเคราะห์ด้วย cumulative and compare functions โดย AWTY (Nylander *et al.*, 2008) และการวิเคราะห์โดย Maximum likelihood (ML) โดยเตรียมไฟล์ .phy วิเคราะห์โดยโปรแกรม RAXML v8.1.15 (Stamatakis, 2014) กำหนด model of evolution แบบ GTRGAMMA ซึ่งจำเพาะต่อการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์วิเคราะห์ด้วย rapid bootstrap (command -f a) เริ่มจาก random starting tree และกำหนด Maximum likelihood bootstrap จำนวน 1,000 ครั้ง

2.2 คำนวณค่าระยะห่างทางพันธุกรรมระหว่างชนิดของแมลงวันหนอนขนใบด้วยโปรแกรมสำเร็จ MEGA รุ่น 11.0.13 โดยคำนวณจากโมเดล Tamura 3-parameter และใช้อัลกอริทึม (algorithm) โดยวิธี character-base ด้วยการจัดกลุ่มแบบ Maximum likelihood (ML) และทำการวิเคราะห์ bootstrap จำนวน 1,000 รอบ (Tamura *et al.*, 2021)

Table 1. Obtained nucleotide details from GenBank (scientific name, type of haplotype, and accession number) for leafminers used in this study

	Scientific name	GenBank accession numbers	Haplotypes	References
1	<i>Liriomyza brassicae</i>	KY837720.1		Unpublished
2	<i>Liriomyza chinensis</i>	LC596957.1	A	Tokumaru <i>et al.</i> , 2021
	<i>Liriomyza chinensis</i>	LC596958.1	B	Tokumaru <i>et al.</i> , 2021
3	<i>Liriomyza huidrobrensis</i>	JQ862474.1		Wang <i>et al.</i> , 2014
4	<i>Liriomyza sativae</i>	HQ333260.1		Yang <i>et al.</i> , 2011
5	<i>Liriomyza trifolii</i>	JN570506.1		Carapelli <i>et al.</i> , 2018
6	<i>Metopomyza flavonotata</i>	EF104707.1		Xuan <i>et al.</i> , 2023
7	<i>Metopomyza scutellata</i>	MG477113.1		Xuan <i>et al.</i> , 2023

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคด (DNA barcode) ของแมลงวันหนอนขนใบ

จากการสกัดดีเอ็นเอ และเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรสโดยใช้ไพรเมอร์ LCO1490/HCO2198 จากยีน *Cox1* สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอจากตัวอย่างแมลงวันหนอนขนใบที่สำรวจและเก็บรวบรวมในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย (Boontop *et al.*, 2022b) และตรวจสอบขนาดดีเอ็นเอจากปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรสมีขนาด 650 - 700 คู่เบสโดยเมื่อนำผลผลิตจากปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรส (PCR product) ไปวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์และเปรียบเทียบกับข้อมูลใน GenBank พบว่า มีความใกล้เคียงกับแมลงวันหนอนขนใบ 5 ชนิด ได้แก่ *Liriomyza brassicae* (Riley, 1884), *L. chinensis* (Kato, 1949), *L. huidobrensis* (Blanchard, 1926), *L. sativae* Blanchard, 1938 และ *L. trifolii* (Burgess, 1880) โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความเหมือน (percent homology identity) สูงถึง 99 - 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงว่าลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้จากการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอจากยีน *Cox1* นั้น มีความเหมือนกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน *Cox1* ของแมลงวันหนอนขนใบชนิดเดียวกันในแหล่งอื่น ๆ ที่มีการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ และได้ทำการบันทึกข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์จากการศึกษานี้ไว้ในฐานข้อมูล GenBank ในรูปแบบ accession number (Table 2)

จากค่าเปอร์เซ็นต์ความเหมือนของลำดับนิวคลีโอไทด์แมลงวันหนอนขนใบที่สำรวจพบในประเทศไทยเทียบกับแหล่งอื่นๆ ในฐานข้อมูล GenBank ที่สูงถึง 99 - 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีการสกัดดีเอ็นเอมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้สกัดดีเอ็นเอในตัวอย่างแมลงวันหนอนขนใบได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงสามารถใช้วิธีการสกัดดังกล่าวมาศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคดของแมลงวันหนอนขนใบได้ นอกจากนี้ ยังเป็นการยืนยันว่ายีน *Cox1* ซึ่งเป็นยีนที่พบในไมโทคอนเดรียของเซลล์ มีความหลากหลายของจีโนไทป์ (genotype) ต่ำ จึงถือเป็นยีนที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์อนุรักษ์ (conserve sequence) เนื่องจากลำดับนิวคลีโอไทด์ภายในยีนนี้มีความแตกต่างในสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันต่ำ แต่มีความแตกต่างระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันสูง อีกทั้งยังมีการแทรกสอดเข้ามาและการหลุดหายของลำดับนิวคลีโอไทด์น้อย (Tipphet *et al.*, 2018) ดังนั้น จึงทำให้ยีน *Cox1* เป็นยีนที่มีความเหมาะสมสำหรับการศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคดและระบุชนิดและรวมถึงการศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของแมลงวันหนอนขนใบได้ สอดคล้องกับงานวิจัยหลาย ๆ งานก่อนหน้านี้มีการรายงานว่ายีน *Cox1* สามารถระบุชนิดและจำแนกชนิดของสิ่งมีชีวิตได้หลากหลาย ได้แก่ หอยทาก แมลงไม่มีปีก ผีเสื้อ นก แมงมุม ปลา มด สัตว์ทะเล ไดอะตอม และเชื้อรา เป็นต้น (Siripiyasing and Chaveerach, 2011)

Table 2. Collection details (scientific name, number of specimens, voucher specimen, and accession number) of leafminers barcoded in Thailand

	Scientific names	No. of specimens	Voucher specimens	GenBank accession numbers
1	<i>Liriomyza brassicae</i>	20	LM0101 – LM0120	OM327452 – 61, ON565771 - 80
2	<i>Liriomyza chinensis</i>	20	LM0201 – LM0220	OM327462 – 71, ON565781 - 90
3	<i>Liriomyza huidobrensis</i>	20	LM0301 – LM0320	OM327472 – 81, ON565791 - 00
4	<i>Liriomyza sativae</i>	20	LM0401 – LM0420	OM327482 – 99, ON565801 - 02
5	<i>Liriomyza trifolii</i>	20	LM0501 – LM0520	OM327500 – 09, ON565803 - 10

2. การศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของแมลงวันหนอนขนใบ

จากการศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันหนอนขนใบ โดยนำมาทำการเปรียบเทียบด้วยการจัดให้ตรงตำแหน่ง (alignment) ชนิดละ 20 ลำดับนิวคลีโอไทด์ ตามลำดับนั้น (Table 1) ไม่พบความแตกต่างในลำดับนิวคลีโอไทด์ ของยีน *Cox1* ของแมลงวันหนอนขนใบแต่ละชนิดที่ศึกษา ดังนั้นในการศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการด้วยวิธี phylogenetic reconstruction สามารถใช้ลำดับนิวคลีโอไทด์ของแมลงวันหนอนขนใบชนิดละ 1 ตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทนของแมลงวันหนอนขนใบแต่ละชนิด (จำนวน 5 ชนิด) ร่วมกับลำดับนิวคลีโอไทด์จากฐานข้อมูล GenBank (Table 2) และลำดับนิวคลีโอไทด์แมลงวันหนอนขนใบ *Metopomyza scutellata* และ *M. flavonotata* ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่พันธุกรรมใกล้เคียงกับวงศ์แมลงวันหนอนขนใบ (Xuan et al., 2023) เพื่อใช้เป็น outgroup สำหรับสร้างแผนภูมิต้นไม้จากการวิเคราะห์ 2 วิธีการ ที่เป็นที่ยอมรับและน่าเชื่อถือในระดับสากล ได้แก่ แบบ Bayesian inference (BI) และ Maximum likelihood (ML) เพื่อเป็นการทดสอบว่า phylogenetic tree ที่ได้มีความน่าเชื่อถือ และแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามีความน่าเชื่อถือและมีความแปรปรวนน้อย ผลการศึกษาครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการที่ได้ให้ผลที่สอดคล้องกันทั้งสองวิธีการ ทำให้วิวัฒนาการที่ส่งผลต่อการจำแนกมีความสามารถสนับสนุนการจำแนกและยืนยันชนิดแมลงวันหนอนขนใบทั้ง 5 ชนิด ได้เป็นอย่างดี

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการจากสร้างแผนภูมิต้นไม้ที่สำรวจพบในประเทศไทยจำนวน 5 ชนิด (*L. brassicae*, *L. chinensis*, *L. huidrobrensis*, *L. sativae* และ *L. trifolii*) พบว่า แมลงวันหนอนขนใบทั้ง 5 ชนิดมีความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการแบบมีบรรพบุรุษร่วมกัน (monophyletic group) และสามารถแยกออกเป็น 3 กลุ่มได้ชัดเจน ได้แก่ กลุ่มที่ 1 แมลงวันหนอนขนใบ *L. chinensis* (Clade A) กลุ่มที่ 2 แมลงวันหนอนขนใบ *L. huidrobrensis* (Clade B) และกลุ่มที่ 3

ได้แก่ แมลงวันหนอนขนใบ *L. brassicae*, *L. sativae* และ *L. trifolii* ซึ่งจัดอยู่ใน Clade C (Figure 1) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแมลงวันหนอนขนใบ *L. huidrobrensis* นั้นมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดทางพันธุกรรมกับแมลงวันหนอนขนใบ *L. brassicae*, *L. sativae* และ *L. trifolii* มากกว่า แมลงวันหนอนขนใบ *L. chinensis* ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Xuan et al. (2023) ที่พบว่า ข้อมูลความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการและความหลากหลายของแมลงหนอนขนใบสกุล *Liriomyza* คือ *L. trifolii* และ *L. sativae* นั้นอยู่กลุ่มเดียวกัน แต่แมลงวันหนอนขนใบ *L. brassicae* แยกออกมาอีกกลุ่มหนึ่ง

เมื่อพิจารณาผลของการคำนวณค่าระยะห่างระหว่างพันธุกรรม (genetic distance) ของแมลงหนอนขนใบที่พบในประเทศไทยกับแมลงหนอนขนใบจากฐานข้อมูล GenBank (Table 3) พบว่า แมลงหนอนขนใบที่พบในประเทศไทย (แมลงวันหนอนขนใบ *L. brassicae*, *L. chinensis* 1, *L. chinensis* 2, *L. huidrobrensis*, *L. sativae* และ *L. trifolii*) มีค่าระยะห่างระหว่างพันธุกรรมเมื่อเทียบกับแมลงหนอนขนใบจากฐานข้อมูล Genbank มีค่าเท่ากับ 0.000 - 0.005 แสดงให้เห็นว่าแมลงหนอนขนใบที่พบในประเทศไทยมีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมกับแมลงหนอนขนใบได้จากฐานข้อมูลเป็นอย่างมาก

ในส่วนของแมลงวันหนอนขนใบที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมมาก และเป็น Haplotype ที่แตกต่างกันนั้น พบว่า ค่าระยะห่างระหว่างพันธุกรรมของแมลงหนอนขนใบ *L. chinensis* 1 และ *L. chinensis* 2 ซึ่งสำรวจและรวบรวมได้จากประเทศไทย เมื่อเทียบกับ *L. chinensis* haplotype A* ซึ่งเป็นชนิดที่มีการระบาดที่ประเทศญี่ปุ่น มีค่าเท่ากับ 0.003 - 0.005 ส่วน *L. chinensis* haplotype B* มีค่าเท่ากับ 0.015 - 0.016 แสดงให้เห็นว่า แมลงหนอนขนใบที่พบในประเทศไทยมีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมกับ *L. chinensis* haplotype A* มากกว่า *L. chinensis* haplotype B*

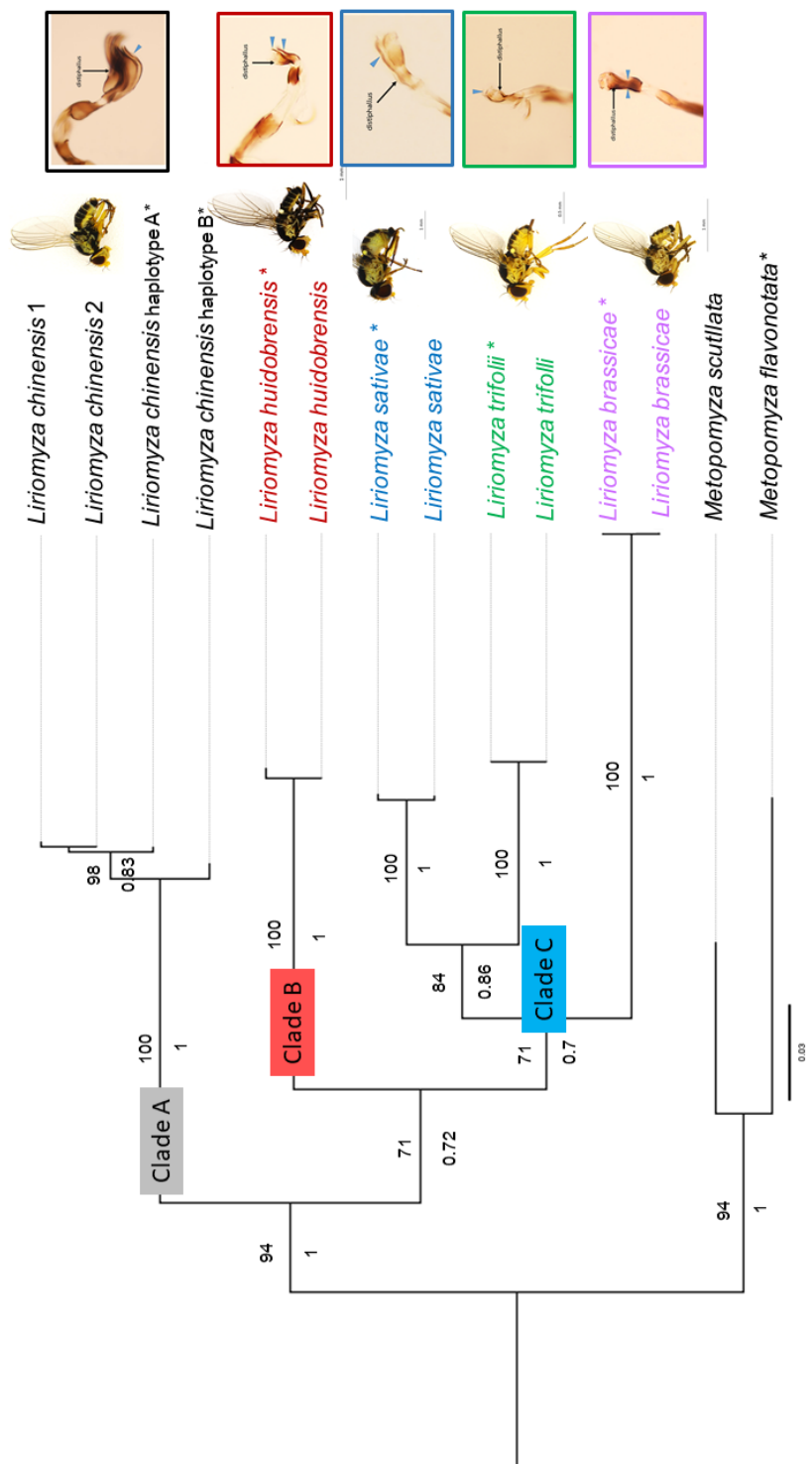


Figure 1. Phylogram obtained in a maximum likelihood search in RAxML of Cox1 gene regions. Bootstrap support values ($\geq 70\%$) from 1000 replicates above nodes. Posterior probabilities (≥ 0.95) summarised from 1500 converged trees obtained in a Bayesian search are shown below nodes. Particulars genus is given as a particular colours. * = nucleotides from GenBank

Table 5. Pairwise genetic distance matrix of Cox1 gene sequences among of genus *Liriomyza* and *Metopomyza*. * nucleotides from GenBank

Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. <i>Liriomyza brassicae</i> *														
2. <i>Liriomyza brassicae</i>	0.000													
3. <i>Liriomyza chinensis</i> haplotype A*	0.164	0.164												
4. <i>Liriomyza chinensis</i> haplotype B*	0.150	0.150	0.015											
5. <i>Liriomyza chinensis</i> 1	0.165	0.162	0.003	0.015										
6. <i>Liriomyza chinensis</i> 2	0.167	0.165	0.005	0.016	0.002									
7. <i>Liriomyza huidobrensis</i> *	0.172	0.170	0.150	0.148	0.144	0.146								
8. <i>Liriomyza huidobrensis</i>	0.168	0.166	0.146	0.144	0.140	0.142	0.003							
9. <i>Liriomyza sativae</i> *	0.136	0.136	0.151	0.149	0.151	0.153	0.125	0.121						
10. <i>Liriomyza sativae</i>	0.134	0.132	0.149	0.147	0.147	0.149	0.121	0.117	0.003					
11. <i>Liriomyza trifolii</i> *	0.149	0.147	0.162	0.156	0.160	0.162	0.138	0.134	0.081	0.081				
12. <i>Liriomyza trifolii</i>	0.149	0.147	0.162	0.156	0.160	0.162	0.138	0.134	0.081	0.081	0.000			
13. <i>Metopomyza flavonotata</i> *	0.174	0.172	0.150	0.150	0.148	0.150	0.165	0.161	0.157	0.157	0.164	0.164		
14. <i>Metopomyza scutellate</i> *	0.174	0.174	0.142	0.142	0.138	0.140	0.143	0.139	0.132	0.134	0.142	0.142	0.103	

อย่างไรก็ตาม การศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการโดยใช้ลำดับนิวคลีโอไทด์ในครั้งนี้ยังช่วยสนับสนุนและยืนยันถึงความสอดคล้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยา การกระจายตัวและพืชอาหารของแมลงวันหนอนชอนใบทั้ง 5 ชนิด ที่พบเข้าทำลายพืชผักในประเทศไทย เช่น แมลงวันหนอนชอนใบ *L. chinensis* ใน Clade A นั้น ส่วนอกด้านบน (scutellum) มีสีดำ แตกต่างจาก อีก 4 ชนิด ที่ส่วนอกด้านบนมีสีเหลืองอย่างเห็นได้ชัด (*L. huidobrensis*; Clade B) และ (*L. brassicae*, *L. sativae* และ *L. trifolii*; Clade C) (Boontop et al., 2022b) นอกจากนี้ ยังมี ความสอดคล้องกับลักษณะรูปร่างของอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ (male genitalia) ในส่วนของ distipallus ที่เป็นลักษณะทางสัณฐานที่สำคัญในการจำแนกชนิดแมลงวันหนอนชอนใบอีกด้วย โดยแมลงวันหนอนชอนใบ *L. chinensis* นั้นมีรูปร่างและขนาดใหญ่แตกต่างจากแมลงวันหนอนชอนใบชนิดอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด และแมลงวันหนอนชอนใบอีก 2 ชนิด คือ *L. trifolii* และ *L. sativae* ที่จัดกลุ่มอยู่ด้วยกันนั้นมีลักษณะภายนอกและมีลักษณะรูปร่างของ distipallus ที่คล้ายคลึงกันมากกว่าแมลงวันหนอนชอนใบชนิดอื่นๆ (Boontop et al., 2022a)

นอกจากลักษณะสัณฐานภายนอกแล้วยังพบว่า ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการนั้นสอดคล้องกับชนิดพืชอาหารของแมลงวันหนอนชอนใบ แมลงวันหนอนชอนใบ *L. chinensis* มีความเฉพาะเจาะจงกับพืชอาหาร (host specific) เนื่องจากพบแมลงวันหนอนชอนใบ *L. chinensis* เข้าทำลายเฉพาะหอม-แดง และกระเทียมเท่านั้น ส่วนแมลงวันหนอนชอนใบอีก 4 ชนิด ได้แก่ *L. brassicae*, *L. huidobrensis*, *L. sativae* และ *L. trifolii* พบเข้าทำลายพืช ผัก ได้หลากหลายชนิด และแผนภูมิความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการยังแสดงให้เห็นว่าแมลงวันหนอนชอนใบ *L. huidobrensis* ที่สำรวจพบการกระจายตัวอยู่บริเวณที่สูงในจังหวัดเชียงใหม่ ของไทยนั้น พบว่า แยกออกจาก *L. sativae*, *L. trifolii* และ *L. brassicae* อย่างชัดเจน และจากการเกิดศัตรูพืชรุกรานพบว่า แมลงวันหนอนชอนใบที่สำรวจพบในประเทศไทยมีหลาย

หลายทางพันธุกรรม (genetic variation) โดยพบว่าแมลงวันหนอนชอนใบที่อุบัติใหม่นี้สามารถเข้าทำลายพืชได้หลายชนิดมากขึ้น (Tokumaru et al., 2021) การศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานว่าแมลงวันหนอนชอนใบ *L. chinensis* ที่สำรวจและรวบรวมได้จากประเทศไทย มีเพียงแมลงวันหนอนชอนใบ *L. chinensis* haplotype A เพียงชนิดเดียว ซึ่งแตกต่างจากแมลงวันหนอนชอนใบ *L. chinensis* ที่มีรายงานในประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีรายงานว่า มีแมลงวันหนอนชอนใบ *L. chinensis* จำนวน 2 haplotypes ได้แก่ haplotype A และ haplotype B (Tokumaru et al., 2021) นอกจากนี้ ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังการรุกรานและเข้าทำลายของแมลงวันหนอนชอนใบ *L. chinensis* haplotype B ที่สามารถเข้าทำลายและการก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืชในตระกูลหอมและกระเทียมได้มากกว่า haplotype A หลายเท่าตัว ดังนั้น ข้อมูลในครั้งนี้จึงเป็นพื้นฐานสำคัญที่สามารถนำไปประกอบการเตรียมการสำรวจศัตรูพืชอุบัติใหม่ และการเฝ้าระวังเส้นทางการรุกราน (invasive pathway) ของแมลงวันหนอนชอนใบชนิดต่าง ๆ ที่ไม่เคยสำรวจพบในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งแมลงวันหนอนชอนใบ *L. chinensis* haplotype B ในพื้นที่ทำการเกษตรของไทยในอนาคตอีกด้วย

สรุป

การศึกษาชนิดแมลงวันหนอนชอนใบในประเทศไทยมักใช้เพียงลักษณะสัณฐานภายนอกและอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้เป็นเครื่องมือในการจำแนกชนิด แต่การศึกษานี้ประยุกต์ใช้เทคนิคทางชีวโมเลกุลเพื่อศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคดของแมลงวันหนอนชอนใบที่พบเข้าทำลายพืชผักส่งออกของประเทศไทย ซึ่งสามารถแยกความแตกต่างของแมลงวันหนอนชอนใบจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ แมลงวันหนอนชอนใบ *Liriomyza brassicae*, *L. chinensis*, *L. huidobrensis*, *L. sativae* และ *L. trifolii* ได้อย่างถูกต้องถึง 99 - 100 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาดีเอ็นเอบาร์โคดในครั้งนี้ได้ข้อมูลดีเอ็นเอบาร์โคดของแมลงวันหนอนชอนใบ พร้อมทั้งบันทึกลงในฐานข้อมูล GenBank

นอกจากนี้ ในการศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการด้วยวิธีการ Bayesian analysis และ Maximum likelihood นั้น สามารถยืนยันชนิดและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของแมลงวันหนอนขนใบทั้ง 5 ชนิดได้เป็นอย่างดี โดยพบว่าข้อมูลลำดับพันธุกรรมหรือดีเอ็นเอบาร์โคดของยีน *Cox1* จากแมลงวันหนอนขนใบทั้ง 5 ชนิดนั้น แยกออกเป็น 3 กลุ่ม ได้อย่างชัดเจนและให้ผลสอดคล้องกับลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอก อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ การกระจายตัว และพืชอาหารของแมลงวันหนอนขนใบ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ จึงเป็นครั้งแรกที่ใช้ข้อมูลดีเอ็นเอบาร์โคดและความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการมาสนับสนุนในการจำแนกและยืนยันชื่อวิทยาศาสตร์ของแมลงวันหนอนขนใบในประเทศไทย สามารถนำมาใช้สนับสนุนการจำแนกชนิดของแมลงวันหนอนขนใบที่พบเข้าทำลายพืชผักเพื่อการส่งออก ทำให้ประเทศคู่ค้าของไทยให้ความเชื่อถือ มีความถูกต้อง สมบูรณ์ ทันสมัยและเป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากลมากขึ้น สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุงแก้ไขฐานข้อมูลแมลงวันหนอนขนใบในประเทศไทยให้มีความถูกต้อง ก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งด้านอนุกรมวิธานแมลง บริหารจัดการศัตรูพืช ใช้เป็นฐานข้อมูลในการสร้างระบบเตือนภัยทางการเกษตร สามารถตอบสนองและกำหนดแนวทางการป้องกันกำจัดอย่างทันทั่วถึงที่ เพิ่มความมั่นคงของผลผลิตทางการเกษตร และเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับงานด้านกักกันพืชในเจรจาตอบโต้กับประเทศคู่ค้าและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อภาคการเกษตรของประเทศไทยอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

Boontop, Y. 2016. Natural variation and biogeography of the melon fruit fly, *Zeugodacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae, in Southeast-Asia and the West-Pacific. Ph.D. Thesis. Queensland

University of Technology, Brisbane, Queensland. 347 p.

Boontop, Y., S. Choavalit, S., C. Buamas and S. Kaewsawat. 2022a. Taxonomy of leafminer flies in family Agromyzidae (Order: Diptera) in vegetable crops. Thai Agricultural Research Journal 40(2): 126-139. (in Thai)

Boontop, Y., S. Chaovalit, C. Buamas, S. Kaewsawat and S. Sathuwijarn. 2022b. Leafminer flies (Diptera: Agromyzidae), their host plants and distribution in Thailand. Entomology and Zoology Gazette 40(1): 2-16. (in Thai)

Carapelli, A., A. Soltani, C. Leo, M. Vitale, M. Amri, and J.M.-B. Jemâa. 2018. Cryptic Diversity Hidden within the Leafminer Genus *Liriomyza* (Diptera: Agromyzidae). Genes 9(11): 554, doi: 10.3390/genes9110554

Center for Information Technology and Communications. 2022. Principal Export. (Online). Available: <https://tradereport.moc.go.th/Tradethai.aspx?chk=0> (December 17, 2022). (in Thai)

Folmer, O., M. Black, W. Hoeh, R. Lutz and R. Vrijenhoek. 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. Molecular Marine Biology and Biotechnology 3(5): 294-299.

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

Nylander, J.A.A., J.C. Wilgenbusch, D.L. Warren and D.L. Swofford. 2008. AWTY (are we there yet?): A system for graphical exploration of MCMC convergence in Bayesian phylogenetics. Bioinformatics 24(4): 581-583.

-
- Parrella, M.P. 1987. Biology of *Liriomyza*. Annual Review of Entomology 32: 201-224.
- Ronquist, F. and J.P. Huelsenbeck. 2003. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics* 19(12): 1572-1574.
- Siripiyasing, P. and A. Chaveerach. 2011. DNA barcode for identification of living species: Case studies of *Cytochrome c Oxidase I* (COI) in animals. *Rajabhat Maha Sarakham University Journal* 5(2): 205-210. (in Thai)
- Spencer, K.A. and G.C. Steyskal. 1986. Manual of the Agromyzidae (Diptera) of the United States. Agriculture Handbook No. 638. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. USA. 478 p.
- Stamatakis, A. 2014. RAxML version 8: A tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinformatics* 30(9): 1312-1313.
- Tamura, K., G. Stecher and S. Kumar. 2021. MEGA11: Molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution* 38(7): 3022-3027.
- Tipphet, K., N. Jaturas and N. Bunchu. 2018. DNA Barcodes for Identification of Medically-Important Insects of Thailand. *Thai Science and Technology Journal* 26(2): 313-328. (in Thai)
- Tokumaru, S., R. Uesugi, C. Urairi, S. Toyoshima, Y. Aoki and A. Iwasaki. 2021. Detection of two biotypes of *Liriomyza chinensis* (Diptera: Agromyzidae) in Japan. *Journal of Economic Entomology* 114(3): 1406-1410.
- Wang, S., Z. Lei, J. Wen, H. Wang, X. Li, B. Dong and B. Ren. 2014. The complete mitochondrial genome of *Liriomyza huidobrensis* and comparison with *L. trifolii* and *L. sativae* (Diptera: Agromyzidae). *Mitochondrial DNA* 25(2): 104-105.
- Xuan, J.-L., S.J. Scheffer, O. Lonsdale, B.K. Cassel, M.L. Lewis, C.S. Eiseman, W.-X. Liu and B.M. Wiegmann, 2023. A genome-wide phylogeny and the diversification of genus *Liriomyza* (Diptera: Agromyzidae) inferred from anchored phylogenomics. *Systematic Entomology* 48(1): 178-197.
- Yang, F., Y.Z. Du, L.P. Wang, J.M. Cao and W.W. Yu. 2011. The complete mitochondrial genome of the leafminer *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae): great difference in the A+T-rich region compared to *Liriomyza trifolii*. *Gene* 485(1): 7-15.
-

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 ให้ใส่ชื่อผู้แต่งตามด้วยหน่วยงานและใช้ (.) 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. Kanasakdakul. 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

โปรดตรวจสอบบทความต้นฉบับให้เป็นไปตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ พร้อมแนบแบบฟอร์มนำส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารเกษตร (<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) หากบทความใดขาดการติดต่อเกิน 6 เดือน กองบรรณาธิการจะดำเนินการลบบทความดังกล่าวออกจากระบบ ThaiJo 2.0 เพื่อให้การจัดทำวารสารเกษตรเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีคุณภาพ

5) ผู้เขียนไม่สามารถดำเนินการร้องขอเพิ่มชื่อผู้เขียนบทความหรือขอลบชื่อผู้เขียนบทความในวารสารเกษตรได้ หากมีความประสงค์ที่จะเปลี่ยนชื่อ First author หรือ Corresponding author สามารถดำเนินการได้ (เปลี่ยนชื่อภายในบทความเท่านั้น ไม่สามารถเพิ่มหรือเปลี่ยนเป็นชื่อผู้เขียนท่านอื่นนอกเหนือจากที่ปรากฏในบทความต้นฉบับได้) ทั้งนี้ การร้องขอเปลี่ยนแปลงดังกล่าว 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 3 September - December 2023

Effects of Vitamin D Enriched Yeast Supplementation on Milk Yield, Milk Composition, and Blood Lipid Profiles in Dairy Cows Patipan Hnokaew, Apichart Seepai, Siriporn Umsook, Prayad Thirawong and Saowaluck Yammuan-Art.....	245
Effects of Supplementation of Dried Kratom Leaves (<i>Mitragyna speciosa</i> (Korth.) Havil.) and Yeast (<i>Candida tropicalis</i> KKU20) in Total Mixed Ration on Feed Intake, Rumen Fermentation, and Microbial Population in Goats Va Soklin, Chanadol Supapong and Pin Chanjula.....	259
Effects of Hemp Extract Supplementation in Frozen Bull Semen Extender on Post-Thaw Sperm Quality Karantarai Naiweang, Watee Kongbuntad, Phacharaporn Tadee, Tawan Chatsungnoen, Wannaluk Thaworn, Patcharee Promtan and Wiwat Pattanawong.....	273
Evaluation of Available Soil Water Capacity in Different Textured Sugarcane Growing Soils Using RETC Program Bhannapitch Samrit, Natthapol Chittamart and Surachet Aramrak.....	285
Effects of Seawater Intrusion on Water Quality in 'Namdokmai Sithong' Mango Orchards Sai Huaihongthong and Sukunya Yampracha.....	299
Comparison of Analytical Methods and Prediction of Soil Organic Carbon Content Jawanchanok Preesong, Arada Boonart, Nantanat Chaopayao, Sai Huaihongthong and Sukunya Yampracha.....	299
GA ₃ Applications for Inflorescence Elongation, Seedless Induction, and Berry Enlargement in 'White Malaga' Grape Suwanna Wankam, Kriengsak Thaipong and Parson Saradhuldhath.....	331
Factors Influencing Prevention of Cassava Mosaic Disease (CMD) of Farmers in Nong Bua Rawe District, Chaiyaphum Province Khuansuda Khanbut, Anan Polthanee, Krailert Taweekul, Yos Borisudhi and Chaiteera Panpakdee.....	341
Factors Relating to Onion Production Management of Fang Onion Growers Cooperative's Members, Fang District, Chiang Mai Province Warangkana Tippota, Sukit Kanjina, Ruth Sirisunyaluck and Pimjai Seehanam.....	355
DNA Barcodes and Phylogenetic Study for Reliable Identification of Leafminers (Diptera: Agromyzidae) in Thailand Yuvarin Boontop, Sunadda Chaovalit, Chamaiporn Buamas and Chalermwoot Somapark.....	365