# วารสารเกษตร
JOURNAL OF AGRICULTURE
วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 40 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2567



**ประสิทธิภาพและผลกระทบต่อศัตรูธรรมชาติของสารป้องกันกำจัดแมลงบางชนิด เพื่อควบคุมเพลี้ยไฟในนาข้าวโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (โดรน)**
สุกัญญา อรัญมิตร กัลยา บุญสง่า รัตติกาล อินทมา อภิรดี มานะสุวรรณผล สมฤดี พันธ์สน จิราพัชร ทะสี ปิยะพันธ์ ศรีคุ้ม สุภาพร มีประเสริฐ กมลวรรณ แย้มบุญทับ คณิตา อินทะเล และ นพดล ประยูรสุข.....211

**ผลของการเข้าทำลายและการเลี้ยงเพิ่มจำนวนของมอดฟันเลื่อยใหญ่ในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 4 ลักษณะ**
จิตรกานต์ ภควัฒนะ อภิชญา จากโคกสูง และ เยาวลักษณ์ จันทร์บาง.....225

**ผลของอุณหภูมิสูงต่อโคนิเดียเชื้อราเมตาไรเซียมที่มีศักยภาพก่อโรคกับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล**
อารยา บุญศักดิ์ สุพรรณิกา อินต๊ะนนท์ วิภา หอมหวล และ คณิตา เกิดสุข.....237

**การเพิ่มอัตราการตั้งท้องด้วยเทคนิคการกำหนดเวลาผสมเทียมในฝูงโคเนื้อแม่พันธุ์ในพื้นที่จังหวัดศรีสะเกษ**
เกริกวิทย์ วงศ์จันทร์ วาที คงบรรทัด พัชรี พรมตัน วรรณลักษณ์ ถาวร กฤดา ชูเกียรติศิริ และ วิวัฒน์ พัฒนาวงศ์.....249

**ผลของการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ และผงกะเพราแดง ในสูตรอาหารไก่ไข่ที่มีหนอนแมลงวันลายเป็นส่วนประกอบต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ สารต้านอนุมูลอิสระ และองค์ประกอบกรดไขมันในไข่แดง**
สโรชา ยะแสง ทองเลียน บัวจูม บัวเรียม มณีวรรณ์ วศิน เจริญตัณธนกุล และ วงค์พันธ์ พรหมวงค์.....261

**ผลของสารสกัดรวมของกระเทียม ออริกาโน และอาติโชค ต่อการย่อยได้ของอาหาร และสมรรถภาพการเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)**
วัชรินทร์ สุทธิพงศ์ ศุภวิทย์ ไตรวุฒานนท์ ศรีน้อย ชุ่มคำ และ อรพินท์ จินตสถาพร.....275

**การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่นกกระทาต้มด้วยสมุนไพรไทย 9 ชนิด**
ปฐมา แทนนาค ภาวิณี จำปาคำ นริศรา ยิ่งกำแหง ศศิธร นาคทอง ใยไหม ช่วยหนู ธรรมธวัช แสงงาม และ วันวิสาข์ วัฒนะพันธ์ศักดิ์.....287

**ผลของอัตราการใช้ปุ๋ยและการให้น้ำต่อการเติบโตของต้นซากุระ**
นวรัตน์ ก่อเจดีย์ ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ และ โสระยา ร่วมรังษี.....301

**อัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 บนพื้นที่สูง จังหวัดเชียงใหม่**
สุรีย์พร วงษ์พูล ฟ้าไพลิน ไชยวรรณ พิมพ์ใจ สีหะนาม และ ชูชาติ สันธทรัพย์.....313

**ผลของการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อการเติบโต คุณภาพและผลผลิตกาแฟอะราบิกาที่ปลูกบนพื้นที่สูง จังหวัดเชียงใหม่**
ลลิชา พานทอง ยุพา จอมแก้ว ณัฐชนน สันธทรัพย์ และ ชูชาติ สันธทรัพย์.....327

**ผลของระดับอินทรียวัตถุต่อรูปคาร์บอนอินทรีย์ในดิน การดูดใช้ธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน**
สุทธิพันธ์ เพชรช่วย จำเป็น อ่อนทอง จักรกฤษณ์ พูนภักดี และ ขวัญตา ขาวมี.....341

**ผลของตำแหน่งคู่ใบและมาตรฐานการเพาะปลูกต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตพืชกระท่อม**
จิรภรณ์ หนูในน้ำ ธีรศักดิ์ สุขดี สมชาย ศรีวิริยะจันทร์ และ ทัศนี ขาวเนียม.....355



ISSN 0857-0841
TCI กลุ่มที่ 1

# คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

**เรื่องที่ตีพิมพ์**

1. เป็นบทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการ ทางด้านเกษตรศาสตร์และสาขาที่เกี่ยวข้อง

2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

**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) และจัดกึ่งกลางหน้า กระดาษ สำหรับชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ กำหนดให้อักษรตัวแรกของคำให้พิมพ์ด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ (capital letter)

3) ชื่อผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 15 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

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

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

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

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

8) หัวข้อย่อย ให้พิมพ์ตัวหนาและจัดชิดซ้าย

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

10) หากมีชื่อวิทยาศาสตร์ปรากฏในบทความ ให้เขียนตามหลักเกณฑ์การเขียนชื่อวิทยาศาสตร์ ในครั้งแรกที่ปรากฏชื่อนี้ให้สะกดเต็ม เช่น *Meloidogyne incognita* และหลังจากนั้นถ้ามีการระบุชื่อนี้อีกให้ย่อชื่อสกุล โดยเขียนเป็น *M. incognita*

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

**ข้อแนะนำการใช้ภาษา**

1) ใช้คำศัพท์ตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน และประกาศของราชบัณฑิตยสภา

2) การเขียนชื่อเฉพาะหรือคำแปลจากภาษาต่างประเทศ ควรพิมพ์ภาษาเดิมของชื่อนั้น ๆ ไว้ในวงเล็บในครั้งแรกที่ปรากฏในบทความ โดยพิมพ์เป็นอักษรตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะให้พิมพ์เฉพาะอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่

3) ไม่ควรใช้ภาษาต่างประเทศถ้ามีภาษาไทยใช้อยู่แล้ว

4) รักษาความสม่ำเสมอในการใช้คำ คำศัพท์ และตัวย่อ โดยตลอดทั้งบทความ

**การเรียงลำดับหัวข้อ** ให้เรียงตามลำดับดังนี้

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

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

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

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

5. **เนื้อหา (Text) ประกอบด้วย**

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

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

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

**5.4 สรุป (Conclusion)** เป็นการสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย อาจมีข้อเสนอแนะ หรือระบุอุปสรรคและแผนงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป

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

| | | | |
|---|---|---|---|
| | รศ.ดร. พิชญา พูลลาภ | | Pichaya Poonlarp, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Chiang Mai University |
| | รศ.ดร. รุจ ศิริสัญลักษณ์ | | Ruth Sirisunyaluck, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | ข้าราชการเกษียณอายุ | | Retired government official |
| | รศ.ดร. ไสว บูรณพานิชพันธุ์ | | Sawai Buranapanichpan, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | ข้าราชการเกษียณอายุ | | Retired government official |
| | ศ. ญาณวิทย์ ดร. เมธา วรรณพัฒน์ | | Metha Wanapat, Ph.D., Prof. |
| | มหาวิทยาลัยขอนแก่น | | Khon Kaen University |
| | ศ.ดร. อังศุมาลย์ จันทราปัตย์ | | Angsumarn Chandrapatya, Ph.D., Prof. |
| | ข้าราชการเกษียณอายุ | | Khon Kaen University |
| | ศ.ดร. สุชีลา เตชะวงค์เสถียร | | Suchila Techawongstien, D.Agr., Prof. |
| | ข้าราชการเกษียณอายุ | | Retired government official |
| | ศ.ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ | | Tawadchai Suppadit, Ph.D., Prof. |
| | สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ | | National Institute of Development Administration |
| | รศ.ดร. เสวียน เปรมประสิทธิ์ | | Savent Pampasit, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยนเรศวร | | Naresuan University |
| | รศ.ดร. วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ | | Weerathep Pongprasert, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | ข้าราชการเกษียณอายุ | | Retired government official |
| | รศ.ดร. เพชรรัตน์ ธรรมเบญจพล | | Petcharat Thummabenjapone, Ph.D., Assoc Prof. |
| | มหาวิทยาลัยขอนแก่น | | Khon Kaen University |
| | รศ. บำเพ็ญ เขียวหวาน | | Bumpen Keowan, M.S., Assoc. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช | | Sukhothai Thammathirat Open University |
| | ศ.ดร. เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน | | Kriangsak Mengumphan, Ph.D., Prof. |
| | ข้าราชการเกษียณอายุ | | Retired government official |
| | รศ.ดร. ธีรนุช เจริญกิจ | | Theeranuch Jaroenkit, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ | | Maejo University |
| | ผศ.ดร. ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร | | Pathipan Sutigoolabud, Ph.D., Assist. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ | | Maejo University |
| | รศ.ดร. เพ็ญพร เจนการกิจ | | Penporn Janekarnkij, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ | | Kasetsart University |
| | รศ.ดร. ไชยวรรณ วัฒนจันทร์ | | Chaiyawan Wattanachant, Ph.D., Assoc. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ | | Prince of Songkla University |
| | ผศ.ดร. เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์ | | Saowakon Wattanachant, Ph.D., Assist. Prof. |
| | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ | | Prince of Songkla University |
| กองบรรณาธิการ | นางลาลิตยา นุ่มมีศรี | Editorial Board | Lalitaya Nummisri |
| ฝ่ายการจัดการ | นายมานพ เปี้ยพรรณ์ | (Management) | Manop Pearpun |
| | นางสาวศิริลักษณ์ ใจเหล็ก | | Sirilak Chailek |

# บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน วารสารเกษตรฉบับนี้เป็นวารสารเกษตรปีที่ 40 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน พฤษภาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2567 ในฉบับนี้ประกอบด้วยบทความทางวิชาการที่มีต้นฉบับเป็นภาษาไทย จำนวน 12 เรื่อง ประกอบด้วย สาขาวิชากีฏวิทยา 3 เรื่อง สาขาสัตวศาสตร์ 2 เรื่อง สาขาสัตว์น้ำ 1 เรื่อง สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร 1 เรื่อง สาขาปฐพีศาสตร์ 4 เรื่อง และสาขาพืชสวน 1 เรื่อง

ทางวารสารเกษตร เปิดรับบทความวิชาการทางเกษตร วิทยาศาสตร์เกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง ผู้ที่สนใจส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารเกษตร สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/index หรือสามารถติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่ E-mail : agjournal22@gmail.com ขอให้ทุกท่านมีความสุข สุขภาพแข็งแรง ส่งผลงานวิจัยมาตีพิมพ์กันนะคะ และพบกันฉบับต่อไปค่ะ

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐา โพธาภรณ์

บรรณาธิการวารสารเกษตร

# ประสิทธิภาพและผลกระทบต่อศัตรูธรรมชาติของสารป้องกันกำจัดแมลงบางชนิดเพื่อควบคุมเพลี้ยไฟในนาข้าวโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (โดรน)

# Efficacies and Natural Enemy Effects of Some Insecticides for Controlling Rice Thrips in Paddy Fields Using Unmanned Aerial Vehicles (Drones)


**สุกัญญา อรัญมิตร[1*] กัลยา บุญสง่า[2] รัตติกาล อินทมา[3]**
**อภิรดี มานะสุวรรณผล[2] สมฤดี พันธ์สน[2] จิราพัชร ทะสี[2] ปิยะพันธ์ ศรีคุ้ม[2]**
**สุภาพร มีประเสริฐ[3] กมลวรรณ แย้มบุญทับ[3] คณิตา อินทะเล[1] และ นพดล ประยูรสุข[4]**

Sukanya Arunmit[1*], Kunlayaa Boonsa-nga[2], Rattigan Intama[3],
Apiradee Manasuwanphol[2], Somruedee Panson[2], Jirapat Thasee[2] Piyapan Srikoom[2],
Supaporn Meeprasert[3], Kamonwan Yamboontab[3], Kanita Intalae[1] and Noppadol Prayoonsuk[4]

*[1] กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กรุงเทพฯ 10900*

*[1] Division of Rice Research and Development, Rice Department, Bangkok 10900, Thailand*

*[2] ศูนย์วิจัยข้าวเชียงราย อ.พาน จ.เชียงราย 57120*

*[2] Chiang Rai Rice Research Center, Phan, Chiang Rai 57120, Thailand*

*[3] สถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ ต. รั้วใหญ่ อ. เมือง จ. สุพรรณบุรี 72000*

*[3] Thailand Rice Science Institute, Rua Yai, Mueang, Suphan Buri 72000, Thailand*

*[4] ศูนย์วิจัยข้าวพระนครศรีอยุธยา อ. พระนครศรีอยุธยา จ. พระนครศรีอยุธยา 13000*

*[4] Phra Nakhon Si Ayutthaya Rice Research Center, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand*

*[*] Corresponding author: E-mail: sukanya.a@rice.mail.go.th*



*(Received: 24 July 2023; Accepted: 11 July 2024)*



**Abstract**: Unmanned aerial vehicle (UAV) or drone has been used in agriculture with great efficiency and play a major role in precision agriculture. The objective of this research was to examine the effectiveness of insecticides against rice thrips and their effects on natural enemies in the outbreak rice fields using UAV spraying during the dry and wet seasons of 2021 in Suphan Buri and Chiang Rai provinces. The randomized complete block was used, and the recommended application rate of 3 liters of water per rai was sprayed over the rice plants at a level of 2 meters using the agricultural drone model AGRAS 16 and DJI MG-1P. The results showed that the efficiency of most pesticides were 79.12 to 97.36 percent in controlling rice thrips after 14-day spraying interval. When controlling rice thrips, the efficiency and effect of insecticides were considered from the percentage of rice leaf damage, the average number of infected plants per plant, effectiveness, diversity of natural enemies, Shannon-Wiener diversity index, and cost of rice thrips





Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

insecticides used per rai were conducted. When sprayed with unmanned aerial vehicles on 1 rai of paddy fields, carbaryl 85% WP at the rate of 40 grams per 3 liters of water and dinotefuran 10% WP at the rate of 20 grams per 3 liters of water were suitable to recommend to farmers and contract sprayers to choose for effective prevention.

**Keywords**: Rice, thrips, unmanned aerial vehicles (drones), insecticides, efficacy

**บทคัดย่อ**: เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (unmanned aerial vehicle, UAV)) หรือโดรน (drone) ถูกนำมาใช้ในภาคการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีบทบาทมากขึ้นในการทำเกษตรแบบแม่นยำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟและผลกระทบต่อความหลากหลายของศัตรูธรรมชาติในนาข้าวด้วยอากาศยานไร้คนขับพ่นสาร ในแปลงเกษตรกรที่พบการระบาดของเพลี้ยไฟ ฤดูนาปรังและฤดูนาปี พ.ศ. 2564 จังหวัดสุพรรณบุรีและเชียงราย วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block ใช้โดรนการเกษตร รุ่น AGRAS 16 และรุ่น DJI MG-1P พ่นสารตามอัตราแนะนำต่อน้ำ 3 ลิตรต่อไร่ บินพ่นสารอยู่เหนือต้นข้าว 2 เมตร ผลการทดลองพบว่า หลังพ่นสาร 14 วัน สารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟส่วนใหญ่ควบคุมเพลี้ยไฟได้ดี ประสิทธิภาพร้อยละ 79.12 - 97.36 เมื่อพิจารณาอัตราความเสียหายของใบข้าว ค่าเฉลี่ยจำนวนเพลี้ยไฟที่ลงทำลายข้าวต่อต้น ประสิทธิภาพความหลากหลายของศัตรูธรรมชาติ ค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener และราคาของสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟที่ใช้ต่อไร่ การพ่นสารด้วยอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่นาข้าว 1 ไร่ สาร carbaryl 85% WP อัตรา 40 กรัมต่อน้ำ 3 ลิตร และสาร dinotefuran 10% WP อัตรา 20 กรัมต่อน้ำ 3 ลิตร เป็นสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟที่มีประสิทธิภาพ ควรแนะนำให้เกษตรกรและผู้ประกอบการรับจ้างพ่นสารได้เลือกใช้

**คำสำคัญ**: ข้าว เพลี้ยไฟ อากาศยานไร้คนขับ (โดรน) สารป้องกันกำจัดแมลง ประสิทธิภาพ

## คำนำ

เพลี้ยไฟเป็นแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญ ทำลายข้าวในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 2-3 สัปดาห์ โดยเฉพาะสภาพอากาศร้อนแห้งแล้งหรือฝนทิ้งช่วงนานติดต่อกัน หรือนาข้าวที่ขาดน้ำ ชนิดที่พบมากและมีความสำคัญ ได้แก่ เพลี้ยไฟ *Stenchaetothrips biformis* (Bagnall) (Thripidae: Thysanoptera) เป็นแมลงจำพวกปากดูด ขนาดเล็ก ลำตัวยาว 1-2 มิลลิเมตร ตัวอ่อนมีสีเหลืองอ่อน ตัวเต็มวัยวางไข่ในเนื้อเยื่อของใบข้าว ระยะตัวอ่อนถึงระยะตัวเต็มวัยประมาณ 15 วัน ทำลายข้าวโดยการดูดกินน้ำเลี้ยงจากใบข้าวที่ยังอ่อน ปลายใบข้าวจะเหี่ยว ขอบใบม้วนเข้าหากลางใบ อาศัยอยู่ในใบที่ม้วนและตามซอกใบที่ถูกทำลาย ถ้าระบาดมาก ๆ ทำให้ต้นข้าวแห้งตายได้ทั้งแปลง (Sriratanasak *et al*., 2019) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อศัตรูข้าว ผลกระทบทางตรง เช่น ผลต่ออัตราการขยายพันธุ์ การเจริญเติบโต การอยู่รอด และการแพร่กระจายตัว และผลกระทบทางอ้อม เช่น ผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างศัตรูพืชและสภาพแวดล้อม รวมถึงศัตรูธรรมชาติและสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหาร สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโต การแพร่กระจาย และการเข้าทำลายของเพลี้ยไฟข้าว (Gullino *et al*., 2022; Pushpalatha *et al*., 2023; Rezvi *et al*., 2023; Skendzic *et al*., 2021; Wang *et al*., 2022; Yadav *et al*., 2019) สอดคล้องกับรายงานสถานการณ์การระบาดของศัตรูข้าวในประเทศไทย โดยกรมส่งเสริมการเกษตรรายงานการระบาดของเพลี้ยไฟข้าวในทุกภูมิภาคของประเทศต่อเนื่องตั้งแต่ พ.ศ. 2561- มิถุนายน พ.ศ. 2566 รวมพื้นที่

กว่า 25,937 ไร่ (Plant Protection Promotion and Soil-Fertilizer Management Division, 2023) พฤติกรรมการใช้สารป้องกันกำจัดแมลงที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ เช่น การใช้สารป้องกันกำจัดแมลงไม่ถูกชนิด ไม่ถูกอัตราและช่วงเวลา รวมถึงวิธีการใช้ ล้วนเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดการระบาดรุนแรง (Sriratanasak, 2010) นอกจากนั้นการผสมสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชหลายชนิดในคราวเดียว โดยไม่ศึกษาผังการผสมสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช มีผลต่อการเสริมฤทธิ์หรือลดทอนประสิทธิภาพของสารแต่ละชนิด (Srijuntra and Punyawattoe, 2023) อีกทั้งอาจก่อให้เกิดศัตรูพืชสร้างความต้านทาน (resistance) ประชากรศัตรูพืชเป้าหมายอาจฟื้นขึ้นมาอย่างรวดเร็วหลังการใช้สารป้องกันกำจัดแมลง เกิดการระบาดเพิ่ม (resurgence) หรือการระบาดของแมลงศัตรูพืชที่มีความสำคัญอันดับรอง (secondary pest outbreak) และท้ายสุดสารป้องกันกำจัดแมลงที่ใช้ในระบบนิเวศเกษตรจะสร้างอันตรายต่อแมลงที่ผสมเกสร สัตว์ป่า และสิ่งมีชีวิตที่มีประโยชน์ต่างๆ (Vungsilabutr, 2002)

การใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (unmanned aerial vehicle, UAV) หรือโดรน (drone) ถูกนำมาใช้ในภาคการเกษตรอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง อากาศยานไร้คนขับ 1 ลำ พ่นสารได้ 100-200 ไร่ต่อวัน ทดแทนแรงงานคนได้ 10-20 คน ปลอดภัยต่อเกษตรกรเนื่องจากลดการสัมผัสและสูดดมสารขณะพ่น และป้องกันกำจัดศัตรูข้าวได้อย่างแม่นยำและทันท่วงที เป็นทางเลือกในสภาวะขาดแคลนแรงงานที่มีทักษะ ทำให้เกษตรกรและบริษัทเคมีเกษตรนำเทคโนโลยีการพ่นสารด้วยอากาศยานไร้คนขับเข้ามาทดแทนวิธีการพ่นสารแบบเดิม (Iost Filho *et al*., 2020; Kim *et al*., 2018; Li *et al*., 2019; Parmar *et al*., 2021; Song *et al*., 2020; Subramanian *et al*., 2021) เช่น การพ่น tebuconazole 50% + trifloxystrobin 25 % WG ด้วยอากาศยานไร้คนขับมีการตกค้างของละอองสารบนต้นข้าวและมีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดโรคเมล็ดด่างเทียบเท่ากับวิธีการพ่นของเกษตรกรที่พ่นด้วยเครื่องยนต์พ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูง (Punyawattoe *et al*., 2019) และการพ่น tricyclazole และ isoprothiolane ด้วยอากาศยานไร้คนขับมีค่าเฉลี่ยของความรุนแรงและการเกิดโรคไหม้ไม่แตกต่างกับการพ่นด้วยแรงงานคน (Takham *et al*., 2022) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟและผลกระทบต่อความหลากหลายของศัตรูธรรมชาติในนาข้าวจากการใช้อากาศยานไร้คนขับพ่นสาร เพื่อพัฒนาคำแนะนำและแนวทางการกำหนดมาตรฐานการใช้อากาศยานไร้คนขับพ่นสารอย่างมีประสิทธิภาพ ถูกต้อง ปลอดภัย และคุ้มค่ากับการลงทุน เป็นทางเลือกสำหรับเกษตรแบบแม่นยำ นำไปสู่การพัฒนาระบบการเกษตรสมัยใหม่ของประเทศ

## อุปกรณ์และวิธีการ

1. ดำเนินการในแปลงนาที่พบการระบาดหรือมีประวัติการระบาดของเพลี้ยไฟถึงระดับเศรษฐกิจ คือ พบตัวเต็มวัย 1-3 ตัวต่อต้น ในข้าวระยะกล้าหรือพบใบข้าวม้วนมากกว่าร้อยละ 20 อายุข้าวไม่เกิน 30 วันหลังหว่าน วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block มี 4 ซ้ำ ขนาดแปลงย่อย 10x20 เมตร ระยะห่าง 10 เมตร เมื่อข้าวอายุ 15 วันหลังหว่าน ดำเนินการที่แปลงเกษตรกร อำเภอบางปลาม้า จังหวัดสุพรรณบุรี ฤดูนาปรัง พ.ศ. 2564 ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 พ่นด้วยอากาศยานไร้คนขับ รุ่น AGRAS T16 หัวฉีดแบบพัด จำนวน 8 หัว และแปลงเกษตรกร อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ฤดูนาปี พ.ศ.2564 ปลูกข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 พ่นด้วยอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI MG-1P หัวฉีดแบบพัด จำนวน 4 หัว อากาศยานไร้คนขับทั้ง 2 รุ่น ผลิตโดย Shenzhen DJI Sciences and Technologies Ltd. สาธารณรัฐประชาชนจีน โดยใช้สารป้องกันกำจัดแมลงที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมใช้ อัตราแนะนำข้างฉลาก (Table 1) และน้ำกลั่น (กรรมวิธีควบคุม) ต่อการใช้น้ำ 3 ลิตรต่อพื้นที่ 1 ไร่ บินพ่นสารอยู่เหนือต้นข้าวที่ระดับ 2 เมตร ตามวิธีการของ Punyawattoe (2021)

Table 1. List of 7 tested insecticides on their recommended doses for the rice thrips, *Stenchaetothrips biformis* (Bagnall) trial, and cost of insecticide application based on the recommended doses

| Insecticide name | Recommended dose[1] (per 20 liters of water) | Application dose of drone (per 3 liters of water per rai) | Cost of insecticides based on (baht/rai) | Subgroup, class or Exemplifying active[2] | Main group/Primary site of action[3] | Target pests on the product label |
|---|---|---|---|---|---|---|
| carbaryl 85% WP | 20 grams | 40 grams | 28.00 | 1A Carbamates | Acetylcholinesterase | Rice thrips |
| carbosulfan 20% | 30 milliliters | 60 milliliters | 30.00 | 1A Carbamates | Acetylcholinesterase | Rice thrips, Rice |
| malathion 83% EC | 40 milliliters | 80 milliliters | 36.00 | 1B Organophosphates | Acetylcholinesterase | Rice thrips |
| triazophos 40% | 50 milliliters | 100 milliliters | 48.00 | 1B Organophosphates | Acetylcholinesterase | Rice thrips |
| dinotefuran 10% WP | 10 grams | 20 grams | 60.00 | 4A Neonicotinoids | Nicotinic acetylcholine | Rice thrips, Brown planthopper |
| thiacloprid 24% SC | 3 milliliters | 6 milliliters | 18.00 | 4A Neonicotinoids | Nicotinic acetylcholine | Rice thrips |
| imidacloprid 70% WG | 3 grams | 6 grams | 21.00 | 4A Neonicotinoids | Nicotinic acetylcholine | Rice thrips, Brown planthopper |

[1] When using a motorised high pressure pump sprayer on rice that is no older than 40 days, utilize 40 liters of water per rai (Punyawattoe, 2013)

[2,3] IRAC (2023)

2. ศึกษาประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟจากการใช้อากาศยานไร้คนขับพ่นสาร

2.1 ตรวจนับแมลงด้วยวิธีการสุ่มนับโดยตรง สุ่มนับต้นข้าวแปลงละ 40 ต้น และตรวจนับทุกใบตามแนวเส้นทแยงมุม เว้นระยะห่างจากขอบแปลง 50 เซนติเมตร นับจำนวนเพลี้ยไฟและประเมินการทำลายของเพลี้ยไฟ โดยให้คะแนน (grade) ระดับการทำลายของเพลี้ยไฟ พิจารณาจากส่วนใบยอดของต้นข้าว ตรวจนับก่อนใช้สารป้องกันกำจัดแมลงเป็นเวลา 1 วัน และหลังจากใช้สารป้องกันกำจัดแมลงเป็นเวลา 3 7 และ 14 วัน แล้วคำนวณหาร้อยละ (%) ของใบข้าวที่ถูกทำลาย ดังนี้

0 = ไม่พบการทำลาย
1 = ยอดใบแรกม้วน 1/3 ของพื้นที่ใบ
3 = ยอดใบที่ 1 และ 2 ม้วน 1/3 – 1/2 ของพื้นที่ใบ
5 = ยอดใบที่ 1, 2 และ 3 ม้วน 1/2 ของพื้นที่ใบ
7 = ใบข้าวทุกใบม้วนทั้งใบและมีสีเหลือง
9 = ต้นข้าวเหี่ยวแห้งตายทั้งแปลง

$$\text{ร้อยละของใบข้าวที่ถูกทำลาย} = \frac{\text{จำนวนใบข้าวที่ถูกทำลาย} \times 100}{\text{จำนวนใบข้าวทั้งหมด}}$$

2.2 คำนวณจำนวนเพลี้ยไฟที่พบเฉลี่ยต่อต้นและอัตราความเสียหายของใบข้าว (ร้อยละ) นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อใช้คำนวณประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดแมลง กรณีจำนวนเพลี้ยไฟก่อนพ่นสารแตกต่างกันทางสถิติ (heterogeneity) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารแต่ละชนิด ตามวิธีการของ Henderson – Tilton (Henderson and Tilton, 1955) (A) กรณีจำนวนเพลี้ยไฟก่อนพ่นสารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (homogeneous) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารแต่ละชนิด ตามวิธีการของ Abbott's formula (Abbott, 1925) (B)

$$\text{Corrected \%} = \left(1 - \frac{\text{n in Co before teatment} * \text{n in T after treatment}}{\text{n in Co after teatment} * \text{n in T after treatment}}\right) * 100 \quad \text{(A)}$$

$$\text{Corrected \%} = \left(1 - \frac{\text{n in T after treatment}}{\text{n in T Co treatment t}}\right) * 10 \quad \text{(B)}$$

โดย n = จำนวนเพลี้ยไฟ T = กรรมวิธีที่พ่นสารป้องกันกำจัดแมลง Co = กรรมวิธีควบคุม (พ่นน้ำกลั่น)

2.3 ศึกษาความหลากหลายของศัตรูธรรมชาติ ตรวจนับแมลงโดยการใช้เครื่องดูดแมลง D-Vac แปลงละ 5 จุด จุดละ 1x1 เมตร เว้นระยะห่างจากขอบแปลง 50 เซนติเมตร ก่อนใช้สารป้องกันกำจัดแมลงเป็นเวลา 1 วัน และหลังจากใช้สารป้องกันกำจัดแมลงเป็นเวลา 7 และ 14 วัน เก็บตัวอย่างแมลงในแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70 เพื่อจำแนกชนิดและนับจำนวนแมลงศัตรูข้าวและศัตรูธรรมชาติภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ตามวิธีการของ Chaiwong *et al*. (2011) ข้อมูลชนิดและปริมาณแมลงนำมาวิเคราะห์ปริมาณ (%) ของศัตรูธรรมชาติที่ลดลงในแปลงที่ใช้สารเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ใช้สาร แล้วเทียบระดับความเป็นอันตรายต่อศัตรูธรรมชาติของสารป้องกันกำจัดแมลงตามหลักเกณฑ์ Oomen *et al*. (2001) และเปรียบเทียบดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพเพื่อหาค่าดัชนีความหลากชนิด Shannon-Wiener index (Burikham, 1981; Ruay-aree, 2002; Chaiwong *et al*., 2011) ของแต่ละกรรมวิธี

ระดับความเป็นอันตรายต่อศัตรูธรรมชาติของสารป้องกันกำจัดแมลง

<25 = ไม่เป็นอันตราย (harmless)
25-50 = อันตรายเล็กน้อย (slightly harmless)
50-75 = อันตรายปานกลาง (moderately harmless)
> 75 = อันตรายมาก (very harmful)

Shannon-Wiener index (H)

$$H = -\sum (pi)(\log_2 pi)$$

H = ดัชนีความหลากชนิดของ Shannon-Wiener (Shannon-Wiener diversity index)
pi = อัตราส่วนระหว่างจำนวนสิ่งมีชีวิตชนิดที่ i ต่อจำนวนสิ่งมีชีวิตที่พบทั้งหมด

## ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟจากการใช้อากาศยานไร้คนขับพ่นสาร

1.1 แปลงเกษตรกรจังหวัดสุพรรณบุรี ก่อนพ่นสารพบการทำลาย (ร้อยละ 4.75-14.32) และจำนวนเพลี้ยไฟ (3.79-10.07 ตัวต่อต้น) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หลังพ่นสาร 3 วัน พบการทำลายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แปลงที่พ่น carbosulfan 20% EC และ thiacloprid 24% SC มีการทำลายลดลง ยกเว้น carbaryl 85% WP, dinotefuran 10% WP และ thiacloprid 24% SC มีการทำลายเพิ่มขึ้น แต่หลังพ่นสาร 7 และ 14 วัน ทุกกรรมวิธีที่พ่นสารมีการทำลายและจำนวนเพลี้ยไฟลดลงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Table 2) ประสิทธิภาพหลังพ่นสาร 3 วัน ร้อยละ 35.50 - 55.14 แต่หลังพ่นสาร 7 และ 14 วัน ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นทุกกรรมวิธี โดย carbosulfan 20% EC มีประสิทธิภาพสูงสุด ร้อยละ 96.01 และ 97.36 ตามลำดับ (Table 2)

1.2 แปลงเกษตรกรจังหวัดเชียงราย ก่อนพ่นสารพบการทำลาย (ร้อยละ 7.59-35.55) และจำนวนเพลี้ยไฟ (3.1-12.9 ตัวต่อต้น) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หลังพ่นสารพบการทำลายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หลังพ่นสาร 3 วัน การทำลายลดลง ยกเว้น carbosulfan 20 % EC มีการทำลายเพิ่มขึ้น และลดลงหลังพ่นสาร 7 และ 14 วัน (Table 3) เช่นเดียวกับจำนวนเพลี้ยไฟหลังพ่นสารมีจำนวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หลังพ่นสาร 3 วัน มีจำนวนลดลงและเพิ่มขึ้นหลังพ่นสาร 7 วัน แต่หลังพ่นสาร 14 วัน พบจำนวนลดลง (0.13-0.97 ตัวต่อต้น) ในขณะที่ carbosulfan 20% EC มีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่อง (Table 3) ประสิทธิภาพหลังพ่นสาร 3 วัน เฉลี่ยร้อยละ 80 ยกเว้น malathion 83% EC และ carbaryl 85% WP มีประสิทธิภาพสูงที่สุด เฉลี่ยร้อยละ 90 แต่หลังพ่นสาร 14 วัน dinotefuran 10% WP มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 97.03 (Table 3)

การใช้อากาศยานไร้คนขับพ่นสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟทั้ง 2 สถานที่ พบว่า หลังพ่นสาร 14 วัน สารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยไฟได้ดี (ร้อยละ 79.12-97.36) ยกเว้นสาร imidacloprid 70% WG มีประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 60.34 ซึ่ง imidacloprid, dinotefuran และ thiacloprid เป็นสารกลุ่มนีโอนิโคตินอยด์ ออกฤทธิ์โดยปรับการทำงานของตัวรับสารอะเซทิลโคลีนชนิดนิโคตินิกโดยการจับแบบแข่งขัน มีการใช้อย่างกว้างขวางและแพร่หลายมากที่สุดในโลก ได้รับการจดทะเบียนมากกว่า 120 ประเทศ มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดแมลงจำพวกปากดูด (Simon-Delso *et al*., 2015) สามารถละลายน้ำได้ค่อนข้างสูงและเป็นพิษต่ำต่อมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Tang *et al*., 2017) สารกลุ่มนีโอนิโคตินอยด์มีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยไฟแตกต่างกัน อาจเกิดจากความเป็นพิษของสารป้องกันกำจัดแมลงที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยไฟ สอดคล้องกับ Ding *et al*. (2018) รายงานว่า การคลุกเมล็ดข้าวโพดด้วย thiamethoxam, clothianidin และ imidacloprid มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมเพลี้ยไฟข้าวโพด ตลอดฤดูปลูก ยกเว้น acetamiprid, nitenpyram, dinotefuran และ thiacloprid มีประสิทธิภาพต่ำในการควบคุมเพลี้ยไฟข้าวโพดในช่วงฤดูร้อน ซึ่ง Byrne *et al.* (2007) รายงานว่า thiamethoxam, clothianidin และ imidacloprid สามารถควบคุมเพลี้ยไฟอะโวคาโดได้ดีเมื่อทดสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ และ Shan *et al.* (2012) พบว่า ระดับความเป็นพิษของ thiamethoxam และ acetamiprid ต่อตัวอ่อนและตัวเต็มวัยเพศเมียของเพลี้ยไฟดอกไม้ตะวันตก *Frankliniella occidentalis* Pergande สูงกว่าสารในกลุ่มนีโอนิโคตินอยด์ชนิดอื่นๆ ที่ทดสอบ (nitenpyram, imidacloprid และ thiacloprid) ในขณะที่ carbosulfan และ carbaryl เป็นสารกลุ่มคาร์บาเมท malathion และ triazophos เป็นสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต ออกฤทธิ์โดยเป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทิลโคลินเอสเทอเรส ทำให้มีการคั่งของสารสื่อประสาท เกิดการถ่ายทอดกระแสประสาทไม่หยุดและเกิดมากเกินไป จนทำให้แมลงตาย สารทั้งสองกลุ่มย่อยนี้เป็นสารป้องกันกำจัดแมลงกลุ่มเก่าที่ออกฤทธิ์กว้าง (*broad spectrum*) ทั่วโลกมีการใช้อย่างแพร่หลายในพืชมากกว่า 120 ชนิด (Ware, 2000) โดยเฉพาะ carbaryl ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากเป็นพิษต่ำต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีค่าครึ่งชีวิตในสิ่งแวดล้อมสั้น และสามารถควบคุมแมลงศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า 160 ชนิด (Ware, 2001)

Table 2. Efficacy of insecticides in controlling rice thrips, *Stenchaetothrips biformis* (Bagnall) by using the unmanned aerial vehicle in rice fields at Suphan Buri province, dry season 2021

| Treatment | Leaf damage (%) | | | | Number of thrips (insects/plant) | | | | Efficacy (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PT | 3 DAS | 7 DAS | 14 DAS | PT | 3 DAS | 7 DAS | 14 DAS | 3 DAS | 7 DAS | 14 DAS |
| carbaryl 85% | 14.32 a [1] | 15.27 b | 3.86 b | 3.11 b | 8.34 | 6.14 | 1.94 b | 0.46 b | 44.61 | 84.22 | 97.04 |
| carbosulfan | 7.80 abc | 4.51 c | 1.57 b | 0.95 b | 10.07 | 6.01 | 0.59 b | 0.50 b | 55.14 | 96.01 | 97.36 |
| dinotefuran 10% | 4.75c | 11.65 b | 3.20 b | 2.22 b | 4.51 a | 3.87 | 1.82 b | 0.86 b | 35.50 | 72.69 | 89.84 |
| thiacloprid 24% | 6.27 bc | 3.13 c | 3.45 b | 2.79 b | 3.98 a | 4.41 | 1.52 b | 0.72 b | 35.55 | 74.19 | 90.40 |
| triazophos 40% | 9.65 abc | 11.47 b | 4.13 b | 2.15 b | 3.79 a | 3.15 | 1.32 b | 0.98 b | 37.54 | 76.47 | 86.26 |
| Control | 12.04 ab | 26.63 a | 33.33 a | 30.09 a | 6.86 b | 9.13 | 10.16 a | 12.88 a | - | - | - |
| CV (%) | 39.34 | 30.93 | 30.03 | 33.68 | 37.85 | 40.61 | 37.10 | 14.15 | - | - | - |

[1] Means in the same column followed by different letters are significantly different ($P = 0.05$) by DMRT, PT = Pre-treatment count, DAS = days after spraying

Table 3. Efficacy of insecticides in controlling rice thrips, *Stenchaetothrips biformis* (Bagnall) by using the unmanned aerial vehicle in rice fields at Chiang Rai province, wet season 2021

| Treatment | Leaf damage (%) | | | | Number of thrips (insects/plant) | | | | Efficacy (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PT | 3 DAS | 7 DAS | 14 DAS | PT | 3 DAS | 7 DAS | 14 DAS | 3 DAS | 7 DAS | 14 DAS |
| carbaryl 85% WP | 30.90 cd [1] | 28.07 c | 20.50 ab | 13.18 a | 12.70 c | 1.33 a | 3.33 a | 0.97 a | 89.48 | 86.82 | 79.12 |
| carbosulfan 20% EC | 7.59 a | 26.86 bc | 22.28 ab | 15.28 ab | 7.10 ab | 1.40 a | 1.33 a | 0.23 a | 80.22 | 79.66 | 93.96 |
| dinotefuran 10% WP | 22.32 bc | 21.54 b | 22.77 ab | 18.02 ab | 12.90 c | 2.50 a | 4.33 a | 0.13 a | 80.73 | 83.20 | 97.03 |
| thiacloprid 24% SC | 20.41 bc | 10.13 a | 14.37 a | 14.67 ab | 7.00 ab | 1.33 a | 2.00 a | 0.23 a | 80.98 | 85.70 | 92.26 |
| imidacloprid 70% WG | 25.82 bcd | 21.59 b | 26.75 b | 16.28 ab | 3.10 a | 0.67 a | 1.33 a | 0.97 a | 78.35 | 52.99 | 60.34 |
| malathion 83% EC | 14.78 ab | 12.00 a | 15.85 a | 12.83 a | 3.70 a | 0.33 a | 1.33 a | 0.27 a | 90.92 | 81.80 | 80.90 |
| Control | 35.55 d | 44.76 c | 57.01 c | 25.51 b | 10.80 bc | 10.87 | 21.67 | 4.00 b | - | - | - |
| CV (%) | 28.48 | 14.70 | 20.29 | 33.84 | 29.64 | 85.27 | 69.75 | 61.74 | - | - | - |

[1] Means in the same column followed by different letters are significantly different ($P = 0.05$) by DMRT, PT = Pre-treatment count, DAS = days after spraying

เมื่อพิจารณาราคาของสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟที่ใช้ต่อไร่ พบว่า thiacloprid 24% SC และ carbaryl 85% WP เป็นสารที่มีราคาต่ำที่สุด (Table 1) แต่ทั้งนี้ thiacloprid และ malathion เป็นสารที่อยู่ในบัญชีของสหภาพยุโรปที่จัดเป็นสารขัดขวางการทำงานของต่อมไร้ท่อ (endocrine disruptors) (Cobelli and Wangsomboondee, 2019) และ triazophos เป็นสารป้องกันกำจัดแมลงที่ก่อให้เกิดการระบาดเพิ่ม (resurgence) ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าว (Vungsilabutr, 2002) ดังนั้น carbaryl 85% WP และ dinotefuran 10% WP จึงเป็นสารทางเลือกทดแทนสารทั้งสองชนิด

2. ความหลากหลายของศัตรูธรรมชาติจากการใช้อากาศยานไร้คนขับพ่นสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟในนาข้าว

2.1 แปลงเกษตรกรจังหวัดสุพรรณบุรี ความชุกชุม (relative abundant) ของศัตรูธรรมชาติ ก่อนพ่นสารพบศัตรูธรรมชาติ 3 อันดับ ได้แก่ Hymenoptera, Diptera และ Odonata หลังพ่นสารพบศัตรูธรรมชาติ 5 อันดับ ได้แก่ Hemiptera, Hymenoptera, Araneae, Diptera และ Coleoptera กรรมวิธีที่พ่นสารลดปริมาณศัตรูธรรมชาติที่เป็นตัวห้ำกลุ่มแมลงวัน กลุ่มแมลงปอ และศัตรูธรรมชาติที่เป็นกลุ่มแตนเบียน ในขณะที่กลุ่มเพลี้ยและมวน กลุ่มแมงมุม และกลุ่มด้วงมีปริมาณเพิ่มขึ้น (Table 4) เมื่อเปรียบเทียบระดับความเป็นอันตรายต่อศัตรูธรรมชาติ พบว่า กรรมวิธีที่พ่นสารไม่เป็นอันตรายต่อศัตรูธรรมชาติ (-22.6-19.6) สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener เท่ากับ 0 หลังพ่นสาร 14 วัน ทุกกรรมวิธีที่พ่นสารและกรรมวิธีควบคุม แสดงถึงจำนวนชนิดและปริมาณศัตรูธรรมชาติที่มีปริมาณต่ำ ทั้งนี้ดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener (H') เพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีจำนวนชนิดพันธุ์ในสังคมเพิ่มขึ้นและมีความสม่ำเสมอในการกระจายของปริมาณศัตรูธรรมชาติในแต่ละชนิดพันธุ์ (Pansawang *et al*., 2017) ซึ่ง Ueno (2012) รายงานว่า แนวทางปฏิบัติหลายอย่างที่ใช้ในระบบการ-ผลิตข้าวสมัยใหม่ โดยเฉพาะการใช้สารป้องกันกำจัดแมลงที่มีฤทธิ์กว้าง (broad spectrum) และความถี่ในการใช้ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อจำนวนชนิดและลดประสิทธิภาพในการทำงานของศัตรูธรรมชาติเหล่านั้นด้วย ทำให้ความหลากหลายของศัตรูธรรมชาติในนาข้าวลดลง รวมถึงอาร์โทรปอด (arthropod) ชนิดอื่น ๆ เช่น แมลงที่ช่วยผสมเกสร และแมลงในน้ำที่อยู่ร่วมกันในนิเวศนาข้าวลดลง (Afifah and Sugiono, 2020; Chaigarun *et al*., 2011; Hladik *et al*., 2018; Ngin *et al*., 2017; Ruay-aree, 2002; Singh *et al*., 2020)

2.2 แปลงเกษตรกรจังหวัดเชียงราย ความชุกชุมของศัตรูธรรมชาติ ก่อนพ่นสารพบศัตรูธรรมชาติ 3 อันดับ ได้แก่ Hymenoptera, Hemiptera และ Coleoptera หลังพ่นสารพบศัตรูธรรมชาติ 6 อันดับ ได้แก่ Hymenoptera, Araneae Odonata, Diptera, Orthoptera และ Coleoptera (Table 4) กรรมวิธีที่พ่นสารลดปริมาณศัตรูธรรมชาติที่เป็นแตนเบียน และศัตรูธรรมชาติที่เป็นตัวห้ำกลุ่มเพลี้ยและมวน และกลุ่มด้วง ในขณะที่ศัตรูธรรมชาติที่เป็นตัวห้ำกลุ่มแมงมุม กลุ่มแมลงปอ กลุ่มแมลงวัน และกลุ่มจิ้งหรีดตั๊กแตนมีปริมาณเพิ่มขึ้น (Table 4) เมื่อเปรียบเทียบระดับความเป็นอันตรายต่อศัตรูธรรมชาติ กรรมวิธีที่พ่น thiacloprid 24% SC มีอันตรายเล็กน้อยต่อศัตรูธรรมชาติ (34.3) สอดคล้องกับ Alam and Das (2020) รายงานว่า แมงมุมสุนัขป่า *Lycosa pseudoannulata* และด้วง *Ophionea indica* ศัตรูธรรมชาติที่สำคัญของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังการใช้สาร 1 วันต่อเนื่องถึง 7 วัน ตามอัตราที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับ Zeng *et al*. (2010) รายงานว่า หลังพ่น thiacloprid 48% SC อัตรา 45-63 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกแตร์ เป็นเวลา 7 วัน พบประชากรแมงมุมลดลงร้อยละ 42.86-60.90 ในขณะที่สารชนิดอื่นไม่เป็นอันตรายต่อศัตรูธรรมชาติ (-20-22.9) สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หลังพ่นสาร 14 วัน ทุกกรรมวิธีที่พ่นสารและกรรมวิธีควบคุม ก่อนพ่นสารและหลังพ่นสาร 14 วัน พบค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener สูงสุดเท่ากับ 0.37 และ 0.58 ตามลำดับ (Figure 1) ซึ่ง Lu *et al*. (2006) รายงานว่า พบความชุกชุมของศัตรูธรรมชาติกลุ่มอาร์โทรปอดมากที่สุดในข้าวระยะน้ำนม (milking stage) ในแปลงนาของสถาบันวิจัยข้าวระหว่างประเทศ (International Rice Research Institute) ในขณะที่ Mukherjee and Khan (2017) รายงานว่า ระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่แตกต่างกันความชุกชุมของ

Table 4. List of natural enemies in different rice ecosystems and percentage of natural enemy's abundance collected by D-Vac before and after spraying insecticides for controlling rice thrips, *Stenchaetothrips biformis* (Bagnall) under rice field condition at Suphan Buri provinces, during the dry seasons of 2021, and Chiang Rai provinces, during the wet seasons of 2021

| Functional Group | Order | Family | Scientific name | Percentage of abundance (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Suphan Buri province | | Chiang Rai province | |
| | | | | Pre-spray | Post- | Pre-spray | Post-spray |
| Predator | Araneae | Lycosidae | *Lycosa pseudoannulata* (Bosenberg and Strand) | 0 | 0 | 0 | 21.43 |
| | | Oxyopidae | *Oxyopes javanus* Thorell | 0 | 11.43 | 0 | 4.76 |
| | | Oxyopidae | *Oxyopes javanus Throll* / *Oxyopes linestipes* | 0 | 0 | 0 | 4.76 |
| Predator | Coleoptera | Coccinellidae | *Micraspis discolor* (Fabricius) | 0 | 2.86 | 12.50 | 4.76 |
| Predator | Diptera | Pipunculidae | *Pipunculus* sp. | 40.00 | 2.86 | 0 | 4.76 |
| | | Chloropidae | *Anatrichus pygmaeus* | 0 | 0 | 0 | 7.14 |
| | | Ephydridae | *Ochthera brevitibialis* | 0 | 2.86 | 0 | 0 |
| Predator | Hemiptera | Miridae | *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter) | 0 | 25.71 | 25.00 | 0 |
| | | Veliidae | *Microvelia douglasi atrolineata* (Bergroth) | 0 | 20.00 | 0 | 0 |
| Predator | Odonata | Agrionidae | *Agriocnemis* sp. | 20.00 | 0 | 0 | 14.29 |
| Predator | Orthoptera | Grylloidea | *Metioche vittaticollis* | 0 | 0 | 0 | 7.14 |
| Parasitoid | Hymenoptera | Braconidae | *Tropobracon schoenobii* | 0 | 0 | 0 | 2.38 |
| | | Eulophidae | *Tetrastichus schoenobii* | 40.00 | 2.86 | 12.50 | 9.52 |
| | | Ichneumonidae | *Temelucha* sp. | 0 | 0 | 0 | 2.38 |
| | | Mymaridae | *Anagrus* sp. | 0 | 0 | 12.50 | 7.14 |
| | | Mymaridae | *Gonatocerus* sp. | 0 | 0 | 12.50 | 0 |
| | | Mymaridae | *Mymar taprobanicum* | 0 | 0 | 0 | 7.14 |
| | | Pteromalidae | *Obtusiclava oryzae* | 0 | 0 | 12.50 | 4.76 |
| | | Pteromalidae | *Opius* sp. | 0 | 31.43 | 12.50 | 7.14 |

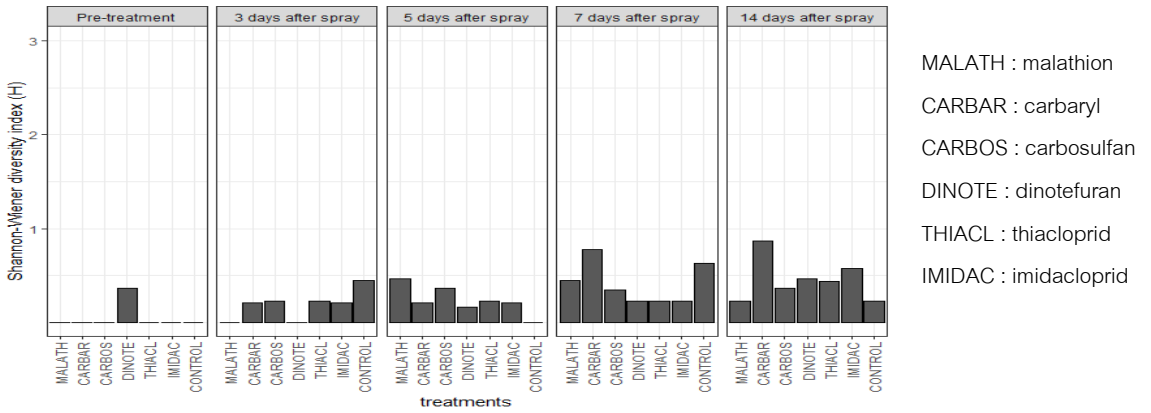



Figure 1. Shannon-Wiener diversity index (H) of natural enemies in rice fields Chiang Rai province, wet season 2021

ศัตรูพืชจะพบสูงในระยะกำเนิดช่อดอกหรือระยะสร้างรวงอ่อน (panicle initiation stage) เช่นเดียวกับการรายงานของ Wiranto *et al.* (2022) ที่พบว่าจำนวนชนิดของแมลงและดัชนีความหลากชนิดมีค่าสูงในข้าวพันธุ์ IR64 ในระยะการสร้างรวงอ่อนไปจนถึงระยะออกรวง

## สรุป

การใช้อากาศยานไร้คนขับ (โดรน) พ่นสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟในข้าวอายุ 15 วันหลังหว่าน (ระยะกล้า) สาร carbaryl 85% WP อัตรา 40 กรัมต่อน้ำ 3 ลิตรต่อพื้นที่ 1 ไร่ และสาร dinotefuran 10% WP อัตรา 20 กรัมต่อน้ำ 3 ลิตรต่อพื้นที่ 1 ไร่ บินพ่นสารอยู่เหนือต้นข้าวที่ระดับ 2 เมตร มีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยไฟได้ดี ไม่เป็นพิษต่อต้นข้าว มีผลกระทบต่ำต่อศัตรูธรรมชาติ และมีต้นทุนต่อไร่ต่ำที่สุด

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนงบประมาณวิจัย ภายใต้แผนงานวิจัยนวัตกรรมด้านพันธุ์และเทคโนโลยีการผลิตข้าวเพื่อรองรับเกษตรสมัยใหม่ ดร.พฤทธิชาติ ปุญวัฒโท ที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินการวิจัย และคุณจินตนา ไชยวงค์ กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว ที่สนับสนุนข้อมูลการระบาดของเพลี้ยไฟ

## เอกสารอ้างอิง

Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology 18(2): 265-267.

Afifah, L. and D. Sugiono. 2020. The diversity of insect in paddy field in Karawang, West Java with different pest management techniques. Indonesian Journal of Agricultural Science 25(2): 299-306.

Alam, M.J. and G. Das. 2020. Toxicity of insecticides to predators of rice brown planthopper: Wolf spider and carabid beetle. Journal of Food, Nutrition and Agriculture 3: 9-13.

Burikham, I. 1981. Insect ecology guidelines for practice. Department of Entomology, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen Campus, Kasetsart University, Nakhon Pathom Province. 85 p. (in Thai)

Byrne, F.J., N.C. Toscano, A. A. Urena, and J. G. Morse. 2007. Toxicity of systemic

neonicotinoid insecticides to avocado thrips in nursery avocado trees. Pest Management Science 63(9): 860-866.

Chaigarun, S., N. Kessomboon, P. Kessomboon, S. Somboon, P. Khangkhan and K.L. Heong. 2011. Comparison of biodiversity index in pesticide treated and untreated rice field in northeast of Thailand. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences 10(1): 71-79.

Chaiwong, J., W. Sriratanasak and S. Arunmit. 2011. Impact of recommended insecticides on natural enemies in irrigated rice ecosystem. Agricultural Science Journal 42(2)(Suppl.): 73-76. (in Thai)

Cobelli, P. and T. Wangsomboondee. 2019. Endocrine disruptor pesticides: Impact on Thai rice exporters. Thai Rice Research Journal 10(1):108-119. (in Thai)

Ding, J., H.Li., Z. Zhang, J. Lin, F. Liu and W. Mu. 2018. Thiamethoxam, Clothianidin, and Imidacloprid Seed Treatments Effectively Control Thrips on Corn Under Field Conditions. Journal of Insect Science 18(6): 1-8.

Gullino, M.L., R. Albajes, I. Al-Jboory, F. Angelotti, S. Chakraborty, K. A. Garrett, B.P. Hurley, P. Juroszek, R. Lopian, K. Makkouk, X. Pan, M. Pugliese and T. Stephenson. 2022. Climate change and pathways used by pests as challenges to plant health in agriculture and forestry. Sustainability 14(19):12421, doi: 10.3390/su141912421.

Henderson, C.F. and E. W. Tilton. 1955. Tests with acaricides against the brown wheat mite. Journal of Economic Entomology 48(2): 157-161.

Hladik, M.L., A.R. Main and D. Goulson. 2018. Environmental risks and challenges associated with neonicotinoid insecticides. Environmental Science & Technology 52(6): 3329-3335

Iost Filho, F.H., W.B. Heldens, Z. Kong and E.S. de Lange. 2020. Drones: Innovative technology for use in precision pest management. Journal of Economic Entomology 113(1): 1-25.

IRAC. 2023. Mode of action classification scheme version 10.6, September 2023. (Online). Available. https://irac-online.org/mode-of-action/ (November 1, 2023).

Kim, H.G., J.S. Park and D.H. Lee. 2018. Potential of unmanned aerial sampling for monitoring insect populations in rice fields. Florida Entomologist 101(2): 330-334.

Li, X., J.T. Andaloro, E.B. Lang and Y. Pan. 2019. Best management practices for unmanned aerial vehicles (UAVs) application of insecticide products on rice. Paper presented at 2019 ASABE Annual International Meeting. Boston, Massachusetts. 8 p.

Lu, Z.X., S. Villareal, X.P. Yu, K.L. Heong and C. Hu. 2006. Biodiversity and dynamics of planthoppers and their natural enemies in rice fields with different nitrogen regimes. Rice Science 13(3): 218-226.

Mukherjee, P. and M.M.H. Khan. 2017. Abundance of arthropod insect pests and natural enemies in rice field as influenced by rice growth stages and neighboring crops. Bangladesh Journal of Agricultural Research 42(2): 309-319.

Ngin, C., S. Suon, T. Tanaka, A. Yamauchi, K. Kawakita and S. Chiba. 2017. Impact of insecticide applications on arthropod predators and plant feeders in Cambodian rice fields. Phytobiomes 1(3): 128-137.

Oomen, P., T. Rotteveel, S. Poot and C. Brooimans. 2001. Pesticide management: Use of pesticides in IPM, International Course on Integrated Pest Management 2001, Wageningen the Natherlands, March 18 l June 30, 2001, International Agricultural Centre (IAC) (mimeographs).

Pansawang, P., N. Thanakasem., P. Amornwitthawat., S. Pannawong and P. Samanasena. 2017. The study of plant species diversity in nature-based attraction case study: Mae Wong National Park, Nakhonsawan province. pp. 188-195. *In*: Proceedings of the 5th Muban Chombueng Research Rajabhat National Academic Conference. Muban Chombueng Rajabhat University, Ratchaburi. (in Thai)

Parmar, R.P., S.K. Singh and M. Singh. 2021. Bio-efficacy of unmanned aerial vehicle based spraying to manage pests. Indian Journal of Agricultural Sciences 91(9): 1373-1377.

Plant Protection Promotion and Soil-Fertilizer Management Division. 2023. Report on rice pest outbreak situations. (Online). Available: http://www.ppsf.doae.go.th/wordpress/wpcontent/uploads/2023/06/SUMTree_pest_2566_06_21.pdf (June 10, 2023). (in Thai)

Plant Protection Research and Development Office. 2021. Use of Insecticides and Pesticides to Address the Problem of Pest Resistance. Technical Document. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. 146 p. (in Thai)

Punyawattoe, P., W. Sutjaritthammajariyangkun, N. Chaiyasing and S. Supornsin. 2019. The efficacy of the unmanned aerial vehicle (UAV) for controlling rice dirty panicle disease. Thai Agricultural Research Journal 37(1): 27-36. (in Thai)

Punyawattoe, P. 2021. Techniques for pesticide application by UAV. Technical Document. The Curriculum Training on " Image Processing and UAV Applications in Agriculture" 20 August 2021 (via a remote meeting system) Organize by Pest Management Research Group Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture Incorporation of Thai Agricultural Innovation Trade Association and Crop Life Asia. 77 p. (in Thai)

Pushpalatha, R., B. Gangadharan T. Roshni and G. Kutty. 2023. Potential distribution of rice thrips (*S. biformis*) in India under climate change. (Online). Available: https://assets.researchsquare.com/files/rs-2979013/v1/c6d53b05-c1a9-4ea1-bc9f-45ced4c98c68.pdf?c=1686329977 (June 1, 2023).

Rezvi, H.U.A., M. Tahjib Ul. Arif, M.A. Azim, T.A. Tumpa, M.M.H. Tipu, F. Najnine, M.F.A. Dawood, M. Skalicky and M. Brestic. 2023. Rice and food security: Climate change implications and the future prospects for nutritional security. Food and Energy Security 12(1): e430, doi: 10.1002/fes3.430.

Ruay-aree, S. 2002. Impact of insecticide on the natural enemies, arthropod guild communities, and species diversity in rice

ecosystem. pp. 97-98. *In*: Proceedings of Rice and Temperate Cereal Crops Annual Conference 2002. Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)

Shan, C.H., S.Z. Ma, M.H. Wang, and G.F. Gao. 2012. Evaluation of insecticides against the western flower thrips, *Frankliniella occidentals* (Thysanoptera: Thripidae), in the Laboratory. Fla. Entomol. 95(2): 454-460.

Simon-Delso, N., V. Amaral-Rogers, L.P. Belzunces, J.M. Bonmatin, M. Chagnon, C. Downs, L. Furlan, D.W. Gibbons, C. Giorio, V. Girolami, D. Goulson, D.P. Kreutzweiser, C.H. Krupke, M. Liess, E. Long, M. McField, P. Mineau, E.A.D. Mitchell, C.A. Morrissey, D.A. Noome, L. Pisa, J. Settele, J.D. Stark, A. Tapparo, H. Van Dyck, J. Van Praagh, J.P. Van der Sluijs, P.R. Whitehorn and M. Wiemers. 2015. Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): Trends, uses, mode of action and metabolites. Environmental Science and Pollution Research 22(1): 5-34.

Singh, D., R.S. Umrao, K. Verma, Vikrant and A. Kumar. 2020. Insecticidal effect on natural enemies in rice ecosystem of Kanpur (Central Uttar Pradesh). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 9(2): 1604-1613.

Skendzic S., M. Zovko, I.P Zivkovic, V. Lesic and D. Lemic. 2021. The impact of climate change on agricultural insect pests. Insects 12(5): 440, doi: 10.3390/insects12050440.

Song, R., G. Shen, Y. Liu, F. Tang, Q. Chen and P. Sun. 2020. Preparation and characterization of an oil-in-water microemulsion of thiamethoxam and acetamiprid without organic solvent for unmanned aerial vehicle spraying. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 670:125485, doi: 10.1016/j.colsurfa.2020.125485.

Srijuntra, S. and P. Punyawattoe. 2023. Academic publications, recommendations for preventing and eliminating insects and animal pests from research in 2023. Plant Pest Management Research Group, Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. 268 p. (in Thai)

Sriratanasak, W. 2010. Brown planthopper: a formidable rice insect pest in irrigated rice growing areas and new concept of its management. Thai Rice Research Journal 4(1): 72-82. (in Thai)

Sriratanasak, W., J. Chaiwong, K. Boonsa-nga, P. Thanikkul, P. Cobelli, S. Lajuntuk, W. Khemmuk, S. Arunmit and A. Jittikornkul. 2019. Rice Pests and Their Control. Division of Rice Research and Development, Rice Department, Bangkok. 220 p. (in Thai)

Subramanian, K.S., S. Pazhanivelan, G. Srinivasan, R. Santhi and N. Sathiah. 2021. Drones in insect pest management. Frontiers in Agronomy 3: 640885, doi: 10.3389/fagro .2021.640885.

Takham, A., J. Songkham, W. Khemmuk and S. Arunmit. 2022. Efficacy of fungicides for controlling rice blast disease using an unmanned aerial vehicle in Chiang Mai. 10 p. *In:* Proceedings of the 15th National Plant Protection Conference, Departement of Agriculture. Bangkok. (in Thai)

Tang, T., X. Liu, P. Wang, W. Fu and M. Ma. 2017. Thiamethoxam seed treatment for control of rice thrips (*Chloethrips oryzae*) and its effects on the growth and yield of rice (*Oryza sativa*). Crop Protection (98): 136-142.

Ueno, T. 2012. Insect natural enemies as bioindicators in rice paddies. CNU Journal of Agricultural Science. 39(4): 587-595.

Vungsilabutr, P. 2002. Ecology of Brown Planthopper and Its Control. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. 117 p. (in Thai)

Wang, B.X., A.R. Hof and C.S. Ma. 2022. Impacts of climate change on crop production, pest and pathogens of wheat and rice. Frontiers of Agricultural Science and Engineering 9(1): 4-18.

Ware, G. W., 2000. The Pesticide Book, 5th ed. Thomson Publications, Fresno. 193.

Ware, G. W. 2001. An Introduction to Insecticides, 3rd ed. University of Minnesota, Minneapolis. http://ipmworld.umn.edu. (Accessed December 15, 2010).

Wiranto, A.S.P., N.S. Ningtyas, R.D. Rachmawati, R. Rahmatullah and S. Sukirno. 2022. Diversity of insect based on growth stages of rice (*Oryza sativa* L. 'IR 64') at high altitude in Kepurun village, Manisrenggo sub-district, Klaten district, Central Java. Advances in Biological Sciences Research 22: 102-110.

Yadav, T., A.S. Baloda, B.I. Jakhar and A. Yadav. 2019. Impact of climate changes on insect pest and integrated pest management: A review. Journal of Entomology and Zoology Studies 7(4): 1150-1156.

Zeng, M.S., F.J. Liu, D.F. Wang, S.H. Yu, and G.Y. Wu. (2010). Control effect of Thiacloprid 48 SC against *Empoasca vitis* (Gothe), *Toxoptera aurantii* (Boyer) and its safety evaluation. Agrochemicals 11: 27.

# ผลของการเข้าทำลายและการเลี้ยงเพิ่มจำนวนของมอดฟันเลื่อยใหญ่ในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 4 ลักษณะ

# Effects of Merchant Grain Beetle (*Oryzaephilus mercator* (Fauvel)) Infestation and Mass Rearing in 4 Kernel Characteristics of Cashew Nut Seeds

**จิตรกานต์ ภควัฒนะ[1] อภิชญา จากโคกสูง[3] และ เยาวลักษณ์ จันทร์บาง[2,3]**

Chittakarn Pakawattana[1], Apichaya Jakkoksung[3] and Yaowaluk Chanbang[2,3]

*[1]ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จ. ปทุมธานี 12120*

*[1]Expert Center of Innovative Agriculture, Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Pathum Thani 12120, Thailand*

*[2]ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*

*[2]Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*

*[3]ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*

*[3]Department of Entomology and Plant Pathology, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*

*[*]Corresponding author: Email: yaowaluk.c@cmu.ac.th*

*(Received: 8 May 2023; Accepted: 31 October 2023)*

**Abstract:** The merchant grain beetle (*Oryzaephilus mercator* (Fauvel)) is an insect infesting cashew kernels (*Anacardium occidentale* (L.)). The merchant grain beetle (MGB) is a pest in storage that greatly damages the cashew yield after harvest. The objectives of this research were to study the growth period of the MGB and to compare the increase in numbers of MGB when cultured on commercial cashew seed types. From the data collection, it was found that there were 4 types of commercial seeds: whole seeds, split seeds, broken seeds and ground seeds. When rearing the merchant grain beetle (MGB), the period of growth from the egg to adult was 29.14 ± 3.09 days and when rearing 50 insects in ground cashew kernels in all 4 types by inoculating them for a period of 3 months. The number of MGB in the ground and broken kernels increased to 4,775.50 and 4,789.11 individuals, while the number of insects in spilt kernels and full kernels was 2,883.61 and 2,650.44 individuals, respectively. which were 9,451.00, 9,478.22, 5,667.22 and 5,200.88 %, respectively. In 3 months, the highest number of MGB was 6,745.58 individuals, followed by 3,324.00 and 1,254.42 individuals which grew in 2 months and 1 month, respectively. The rate of increasing from the initial 50 MGB in month 1, 2 and 3 were 2,408.84, 6,548.00 and 13,391.16 %, respectively. The result showed that merchant grain beetles can directly infest all types of cashew kernels as the primary insect pest of cashew nuts.

**Keywords:** merchant grain beetle, damage, galangal essential oil, cashew nut, proliferation



Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: มอดฟันเลื่อยใหญ่ (*Oryzaephilus mercator* (Fauvel)) เป็นแมลงที่เข้าทำลายเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Anacardium occidentale (L.)) ในโรงเก็บ โดยข้อมูลเบื้องต้นของการเข้าทำลายมอดฟันเลื่อยใหญ่ในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ยังไม่มีการศึกษามากนัก ทั้งที่มอดฟันเลื่อยใหญ่เป็นแมลงศัตรูในโรงเก็บที่สร้างความเสียหายให้กับผลผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หลังการเก็บเกี่ยวเป็นอย่างมาก การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ระยะเวลาการเจริญเติบโตของมอดฟันเลื่อยใหญ่ และเปรียบเทียบการเพิ่มจำนวนเมื่อเลี้ยงในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในแต่ละลักษณะเมล็ดทางการค้า จากการเก็บข้อมูล พบว่า ลักษณะเมล็ดทางการค้ามีทั้งหมด 4 แบบได้แก่ เมล็ดเต็ม เมล็ดซีก เมล็ดหัก และเมล็ดป่น เมื่อทำการเลี้ยงแมลง พบว่า มอดฟันเลื่อยใหญ่เมื่อเลี้ยงในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ป่นใช้ระยะเวลาการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะไข่จนถึงตัวเต็มวัยใช้เวลาเฉลี่ย 29.14 ± 3.09 วัน และเมื่อทำการเลี้ยงแมลงในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ทั้ง 4 ลักษณะโดยใส่แมลงจำนวน 50 ตัว เลี้ยงเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า แมลงเพิ่มจำนวนในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในเมล็ดป่นและเมล็ดหัก มีการเพิ่มปริมาณของมอดฟันเลื่อยใหญ่ 4,775.50 และ 4,789.11 ตัว มากกว่าเมล็ดซีกและเมล็ดเต็ม 2,883.61 และ 2,650.44 ตัว ตามลำดับ คิดเป็น 9,451.00, 9,478.22, 5,667.22 และ 5,200.88 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และการเก็บรักษาเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่ามีการเพิ่มปริมาณแมลงสูงสุด มีปริมาณมอดฟันเลื่อยใหญ่เฉลี่ยเท่ากับ 6,745.58 ตัว, รองลงมาคือ ระยะเวลา 2 และ 1 เดือน เท่ากับ 3,324.00 และ 1,254.42 ตัว อัตราการเพิ่มขึ้นจากมอดฟันเลื่อยเริ่มต้น 50 ตัว ระหว่างเดือน 1 ,เดือนที่ 2 และเดือนที่ 3 เท่ากับ 2,.0408.84, 6,548.00 และ 13,391.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ว่า มอดฟันเลื่อยใหญ่เป็นแมลงที่สามารถทำให้ผลผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทุกรูปแบบเสียหายได้โดยตรง

**คำสำคัญ**: มอดฟันเลื่อยใหญ่ ความเสียหาย น้ำมันหอมระเหยข่า เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ การเพิ่มจำนวน

## คำนำ

มะม่วงหิมพานต์เป็นพืชที่ทนต่อสภาพแวดล้อม ปลูกขึ้นง่ายและเจริญเติบโตได้ดี ทั้งในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงไปจนถึงดินที่มีความสมบูรณ์ต่ำ เมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นที่ต้องการสูง ราคาดี และยังไม่มีปัญหาทางการตลาด สามารถนำมาแปรรูปเป็นสินค้าทั้งที่เป็นอาหารและไม่ใช่อาหาร อาทิ เครื่องสำอาง ครีมกันแดด ยา และน้ำมันสำหรับงานอุตสาหกรรม ประเทศไทยมีการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เพื่อบริโภคภายในประเทศและมีการส่งออกไปยังประเทศอินเดียในปี พ.ศ. 2565 มูลค่าการส่งออก 57.37 ล้านบาท (Department of International Trade Promotion, 2023) อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เพื่อใช้ในประเทศหรือการส่งออก มักพบปัญหาการเข้าทำลายของแมลง ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างและจำแนกชนิดแมลงจากวิสาหกิจชุมชนบ้านหาดไก่ต้อย อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์ พบแมลงที่เข้าทำลายเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญคือมอดฟันเลื่อยใหญ่

มอดฟันเลื่อยใหญ่ (*Oryzaephilus mercator* (Fauvel); Coleoptera: Silvanidae) เป็นแมลงศัตรูโรงเก็บที่สามารถพบได้ในภูมิภาคเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน แพร่กระจายผ่านการค้าระหว่างประเทศ (Rees, 2004) ทำความเสียหายให้กับธัญพืช ผลไม้แห้ง ธัญพืชและแป้ง ไปจนถึงผลไม้แห้งและพืชน้ำมัน (Kumar, 2017) เมล็ดมะม่วงหิมพานต์หลังผ่านกระบวนการบรรจุถุงจำหน่าย ในระหว่างรอการขายมักถูกมอดฟันเลื่อยใหญ่เข้าทำลายซึ่งเป็นปัญหาสำคัญ เนื่องจากแมลงสามารถแพร่ขยายพันธุ์ได้ง่าย ทำให้มีประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยตัวเต็มวัยแทะเล็มอยู่ที่ผิวเมล็ดสามารถกัดกินบริเวณส่วนที่จะงอกของเมล็ด (germ) ธัญพืชหรือเมล็ดธัญพืชแปรสภาพที่แตกหักได้ นอกจากนี้ยังปล่อยสารคัดหลั่งที่ผลิตขึ้นมาในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการกระตุ้นอาการภูมิแพ้ส่งผลต่อปัญหาสุขภาพของผู้บริโภค (Jakubas-Zawalska *et al.,* 2016) อีกทั้งยัง

ส่งผลให้เกิดความชื้นภายในผลิตผลส่งผลให้เกิดเชื้อรา ได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถเก็บรักษาหรือจำหน่าย ได้ สร้างความเสียหายให้แก่เกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนเป็นอย่างมาก โดยที่ผ่านมามีการศึกษาวิจัยด้านชีววิทยาของมอดฟันเลื่อยใหญ่ที่มีการขยายจำนวนในข้าวสาร (Visarathanonth *et al*., 2005) ในข้าวสาลี (Helenara *et al*., 2007) และในปาล์ม (Kousar *et al*., 2020) อย่างไรก็ตาม รายงานการศึกษาด้านชีววิทยาและการเพิ่มจำนวนของมอดฟันเลื่อยใหญ่ในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในประเทศไทยยังไม่เพียงพอ ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาวงจรชีวิตและการเพิ่มจำนวนของมอดฟันเลื่อยใหญ่ในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์สำหรับควบคุมกำจัดมอดฟันเลื่อยใหญ่ในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อไปในอนาคต

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การเก็บตัวอย่างแมลงจากวิสาหกิจชุมชนบ้านหาดไก่ต้อย อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์

ดำเนินการที่ วิสาหกิจชุมชนบ้านหาดไก่ต้อย อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์ ระหว่างเดือน เมษายน พ.ศ. 2565 เป็น ได้สุ่มเก็บตัวอย่างแมลงจากแหล่งสะสมแมลง แบ่งเป็น 5 จุด คือ 1.บริเวณรวมเมล็ดหลังตาก 2.บริเวณโต๊ะคัดแยกขนาดเมล็ด 3.บริเวณประตูทางเข้าห้องคัดเมล็ด 4.บริเวณรวมเมล็ดรอการจำหน่าย 5.ถุงเมล็ดหลังคัดแยกขนาดเมล็ด เก็บแมลงตัวอย่างที่พบทั้งหมด จากทั้งหมด 5 จุด นำมาที่ห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ตะแกรงร่อน ทำการคัดแยกและบันทึกชนิดของแมลง

### 2. การเลี้ยงและขยายจำนวนประชากรมอดฟันเลื่อยใหญ่

นำตัวอย่างมอดฟันเลื่อยใหญ่ ที่ปะปนอยู่ในผลิตภัณฑ์เมล็ดมะม่วงหิมพานต์แบบเมล็ดแตก เมล็ดป่นและจาก บริเวณห้องคัดคุณภาพเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ณ วิสาหกิจชุมชนบ้านหาดไก่ต้อย อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์ มาเลี้ยงด้วยเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ตามวิธีการที่ปรับปรุงจากวิธีของ Keatmaneerat *et al*., (2011) ปล่อยมอดฟันเลื่อยใหญ่ระยะตัวเต็มวัยจำนวน 300 ตัวแบบคละเพศ ลงในขวด 16 ออนซ์ ที่มีการเจาะฝาให้เป็นรูขนาด 0.5 เซนติเมตร และติดทับรูด้วยผ้าขาวบาง เพื่อให้มีอากาศถ่ายเทภายในขวด ใส่เมล็ดมะม่วงหิมพานต์แบบป่น ปริมาณ 150 กรัม นำขวดเลี้ยงแมลง ไปเลี้ยงไว้ในกล่องพลาสติกขนาด 20 ลิตร (31×49.5×19.1 เซนติเมตร) ที่มีสารละลายเกลือ (NaCl) ที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้อง วางกล่องไว้บนชั้นวางที่มีการป้องกันมดและแมลงศัตรูอื่นเข้าไปรบกวนระหว่างการเพาะเลี้ยง ให้แมลงผสมพันธุ์และวางไข่ เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นใช้ตะแกรงร่อนที่มีความถี่ช่องขนาด 2.5 และ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อร่อนแยกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และตัวเต็มวัยของมอดฟันเลื่อยใหญ่ ปล่อยให้เศษผงและไข่ของมอดหลุดลอดลงไประหว่างการร่อน ทำการแยกตัวเต็มวัยออก นำเศษผงที่มีการปะปนของไข่ หนอน ดักแด้ของมอดฟันเลื่อยใหญ่และเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปเลี้ยงต่อ และนับเป็นมอดฟันเลื่อยใหญ่รุ่นที่ 2 ทำการขยายจำนวนเพื่อให้เพียงพอต่อการทดลอง

### 3. การศึกษาระยะเวลาการเจริญของมอดฟันเลื่อยใหญ่ในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ทำการศึกษาวงจรชีวิตของมอดฟันเลื่อยใหญ่ตามวิธีการที่ปรับปรุงจากวิธีของ Srikam *et al*. (2014) ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 26.84 ± 2.33 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78.18 ± 2.59 เปอร์เซ็นต์ โดยนำตัวเต็มวัยของมอดฟันเลื่อยใหญ่ จำนวน 200 ตัว ใส่ลงในขวดโหล 8 ออนซ์ ที่บรรจุเมล็ดหักมะม่วงหิมพานต์ ปริมาณ 1 ส่วน 4 ของขวด ปล่อยให้แมลงวางไข่ 1 วัน แล้วจึงนำไปร่อนแยกไข่ออกจากเศษเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หักด้วยตะแกรงขนาด 335 µm ใช้พู่กันเขี่ยไข่มอดฟันเลื่อยใหญ่อายุ 1 วัน จำนวน 5 ฟอง ใส่ลงไปในกล่องพลาสติกใสขนาด 1 ออนซ์ที่บรรจุเมล็ดแตกจำนวน 1 กรัมปิดฝาให้สนิท ทำทั้งหมด 6 ซ้ำ นำกล่องพลาสติกเก็บไว้ในถังพลาสติกที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยมีสารละลายอิ่มตัวของโซเดียมคลอไรด์เป็นตัวควบคุมความชื้น ทำการสังเกตและบันทึกข้อมูลทางชีววิทยาของมอดฟันเลื่อยใหญ่ในระยะไข่ หนอน และดักแด้ จนกระทั่งเป็นตัวเต็มวัย

**4. การศึกษาการเพิ่มจำนวนของมอดฟันเลื่อยใหญ่ในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์**

ดำเนินการศึกษาการเพิ่มจำนวนของมอดฟันเลื่อยใหญ่ ตามวิธีการที่ปรับปรุงจากวิธีของ Keatmaneerat *et al*. (2011) โดยเลี้ยงมอดฟันเลื่อยใหญ่ระยะตัวเต็มวัยจำนวน 50 ตัว แบบคละเพศ ในขวดโหลขนาด 16 ออนซ์ ที่บรรจุเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จำนวน 150 กรัม ฝาขวดโหลถูกเจาะรูเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร แล้วใช้ตะแกรงปิดเพื่อใช้เป็นที่ระบายอากาศ แล้วนำขวดโหลไปตั้งไว้ในกล่องพลาสติกขนาด 20 ลิตร (31 × 49.5 × 19.1 เซนติเมตร) ที่มีสารละลายเกลือ (NaCl) ที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิห้อง วางกล่องไว้บนชั้นวางที่มีการป้องกันมดและแมลงศัตรูอื่นเข้าไปรบกวนระหว่างการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 3 เดือน วางแผนการทดลองแบบ 4 x 3 factorial in CRD ชุดการทดลองละ 6 ซ้ำ มี 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 ได้แก่ลักษณะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ คือ เมล็ดเต็ม เมล็ดซีก เมล็ดหัก และเมล็ดป่น ปัจจัยที่ 2 ได้แก่ ระยะเวลาในการเก็บรักษา 1, 2 และ 3 เดือน ทำการตรวจนับจำนวนแมลงระยะตัวเต็มวัยตามระยะเวลาที่กำหนด และวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี least significant difference (LSD)

## ผลการทดลอง

**1. การเก็บข้อมูลลักษณะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ตามลักษณะทางการค้า ณ วิสาหกิจชุมชนบ้านหาดไก่ต้อย อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์ และแมลงศัตรู**

จากการเก็บข้อมูลเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ณ วิสาหกิจชุมชนบ้านหาดไก่ต้อย อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์ พบว่า เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีการจำหน่ายมีทั้งหมด 4 ลักษณะ คือ (1) เมล็ดเต็ม (Full kernels) คือ มีลักษณะความสมบูรณ์ ของเมล็ด 100 % เมล็ดครบคู่ ไม่พบการแตกหัก (2) เมล็ดซีก (Split kernels) คือ มีลักษณะความสมบูรณ์ของเมล็ด 50 % เมล็ดแบ่งซีกออกจากกัน (3) เมล็ดหัก (Broken kernels) คือ มีลักษณะความสมบูรณ์ของเมล็ดจำนวน 25 % รวมกับเมล็ดหัก ¼ เมล็ด และ (4) เมล็ดป่น (Ground kernels) คือ มีลักษณะความสมบูรณ์ของเมล็ดน้อยกว่า 25 % ขึ้นไป โดยความไม่สมบูรณ์ของเมล็ดอาจเกิดการกระบวนการผลิต (Figure 1) โดยเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แต่ละลักษณะมีผลต่อระยะเวลาการจำหน่าย คือ เมล็ดมะม่วงหิมพานต์เมล็ดครบคู่หรือเมล็ดเต็ม สามารถขายตลาดได้รวดเร็วในขณะที่เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซีก แตกหัก และป่น ขายได้ช้ากว่าตามลำดับ ในช่วง 2 เดือน

Figure 2. Four characteristics of commercial cashew nuts, A=Full kernels, B=Split kernels, C=Broken kernels, D=Ground kernels

การเก็บตัวอย่างแมลงที่วิสาหกิจชุมชนบ้านหาดไก่ต้อย อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์ พบแมลงชนิด *Oryzaephilus mercator* หรือมอดฟันเลื่อยใหญ่ ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้ *O. mercator* มีขนาดลำตัวยาว 2.5 มิลลิเมตร ส่วนหน้ามีลักษณะโครงสร้างเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู มีมุมแคบกว่าเมื่อเทียบกับมอดฟันเลื่อย *O. surinamensis* เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งของตา พบว่า *O. mercator* อยู่ในตำแหน่งที่พื้นที่ใต้ตารวมมีพื้นที่แคบ (ลูกศรชี้) เมื่อเปรียบเทียบกับ *O. surinamensis* (ลูกศรชี้) ซึ่งมีพื้นที่แคบกว่า (Figure 2)

จากภาพการเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ไข่ของมอดฟันเลื่อยใหญ่ที่เลี้ยงด้วยเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ป่นใช้เวลาฟักเฉลี่ย 4.36 ± 1.49 วัน ระยะหนอนใช้เวลา 18.75 ± 1.30 วัน เข้าระยะดักแด้ใช้เวลา 6.18 ± 2.99 วัน จึงพัฒนาเป็นตัวเต็มวัย มอดฟันเลื่อยใหญ่ตั้งแต่ระยะไข่จนถึงตัวเต็มวัยใช้เวลาเฉลี่ย 29.14 ± 3.09 วัน (Figure3)

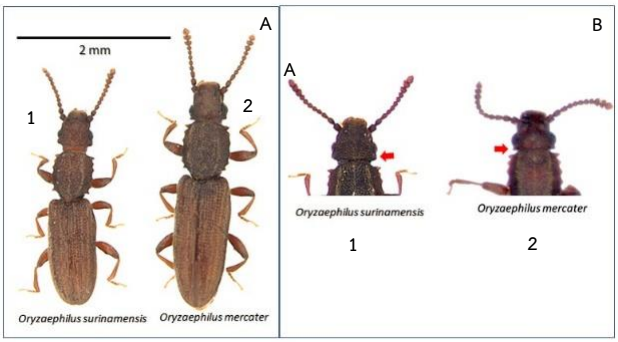



Figure 2 Sawtoothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis* (L.))(A1) infested on milled rice compared with the merchant grain beetle (*Oryzaephilus mercator* (Fauvel))(A2) collected from cashew kernels at Ban Hat Kai Toy Community Enterprise, Tha Pla District, Uttaradit Province. The projection under compound eye of *O. surinamensis* is broad and blint (B1), while in the *O. mercator*, it is narrow and more protruding (B2). (Joyce, 2008)

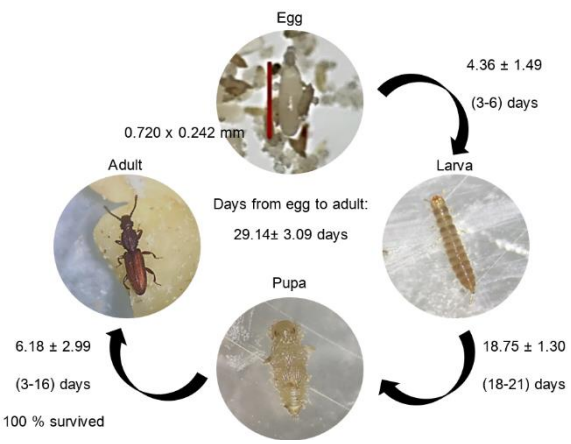



Figure 3. Life cycle of merchant grain beetle (*Oryzaephilus mercator* (Fauvel)) cultured with ground cashew nut under 26.84±2.33 °C and 78.18 ± 2.59 %RH.

**2. การเพิ่มจำนวนของมอดฟันเลื่อยใหญ่ในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์**

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มจำนวนของมอดฟันเลื่อยใหญ่ในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลักษณะต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 3 เดือน ปัจจัยที่ 1 ของลักษณะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ได้แก่ เมล็ดเต็ม เมล็ดซีก เมล็ดหัก และเมล็ดป่น มีผลทำให้ มอดฟันเลื่อยเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 1) เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลักษณะเมล็ดป่นและเมล็ดแตก มีจำนวนแมลงเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นสูงสุดคือ 4,775.50 และ 4,789.11 ตัว ตามลำดับ รองลงมาคือเมล็ดซีกและเมล็ดเต็ม จำนวนที่พบคือ 2,883.61 และ 2,650.44 ตัว ตามลำดับ (Table 1) เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีมอดฟันเลื่อยเมื่อทำการเก็บรักษา 3 เดือนมีการเพิ่มขึ้นของมอดฟันเลื่อยแตกต่างกันขึ้นกับเมล็ดแต่ละชนิด เมื่อมีการใส่แมลงเริ่มต้นที่ 50 ตัว คือ พบการเพิ่มขึ้นของแมลงในเมล็ดป่นมีการเพิ่มขึ้น 9,451 % เมล็ดหักมีการเพิ่มขึ้น 9,478 % เมล็ดซีกมีการเพิ่มขึ้น 5,667.22 % และ เมล็ดเต็มมีการเพิ่มขึ้น 5,200.88 %

ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาเก็บรักษา พบจำนวนมอดฟันเลื่อยใหญ่มีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อมีการใส่แมลงเริ่มต้นที่ 50 ตัว เมื่อมีการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน แมลงเพิ่มปริมาณได้สูงสุด รองลงมาเป็นจำนวนแมลงในช่วงเดือนที่ 2 และ 1 เดือน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,745.58, 3,324.00 และ 1,254.42 ตัว ตามลำดับ (Table 1) มีอัตราการเพิ่มเดือนที่ 1, เดือนที่ 2 และ เดือนที่ 3 เท่ากับ 2,408.84 % , 6,546.00 % และ 13,391.16 % ตามลำดับ

จากการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย คือ รูปแบบเมล็ดร่วมกับระยะเวลาเก็บรักษา พบว่า ปฏิสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัย มีผลต่อการเพิ่มปริมาณมอดฟันเลื่อยใหญ่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Table 1)

การศึกษาปริมาณมอดฟันเลื่อยใหญ่ พบว่า เมล็ดมะม่วงหิมพานต์เมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลา 3 เดือน มีปริมาณมอดฟันเลื่อยใหญ่สูงสุด และสามารถเจริญเติบโตจากจำนวนเริ่มต้น 50 ตัวเพิ่มปริมาณได้ถึง 13,391.16

Table1. Number of merchant grain beetle, *Oryzaephilus mercator*, cultured by cashew nuts in 1 to 3 months in four characteristics of cashew kernels

| Characteristics of cashew kernels | Number of *Oryzaephilus mercator* | | | Number of insects by characters[2/] |
|---|---|---|---|---|
| | Storage period (Months)[1/] | | | |
| | 1 | 2 | 3 | |
| Full kernels | 609.00 $^{e}$ | 2,277.83 $^{d}$ | 5,064.50 $^{bc}$ | 2,650.44$^{B}$ |
| Split kernels | 904.50 $^{e}$ | 2,513.17 $^{d}$ | 5,233.17 $^{b}$ | 2,883.61 $^{B}$ |
| Broken kernels | 1,518.67 $^{de}$ | 4,436.33 $^{bc}$ | 8,412.33 $^{a}$ | 4,789.11 $^{A}$ |
| Ground kernel | 1,985.50 $^{d}$ | 4,068.67 $^{c}$ | 8,272.33 $^{a}$ | 4,775.50 $^{A}$ |
| Average number of insects by storage period[3/] | 1,254.42$^{Z}$ | 3,324.00$^{Y}$ | 6,745.58$^{X}$ | |
| F-test Characteristics of cashew nuts | | | * | |
| F-test Storage period | | | * | |
| F-test Characteristics of cashew nuts x Storage period | | | * | |

[1/]Means in same row and column followed by the different lowercase letters are significantly different by LSD ($P < 0.05$).

[2/]Means in same column followed by the different uppercase letters are significantly different by LSD ($P < 0.05$).

[3/]Means in same row followed by the different uppercase letters are significantly different by LSD ($P < 0.05$).

เปอร์เซ็นต์ รองลงมาแมลงสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณได้ 6,548.00 และ 2,408.84 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนที่ 2 และ 1 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากลักษณะเมล็ด พบว่า เมล็ดหักและเมล็ดป่น มอดฟันเลื่อยสามารถเจริญเติบโตได้ จำนวนแมลงมากที่สุด (Figure 5) ช่วงเวลาการเก็บรักษาเมล็ด 3 เดือนหากมีแมลงเข้าทำลาย เมล็ดทุกลักษณะพบการปนเปื้อนของเชื้อราสีดำ สีเขียว และมีฝุ่นผงจำนวนมากอีกด้วย

Figure 5. Four characteristics of cashew kernels infested with 50 individuals of *Oryzaephilus mercator* within 3 months

Month 1; Full kernels (a) Split kernels (b) Broken kernel s (c) Ground kernels (d)

Month 2; Full kernels (e) Split kernels (f) Broken kernels (g) Ground kernels (h)

Month 3; Full kernels (i) Split kernels (j) Broken kernels (k) Ground kernels (l)

## วิจารณ์

การศึกษาระยะเวลาการเจริญเติบโตของมอดฟันเลื่อยใหญ่ *O. mercator* ในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ตั้งแต่ระยะไข่จนถึงระยะตัวเต็มวัย ในสภาพห้องปฏิบัติการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นประมาณ 26 องศาเซลเซียส และ 78 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามอดฟันเลื่อยใหญ่ที่เลี้ยงด้วยเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ปันใช้ระยะเวลาการเจริญเติบโตทั้งหมด 29.14 ± 3.09 วัน เปรียบเทียบกับการทดลองของ Visarathanonth (2002) การเลี้ยงมอดฟันเลื่อยใหญ่เพื่อการศึกษาการใช้มวน *Xylocoris flavipes* (Reuter) เพื่อการป้องกันกำจัด พบว่า มอดฟันเลื่อยใหญ่ที่เจริญบนถั่วลิสงบดเป็นอาหาร จากระยะไข่ถึงระยะดักแด้ใช้เวลาอยู่ในช่วง 25 - 35 วัน แตกต่างจาก มอดฟันเลื่อย *O. surinamensis* ที่มีการเจริญในข้าวสารปทุมธานี 1 มีระยะเวลาเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะไข่ถึงระยะตัวเต็มวัยใช้เวลาเฉลี่ย 19.81 ± 1.65 วัน (Keatmaneerat *et al*., 2011) ทั้งมอดฟันเลื่อย และมอดฟันเลื่อยใหญ่จัดเป็นแมลงศัตรูที่สำคัญในเอเชียตะวันออกเฉียงเหนือ โดยบทบาทความเป็นศัตรูของมอดฟันเลื่อยใหญ่มีความสำคัญในพืชน้ำมันมากกว่าธัญพืช (Rees, 2004) โดยเข้าทำลายเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ถั่วลิสงและพิสตาชิโอ้ Nualwat *et al*. (2005) หากเปรียบเทียบความสำคัญของมอดฟันเลื่อยใหญ่ ประเด็นการทำความเสียหายไม่ได้ทำให้น้ำหนักของผลผลิตลดลงไปมากนัก แต่กลับมีผลในการปนเปื้อนจากการกินและขับถ่ายของแมลง เปรียบเทียบกับการเข้าทำลายของมอดฟันเลื่อย *O. surinamensis* ซึ่งมีความชอบในธัญพืชมากกว่าในพืชน้ำมัน (Rees, 2004) นอกจากนี้ ช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของมอดฟันเลื่อย ซึ่งพบบ่อยธัญพืช Nika *et al.* (2020) รายงานว่า ระยะหนอนของมอดฟันเลื่อยเมื่อเลี้ยงใน ข้าวโอ๊ต แป้งข้าวบาร์เลย์ เมล็ดข้าวบาร์เลย์หัก แป้งข้าวโพด และ เมล็ดข้าวโพดหัก ใช้เวลา 20.3, 19.2, 18.3, 16.6 และ17.2 วัน ตามลำดับ แตกต่างกับการศึกษาของ Govindaraj *et al.* (2014) พบว่า มอดฟันเลื่อยที่เลี้ยงด้วยถั่วลิสง ใช้เวลาในการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะไข่จนถึงตัวเต็มวัยใช้เวลาเฉลี่ย 34.45 ± 1.73 วัน

ความแตกต่างของชนิดอาหารมีผลต่อระยะเวลาและการเจริญเติบโตของมอดฟันเลื่อย ดังที่ Beckel *et al.* (2007) รายงานว่า มอดฟันเลื่อยทำลายข้าวสาลีเมล็ดเต็มได้เล็กน้อย และแมลงชอบเข้าทำลายเมล็ดข้าวสาลีที่มีการบดย่อยมากกว่า

ความสามารถในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของแมลงเป็นผลมาจากคุณภาพและปริมาณของอาหาร อาหารประเภทต่าง ๆ ส่งผลต่อการพัฒนาและการอยู่รอดในระยะตัวอ่อน (Papachristos *et al.,* 2015) และทำให้ตัวเต็มวัยมีอายุขัยที่เพิ่มขึ้น (Jalali *et al.,* 2009) และการเพิ่มจำนวนประชากร (Athanassiou *et al*., 2016) มอดฟันเลื่อยเป็นแมลงศัตรูพืชในกลุ่มกัดกินภายนอกเมล็ด (external feeder) หรือกัดกินเมล็ดพืชที่แปรรูปหรือได้รับความเสียหายอยู่ก่อนแล้วจากกระบวนการผลิต (Hötling *et al.,* 2014; Throne *et al.,* 2003) โดยลักษณะของธัญพืช เช่น เมล็ดเต็มที่ไม่มีรอยแตกหรือรอยทำลาย และเมล็ดที่ถูกบด มีบทบาทในการเจริญเติบโตของมอดฟันเลื่อยใหญ่ซึ่งเป็นกลุ่มแมลงที่ทำลายกัดกินภายนอกเมล็ด (Haines, 1991) สอดคล้องกับการทดลองที่พบว่าเมล็ดที่มีลักษณะหักและป่นเหมาะสมในการเพิ่มปริมาณของมอดฟันเลื่อยใหญ่มากกว่าเมล็ดเต็มและเมล็ดชีก

จากการเติบโตของมอดฟันเลื่อยใหญ่ 50 ตัว สามารถเพิ่มปริมาณได้ถึง 609 ตัว ใน 1 เดือน อาจทำให้แพร่กระจายในผลิตผลเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อย่างรวดเร็ว จึงควรให้ความสำคัญกับการจัดการความสะอาดของเมล็ดเพื่อลดการปนเปื้อนในบรรจุภัณฑ์ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยปกติแล้วผู้รวบรวมเมล็ดจะเก็บรักษาไว้ประมาณ 3 เดือน หลังจากการกะเทาะเมล็ดออกจากเปลือกในระยะเวลาดังกล่าวอาจเป็นความเสี่ยงให้แมลงเพิ่มปริมาณได้

## สรุป

มอดฟันเลื่อยใหญ่ที่เลี้ยงด้วยเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ปน มีระยะไข่ถึงตัวเต็มวัยใช้เวลาเฉลี่ย 29.14 ± 3.09 วัน แมลงสามารถเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย และเพิ่มจำนวนในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลักษณะเมล็ดหักและเมล็ดป่นได้ดีกว่า เมล็ดชีกและเมล็ดเต็ม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า มอดฟันเลื่อยใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ครบวงจรในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และมีการแพร่กระจายเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วในเมล็ดที่ได้รับความเสียหายจากกระบวนการผลิตมาก่อนแล้ว เพียงระยะเวลา 3 เดือนในเมล็ดลักษณะดังกล่าว มีการเพิ่มปริมาณมอดฟันเลื่อยใหญ่ ถึง 13,391.16 เปอร์เซ็นต์ และการเพิ่มปริมาณ 6,548.00 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนที่ 2 ทำให้เห็นว่าควรมีแนวทางการป้องกันกำจัดมอดฟันเลื่อยใหญ่ที่เข้าทำลายเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในโรงเก็บก่อนมีการแพร่กระจายสู่ภาคอุตสาหกรรม

## เอกสารอ้างอิง

Athanassiou, C.G., N.G. Kavallieratos and M.C. Boukouvala. 2016. Population growth of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on different commodities. Journal of Stored Products Research 69: 72-77.

Awadalla, H.S., R.N.C. Guedes and A.S. Hashem. 2021. Feeding and egg-laying preferences of the sawtoothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis*: Beyond cereals and cereal products. Journal of Stored Products Research 93:101841, doi: 10.1016/j.jspr. 2021.101841.

Beckel, H.D.S., I. Lorini and S. Lazzari. 2007. Rearing method of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera, Silvanidae) on various wheat grain granulometry. Revista Brasileira de Entomologia 51(4): 501-505.

Department of International Trade Promotion. 2023. India accelerates cashew production to meet domestic and global demand (Online). Available: https://ditp.go.th/ditp_web61/article_sub_view.php?filename=contents_attach/844890/844890.pdf&title=844890&cate=413&d=0 (January 11, 2023). (in Thai)

Govindaraj, R., S. Mohankumar, B. Rajasekaran and S. Mohan. 2014. Biology of the sawtoothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus) on different stored products and its host associated genetic variability. pp. 128-135. *In*: Proceedings of 11th International Working Conference on Stored Product Protection, Department of Agriculture, Bangkok.

Hagstrum, D.W and B. Subramanyam. 2009. Stored-Product Insect Resource. AACC International, Inc, St. Paul, Minnesota. 509 p.

Haines, C.P. 1991. Insect and Arachnids of Tropical Stored Products: Their Biology and Identification - A Training Manual. 2nd ed. Natural Resources Institute, Chatham. 246p.

Helenara, D.S.B, I. Lorini and S.M.N. Lazzari. 2007. Rearing method of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera, Silvanidae) on various wheat grain granulometry. Revista Brasileira de Entomologia 51(4): 501-505.

Hötling, S., B. Haberlag, M. Tamm, J. Collatz, P. Mack, J.L.M. Steidle, M. Vences and S. Schulz. 2014. Identification and synthesis of macrolide pheromones of the grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* and the

frog *Spinomantis aglavei.* Chemistry - A European Journal 20(11): 3183-3191.

Jakubas-Zawalska, J., Asman M., Kłyś M. and Solarz K. 2016. Prevalence of sensitization to extracts from particular life stages of the saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) in citizens of selected suburban areas of Southern Poland. Journal of Stored Products Research 69: 252-256.

Jalali, M.A., L. Tirry and P. De Clercq. 2009. Effects of food and temperature on development, fecundity and life-table parameters of *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). Journal of Applied Entomology 133(8): 615-625.

Joyce Gross. 2008. Species Oryzaephilus Mercator-Merchant Grain Beetle. (Online). Available: https://bugguide.net/node/view/183015 (October 28, 2023).

Keatmaneerat, S. 2011. Biology of sawtoothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus) and its control efficacy using ozone in milled rice. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 34 p. (in Thai)

Keatmaneerat, S., Y. Chanbang and J. Kulsarin. 2011. Biology of sawtoothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis* L.) and its control efficacy using ozone in milled rice. Journal of Agriculture 27(2): 145-153. (in Thai)

Kousar, T., Memon Z. N., Sahito H.A., Mangrio W.M., Jatoi F.A. and Shah Z.H.. 2021. Biology, morphology and varietal distribution of saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (L) on date palm dry and semi-dry dates at district:Khairpur, Sindh-Pakistan. Pure and Applied Biology 10(3):539-548.

Kumar, R. 2017. Insect Pests of Stored Grain: Biology, Behavior, and Management Strategies. Apple Academic Press, Waretown, New Jersey. 394 p.

Nualwat, K., P. Visarathanonth, B. Chankaewmanee, J. Uraichuen, R. Kengkanpanich, K. Pengkum, J. Tongpan. 2005. Insect pest of paddy rice and their control. Postharvest and Processing Research and Development Division. Department of Agriculture. Bangkok. 80p. (in Thai)

Papachristos, D.P., I. Katsarou, A. Michaelakis and N.E. Papanikolaou. 2015. Influence of different species of aphid prey on the immature survival and development of four species of aphidophagous coccinellids (Coleoptera: Coccinellidae). European Journal of Entomology 112(3): 440-445.

Rees, D. 2004. Insects of Stored Products. CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria. 181 p.

Srikam, C., Y. Chanbang and N. Krittigamas. 2014. Use of radio frequency for controlling sawtoothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*) in milled rice cv. Khao Dawk Mali 105. Journal of Agriculture 30(3): 253-262. (in Thai)

Throne, J.E., D.C. Doehlert and M.S. McMullen. 2003. Susceptibility of commercial oat cultivars to *Cryptolestes pusillus* and *Oryzaephilus surinamensis*. Journal of Stored Products Research 39(2): 213-223.

Visarathanonth, V. 2002.The use of *Xylocoris flavipes* (Reuter) to control merchant grain beetle, *Oryzaephilus mercator* L. in peanut. Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok. 67 p. (in Thai)

Visarathanonth, V., K. Nualwat, B. Chankaewmanee, J. Uraichuen, R. Kengkanpanich, K. Pengkum, J. Tongpan, D. Suthisut, L. Romyen and P. Noochanapai. 2005. Insect pests found in agricultural products and their control. Postharvest and Processing Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok. 150 p. (in Thai)

# ผลของอุณหภูมิสูงต่อโคนิเดียเชื้อราเมตาไรเซียมที่มีศักยภาพก่อโรคกับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

# Effects of High Temperature on Conidia of Potential *Metarhizium anisopliae* Infecting Brown Plant Hopper

**อารยา บุญศักดิ์[1] สุพรรณิกา อินต๊ะนนท์[1*,2] วิภา หอมหวล[1,2] และ คณิตา เกิดสุข[3]**

Araya Bunsak[1], Suphannika Intanon[1*,2], Wipa Homhaul[1,2] and Kanita Kertsuk[3]

*[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000*

*[1]Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand*

*[2]ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคเหนือตอนล่าง มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000*

*[2]National Biological Control Research Center, Lower Northern Regional Center, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand*

*[3]ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก จ. พิษณุโลก 65000*

*[3]Phitsanulok Rice Research Center, Phitsanulok 65000, Thailand*

**Corresponding author: E-mail: suphannikai@nu.ac.th*

*(Received: 6 October 2023; Accepted: 22 December 2023)*

**Abstract:** *Metarhizium anisopliae* is a soil-dwelling fungus that infects various insects and commonly uses as a bioinsecticides worldwide. Previously, the total of 16 isolates of potential *M. anisopliae,* the highest efficiency causing 100% brown planthopper (BPH) *Nilaparvata lugens* (Stål) mortality within 6 days of exposure, composed of PB-01, PB-02, PB-10, PB-19, PB-28, PB-47, PB-51, PB-71, PB-75, PB-76, PB-95, PB-101, PB-114, PB-117, PB-123 and PB-125 was isolated from forest soils in Phetchabun province. The selection of heat tolerant conidia was carried out. The conidia of each isolate were preserved in organic soil under the temperature at 40, 45 and 50 $^{o}$C for 21 days. The surviving conidia were evaluated by the number of the growing colonies on PDA media at 7, 14 and 21 days after preservation. The result showed that conidia of most fungal isolates under preserved conditions could survive and form growing colonies on PDA. However, the number of growing colonies was significantly different and declined continuously when temperature and time of preservation were increased. The conidia of two isolates PB-02 and PB-75 significantly survived under the highest stress condition at 50 $^{o}$C for 21 days with the highest number of colonies at 3.8 x10$^{4}$ and 3.9x10$^{4}$ CFU/ml.

**Keywords:** high temperature, *Metarhizium anisopliae*, brown planthopper



Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: เชื้อรา *Metarhizium anisopliae* เป็นเชื้อราที่ดำรงชีพในดิน สามารถก่อโรคกับแมลงได้และนิยมใช้เป็นสารชีวภัณฑ์ควบคุมแมลงอย่างแพร่หลาย ในช่วงที่ผ่านมาได้ทำการคัดแยกเชื้อราเมตาไรเซียมจากดินป่าของจังหวัดเพชรบูรณ์ พบเชื้อราจำนวน 16 ไอโซเลทมีศักยภาพสูงสามารถทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตายร้อยละ 100 ภายใน 6 วัน หลังสัมผัสเชื้อ ประกอบด้วย PB-01, PB-02, PB-10, PB-19, PB-28, PB-47, PB-51, PB-71, PB-75, PB-76, PB-95, PB-101, PB-114, PB-117, PB-123 และ PB-125 จึงได้ทำการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิสูงต่อโคนิเดียของเชื้อรานี้ขึ้นเพื่อคัดเลือกไอโซเลทที่มีความทนทานต่อความร้อนได้ดี โดยทำการเก็บรักษาโคนิเดียของเชื้อราแต่ละไอโซเลทในดินอินทรีย์ที่มีอุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 21 วัน ทำการตรวจสอบโคนิเดียที่รอดชีวิตจากจำนวนโคโลนีของเชื้อราที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ภายหลังการเก็บรักษาที่ 7, 14 และ 21 วันตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า โคนิเดียของไอโซเลทเชื้อราส่วนใหญ่ภายใต้การเก็บรักษาสามารถรอดและเจริญขึ้นเป็นโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ได้ อย่างไรก็ตาม จำนวนโคโลนีที่พบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระดับของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โคนิเดียเชื้อรา *M. anisopliae* จากสองไอโซเลท คือ PB-02 และ PB-75 สามารถคงความมีชีวิตได้ดีที่สุดที่ $3.8x10^4$ และ $3.9x10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ภายใต้สภาพการเก็บรักษาในดินที่มีอุณหภูมิสูง 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

**คำสำคัญ**: อุณหภูมิสูง เชื้อราเมตาไรเซียม เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

## คำนำ

เชื้อราเมตาไรเซียม (green muscardine fungi) เป็นกลุ่มของเชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคในแมลง (entomopathogenic fungi) (Iskandarov *et al*., 2006) จัดอยู่ใน Division: Ascomycota, Class: Sordariomycetes, Order: Hypocreales, Family: Clavicipitaceae, Genus: *Metarhizium* โดย *M. anisopliae* จัดเป็นชนิดที่มีพบได้ทั่วไป อาศัยอยู่ในดิน และบนซากแมลงที่ถูกทำลาย สามารถจำแนกได้ในเบื้องต้นจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายนอกของโคนิเดีย เช่น รูปร่าง ขนาด และสี เป็นต้น (Luangsa-ard *et al*., 2007, 2009; Dugan, 2017)

เชื้อรา *M. anisopliae* เป็นเชื้อรามีความปลอดภัยสูงเนื่องจากไม่พบการติดเชื้อในสิ่งมีชีวิตนอกเป้าหมาย เช่น นก ปลา หนู หมู และกระต่าย ในพื้นที่ที่มีการใช้เชื้อราควบคุมศัตรูพืช (Zimmermann, 1992) ในปัจจุบันสายพันธุ์ใหม่ ๆ ของเชื้อราได้ถูกค้นพบอย่างต่อเนื่องและพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์กำจัดแมลงศัตรูพืชที่ได้รับการยอมรับและใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืชอย่างแพร่หลาย (Brunner-Mendoza *et al*. 2019; Lord, 2005) ในประเทศไทย เชื้อรา *M. anisopliae* เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้รับความสนใจและมีการทดสอบประสิทธิภาพกับแมลงหลายชนิด เช่น ด้วงงวงมะพร้าว ด้วงหนวดยาวเจาะลำต้นอ้อย แมลงนูนหลวง (Suasa-ard *et al*., 2004) แมลงวันผลไม้ (Thaochan and Chinajariyawong, 2008) หนอนกระทู้ผัก หนอนกระทู้หอม หนอนเจาะสมอฝ้าย เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว (Patirupanusara *et al*., 1999) เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ในการใช้เชื้อราควบคุมแมลงในสภาพพื้นที่การเกษตรนั้น สภาพแวดล้อมที่เชื้อราดำรงชีพเช่นในดิน น้ำ หรือในตัวแมลงอาศัย ปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพโดยรอบมีผลกระทบต่อประสิทธิ-ภาพในการก่อโรคของเชื้อรากับแมลงมาก (Roy *et al*., 2006) และหนึ่งในปัจจัยทางกายภาพที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการก่อโรคของเชื้อรา คือ อุณหภูมิ (Ouedraogo *et al*., 1997) ซึ่งมีผลต่อความมีชีวิตของโคนิเดีย อัตราการงอก การเจริญของเส้นใย และกระทบต่อเนื่องถึงอัตราการก่อโรค และความรุนแรงของเชื้อราในการเข้าทำลายแมลงศัตรูเป้าหมายได้ (Nussenbaum *et al*. 2013; Vidal *et al*. 1997)

ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา Bunsak *et al*. (2023) ได้ทำการคัดแยกเชื้อราเมตาไรเซียมจากดิน ซึ่งเก็บรวบรวมจากพื้นที่ อำเภอเขาค้อ อำเภอหล่มเก่า และอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ และคัดเลือกเชื้อราที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ดี สามารถก่อโรคและทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตายในอัตราร้อยละ 100 ภายในเวลา 6 วัน และมีค่าความรุนแรงในส่วนของระยะเวลาที่ทำให้แมลงตายร้อยละ 50 ($LT_{50}$) ที่ 2.9-4.2 วัน จำนวน 16 ไอโซเลท พร้อมทั้งทำการจัดจำแนกทางชีวโมเลกุลด้วยสารพันธุกรรม 18S rDNA พบว่า เชื้อราทั้ง 16 ไอโซเลท เป็นเชื้อรา *M. anisopliae* อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศของโลกในปัจจุบันมีผลทำให้อุณหภูมิในภูมิภาคต่าง ๆ ของโลกสูงขึ้น (Climate Center, 2023) ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ พื้นที่การเกษตรและนาข้าวของประเทศไทยต่างได้รับผลกระทบด้วยเช่นกัน ในการใช้ประโยชน์เชื้อราเพื่อควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสภาพนาข้าวนั้น เชื้อราควรมีคุณสมบัติสำคัญในการทนทานต่อสภาพอุณภูมิสูงในนาข้าวได้ดีด้วย จึงได้ทำการศึกษาเรื่องผลของอุณหภูมิต่อโคนิเดียของเชื้อรา *M. anisopliae* ที่มีศักยภาพก่อโรคกับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวน 16 ไอโซเลท ประกอบด้วย PB-01, PB-02, PB-10, PB-19, PB-28, PB-47, PB-51, PB-71, PB-75, PB-76, PB-95, PB-101, PB-114, PB-117, PB-123 และ PB-125 ด้วยการสร้างสภาพแวดล้อมจำลองโดยผสมโคนิเดียของเชื้อราเข้ากับดินอินทรีย์วัตถุซึ่งโดยทั่วไปมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส (Thai meteorological department, 2023) และทำการบ่มเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงระดับต่าง ๆ 3 ระดับคือ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงของอุณหภูมิระดับสูงที่พบรายงานการรอดชีวิตและเจริญได้ของเชื้อรา *M. anisopliae* (Raja Namasivayam *et al*., 2015) โดยมีระยะเวลาการเก็บรักษานาน 7-21 วัน เพื่อคัดเลือกไอโซเลทเชื้อราที่มีศักยภาพในการดำรงชีพที่สภาพอุณภูมิสูงได้ดีที่สุดสำหรับพัฒนาต่อยอดเป็นชีวภัณฑ์สำหรับควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมโคนีเดียเชื้อรา *Metarhizium anisopliae*

ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อรา *M. anisopliae* ที่ผ่านการคัดเลือกและจัดจำแนก จำนวน 16 ไอโซเลท ได้แก่ PB-01, PB-02, PB-10, PB-19, PB-28, PB-47, PB-51, PB-71, PB-75, PB-76, PB-95, PB-101, PB-114, PB-117, PB-123 และ PB-125 บนอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar (PDA) ในสภาพอุณหภูมิห้อง 28±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาประมาณ 14 วัน จนโคนิเดียเจริญขึ้นเต็มจานเพาะเชื้อ จากนั้นทำการเตรียมสารแขวนลอยโคนิเดียของเชื้อราด้วยสารละลายน้ำของ Tween 80 (Sigma, St. Louis, MO, USA) ความเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตรวจนับความเข้มข้นของโคนิเดียด้วย haemacytometer และปรับความเข้มข้นให้ได้ $10^8$ โคนิเดียต่อมิลลิลิตร (Keppanan *et al*., 2018)

### ทดสอบความคงทนของโคนิเดียเชื้อรา *Metarhizium anisopliae* ภายหลังเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิสูง

นำสารแขวนลอยโคนิเดียเชื้อราข้างต้นผสมกับดินอินทรีย์ปริมาตร 100 กรัม ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว (Bugeme *et al*., 2008; Sun *et al*. 2003) บรรจุลงในถุงกระดาษสีน้ำตาล ขนาด 12 x 19 x 4 เซนติเมตร ในอัตราส่วน 2 มิลลิลิตรต่อดิน 100 กรัม จากนั้นทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส (Boontud, 2019) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินบริเวณกลางถุงบรรจุปริมาณ 1 กรัมจากหน่วยทดลอง (Ekesi *et al*., 2003) หลังเก็บรักษาเชื้อที่ระยะเวลา 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายน้ำของ Tween 80 (Sigma, St. Louis, MO, USA) ความเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ผสมสารแขวนลอยดินด้วยเครื่องเขย่าหลอดทดลอง (vortex mixer) เป็นเวลา 1 นาที ทำการเจือจางที่ระดับความเข้มข้น $10^{-1}$-$10^{-3}$ เท่า ดูดสารแขวนลอยดินที่ได้ของแต่ละตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร หยดลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ทำการปาดสารแขวนลอยดินให้การกระจายทั่วจานเพาะเชื้อ

(spread plate) และเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิห้อง 28 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 วัน ตรวจนับและบันทึกจำนวนโคโลนีของเชื้อในแต่ละช่วงอุณหภูมิ และคำนวณปริมาณเชื้อราจากดินเป็นหน่วย โคโลนีต่อมิลลิลิตร โดยประเมินจากจำนวนโคโลนีที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อราเป็นเกณฑ์

**การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

วิเคราะห์ผลความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance, ANOVA) ของจำนวนโคโลนีเชื้อรา *M. anisopliae* ทั้ง 16 ไอโซเลท หลังจากทำการเก็บรักษาที่ระยะเวลา 7, 14 และ 21 วัน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย วิธี Duncan's multiple, range test (DMRT) ระดับความเชื่อมั่น 95% จากนั้นทำการคัดเลือกไอโซเลทเชื้อรา *M. anisopliae* ที่ทนทานต่อสภาพอุณภูมิสูงได้ดีที่สุด

## ผลการศึกษา

ผลการทดสอบความมีชีวิตรอดของเชื้อรา *M. anisopliae* ทั้งหมด 16 ไอโซเลท ที่เก็บรักษาในดินอินทรีย์ ที่ระดับอุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 7, 14 และ 21 วัน พบว่า โคนิเดียของเชื้อราส่วนใหญ่สามารถรอดและเจริญขึ้นเป็นโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อทดสอบได้ในทุกระดับของอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา แต่จำนวนโคโลนีที่พบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยที่ระยะเวลา 7 วัน โคนิเดียของเชื้อรา *M. anisopliae* ที่เก็บรักษาในดินที่ทุกระดับอุณหภูมิ ทั้ง 16 ไอโซเลท เจริญเป็นโคโลนีได้ดีบนอาหารเพาะเลี้ยง มีลักษณะเป็นจุดสีขาว กระจายตัวทั่วจานเพาะเลี้ยงเชื้อ และบางส่วนพบการสร้างโคนิเดียสีเขียวเข้มเป็นจุดบริเวณกลางโคโลนี โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบจำนวนโคโลนีมากที่สุดในช่วง 3.6-16.6x$10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร และจำนวนโคโลนีมีแนวโน้มลดลงอยู่ในช่วง 2.6-14.7x$10^4$ และ 0.9-9.4x$10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร เมื่อระดับอุณหภูมิของการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 45 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 40 องศาเซลเซียส เชื้อรา *M. anisopliae* ไอโซเลท PB-28, PB-19 และ PB-75 พบจำนวนโคโลนีมากที่สุดที่ 16.5x$10^4$, 16.6x$10^4$ และ 14.3x$10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร เมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 45 องศาเซลเซียส พบ PB-19 และ PB-75 มีจำนวนโคโลนีมากที่สุด 14.7x$10^4$ และ 10.8x$10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร และที่อุณหภูมิการเก็บรักษาสูง 50 องศาเซลเซียส พบ PB-75 และ PB-02 เท่านั้นที่มีจำนวนโคโลนีมากที่สุด 9.4x$10^4$ และ 8.5x$10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร (Figure 1, Table 1)

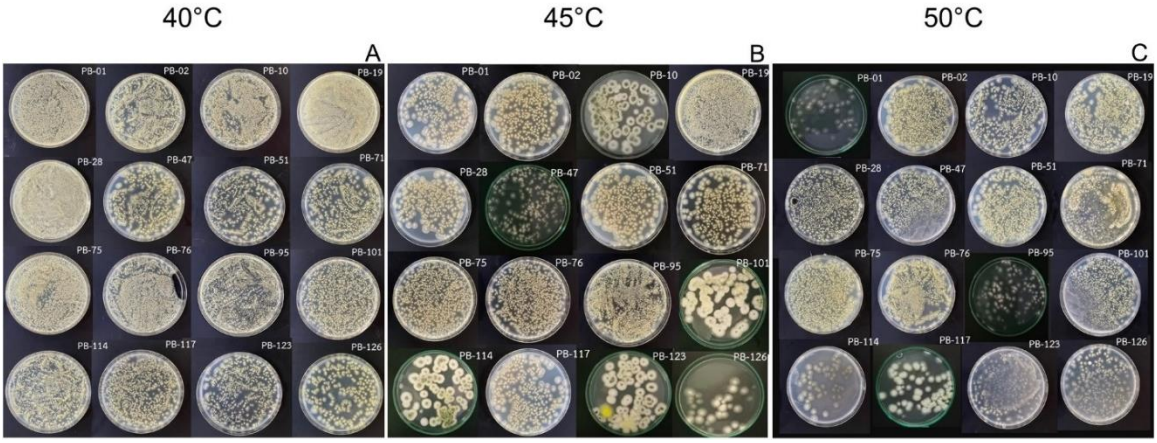



Figure 1. Conidium production of 16 *Metarhizium anisopliae* isolated on the PDA media after 7 days of preservation in organic soil at the temperatures of 40 (A), 45 (B) and 50 (C) degrees Celsius.

Table 1. The number of colonies from 16 *Metarhizium anisopliae* isolated on the PDA media after 7 days of preservation in organic soil at the temperatures of 40, 45 and 50 degrees Celsius.

| Isolate | Number of colonies ($CFUx10^4$)/ml/Temperatures (˚C) | | |
|---|---|---|---|
| | 40 | 45 | 50 |
| PB-01 | $13.3^{abc}$ | $4.3^{bc}$ | $0.9^{e}$ |
| PB-02 | $10.5^{abcd}$ | $9.1^{abc}$ | $8.5^{ab}$ |
| PB-10 | $12.6^{abc}$ | $8.0^{abc}$ | $6.3^{abcd}$ |
| PB-19 | $16.6^{a}$ | $14.7^{a}$ | $7.5^{abc}$ |
| PB-28 | $16.5^{a}$ | $7.8^{abc}$ | $7.5^{abc}$ |
| PB-47 | $7.6^{bcd}$ | $5.5^{bc}$ | $4.0^{abcd}$ |
| PB-51 | $6.3^{cd}$ | $5.3^{bc}$ | $3.2^{bcd}$ |
| PB-71 | $7.8^{bcd}$ | $6.8^{bc}$ | $5.6^{abcd}$ |
| PB-75 | $14.3^{ab}$ | $10.8^{ab}$ | $9.4^{a}$ |
| PB-76 | $11.1^{abcd}$ | $7.5^{abc}$ | $6.4^{abcd}$ |
| PB-95 | $12.6^{abc}$ | $8.4^{abc}$ | $5.6^{abcd}$ |
| PB-101 | $10.3^{abcd}$ | $5.3^{bc}$ | $5.3^{abcd}$ |
| PB-114 | $10.4^{abcd}$ | $3.8^{bc}$ | $3.1^{bcd}$ |
| PB-117 | $7.0^{bcd}$ | $4.0^{bc}$ | $3.0^{bcd}$ |
| PB-123 | $7.5^{bcd}$ | $3.5^{bc}$ | $2.7^{bcd}$ |
| PB-125 | $3.6^{d}$ | $2.6^{c}$ | $1.9^{d}$ |
| *P*-value | 0.01 | 0.04 | 0.02 |
| CV (%) | 47.05 | 67.44 | 66.31 |

[a,b] Means within a column with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

ที่ระยะเวลา 14 วัน โคนิเดียของเชื้อรา *M. anisopliae* ที่เก็บรักษาในดินที่ทุกระดับอุณหภูมิทั้ง 16 ไอโซเลท เจริญเป็นโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อราได้ดี และมีลักษณะโคโลนี การกระจายตัว และการเปลี่ยนแปลงจำนวนโคโลนีเป็นไปในทิศทางเดียวกับที่ระยะเวลา 7 วัน ทั้งนี้จำนวนโคโลนีพบมากที่สุดในช่วง 1.8-13.5x$10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 40 องศาเซลเซียส และมีแนวโน้มลดลงเป็นในช่วง 1.0-8.7x$10^4$ และ 0.8-6.4x$10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร เมื่อระดับอุณหภูมิของการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 45 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยที่ระดับอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 40 องศาเซลเซียส พบจำนวนโคโลนีของเชื้อรา *M. anisopliae* ไอโซเลท PB-75 และ PB-28 ได้สูงสุดที่ 13.5x$10^4$ และ 11.2x$10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร เมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 45 องศาเซลเซียส พบไอโซเลท PB-75, PB-02 และ PB-95 มีจำนวนโคโลนีสูงสุด 8.7x$10^4$, 7.7x$10^4$ และ 6.3x$10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร และที่อุณหภูมิการเก็บรักษาสูง 50 องศาเซลเซียส พบเพียง 2 ไอโซเลทคือ PB-75 และ PB-02 เท่านั้นที่มีจำนวนโคโลนีสูงที่สุด 6.4x$10^4$ และ 4.7x$10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร (Figure 2, Table 2)

ที่ระยะเวลา 21 วัน โคนิเดียของเชื้อรา *M. anisopliae* เจริญเป็นโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อราได้ดีที่ระดับอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส พบว่า จำนวนโคโลนีลดลงอย่างชัดเจน โดย

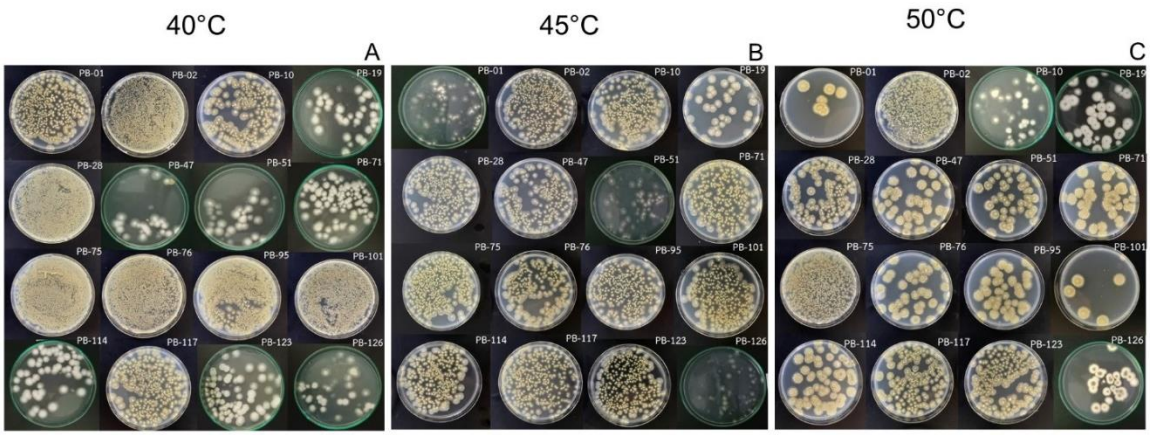



Figure 2. Conidium production of 16 *Metarhizium anisopliae* isolated on the PDA media after 14 days of preservation in organic soil at the temperatures of 40 (A), 45 (B) and 50 (C) degrees Celsius.

Table 2. The number of colonies from 16 *Metarhizium anisopliae* isolated on the PDA media after 14 days of preservation in organic soil at the temperatures of 40, 45 and 50 degrees Celsius.

| Isolate | Number of colonies (CFUx$10^4$)/ml/Temperatures (˚C) | | |
|---|---|---|---|
| | 40 | 45 | 50 |
| PB-01 | $3.5^{efg}$ | $1.0^{e}$ | $0.8^{e}$ |
| PB-02 | $8.5^{abcd}$ | $7.7^{a}$ | $4.7^{b}$ |
| PB-10 | $2.5^{fg}$ | $2.0^{cd}$ | $1.8^{cde}$ |
| PB-19 | $1.8^{g}$ | $1.7^{cde}$ | $1.5^{de}$ |
| PB-28 | $11.2^{ab}$ | $4.8^{ab}$ | $2.3^{cd}$ |
| PB-47 | $3.3^{efg}$ | $1.3^{de}$ | $0.9^{e}$ |
| PB-51 | $1.9^{g}$ | $1.7^{cde}$ | $1.6^{de}$ |
| PB-71 | $5.5^{cde}$ | $4.6^{ab}$ | $3.1^{c}$ |
| PB-75 | $13.5^{a}$ | $8.7^{a}$ | $6.4^{a}$ |
| PB-76 | $9.7^{abc}$ | $2.3^{cd}$ | $1.4^{de}$ |
| PB-95 | $8.0^{abcd}$ | $6.3^{a}$ | $1.4^{de}$ |
| PB-101 | $6.7^{bcde}$ | $2.0^{cd}$ | $1.2^{de}$ |
| PB-114 | $5.7^{bcde}$ | $3.3^{bc}$ | $1.7^{de}$ |
| PB-117 | $5.6^{bcde}$ | $3.1^{bc}$ | $2.5^{cd}$ |
| PB-123 | $5.1^{cbde}$ | $2.8^{bc}$ | $2.4^{cd}$ |
| PB-125 | $2.2^{fg}$ | $2.1^{cd}$ | $1.6^{de}$ |
| *P*-value | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CV (%) | 64.04 | 75.62 | 70.71 |

[a,b] Means within a column with different letters are significantly different ($P$<0.05).

ไอโซเลท PB-125 ไม่พบการเจริญของโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA โคโลนีที่เจริญมีลักษณะ การกระจายตัว และการเปลี่ยนแปลงจำนวนโคโลนีเป็นไปในทิศทางเดียวกับที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน ทั้งนี้จำนวนโคโลนีพบมากที่สุดในช่วง 0.2-8.6x$10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 40 องศาเซลเซียส และมีแนวโน้มลดลงอยู่ในช่วง 0.1-5.7x$10^4$ และ 0.0-3.9x $10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร เมื่อระดับอุณหภูมิของการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 45 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้ ไอโซเลทของเชื้อราที่พบจำนวนโคโลนีสูงสุดในทุกระดับอุณหภูมิ คือ PB-75 และ PB-02 โดยที่ระดับอุณหภูมิสูง 50 องศาเซลเซียส พบจำนวนโคโลนี สูงสุดที่ 3.9x$10^4$ และ 3.8x$10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร (Figure 3, Table 3)

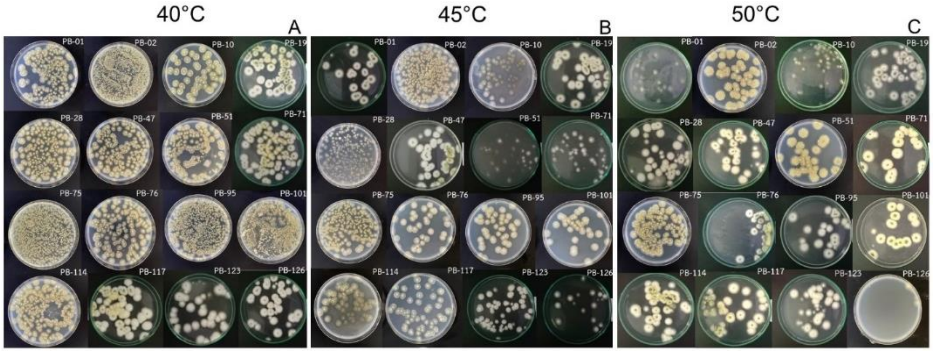



Figure 3. Conidia production of 16 *Metarhizium anisopliae* isolated on the PDA media after 21 days of preservation in organic soil at the temperatures of 40 (A), 45 (B) and 50 (C) degrees Celsius.

Table 3. The number of colonies from 16 *Metarhizium anisopliae* isolated on the PDA media after 21 days of preservation in organic soil at the temperatures of 40, 45 and 50 degrees Celsius.

| Isolate | Number of colonies (CFUx$10^4$)/ml/Temperatures (˚C) | | |
|---|---|---|---|
| | 40 | 45 | 50 |
| PB-01 | 0.8$^{bcd}$ | 0.8$^{bcd}$ | 0.2$^{bcd}$ |
| PB-02 | 8.4$^{a}$ | 5.7$^{a}$ | 3.8$^{a}$ |
| PB-10 | 0.7$^{bcd}$ | 0.7$^{bcd}$ | 0.1$^{bcd}$ |
| PB-19 | 0.5$^{bcd}$ | 0.5$^{bcd}$ | 0.2$^{bcd}$ |
| PB-28 | 2.1$^{bc}$ | 0.5$^{cd}$ | 0.2$^{bcd}$ |
| PB-47 | 0.5$^{cd}$ | 0.4$^{de}$ | 0.1$^{bcd}$ |
| PB-51 | 0.2$^{d}$ | 0.1$^{e}$ | 0.1$^{bcd}$ |
| PB-71 | 1.3$^{bcd}$ | 0.5$^{bcd}$ | 0.2$^{bcd}$ |
| PB-75 | 8.6$^{a}$ | 4.4$^{a}$ | 3.9$^{a}$ |
| PB-76 | 2.0$^{bc}$ | 1.0$^{bc}$ | 0.2$^{cbd}$ |
| PB-95 | 1.9$^{bcd}$ | 1.3$^{bc}$ | 0.3$^{b}$ |
| PB-101 | 2.1$^{bc}$ | 0.6$^{bcd}$ | 0.1$^{bcd}$ |
| PB-114 | 2.0$^{bc}$ | 0.6$^{bcd}$ | 0.3$^{c}$ |
| PB-117 | 2.3$^{b}$ | 1.4$^{b}$ | 0.2$^{bcd}$ |
| PB-123 | 0.6$^{bcd}$ | 0.5$^{bcd}$ | 0.1$^{bcd}$ |
| PB-125 | 0.5$^{cd}$ | 0.3$^{de}$ | 0.0$^{e}$ |
| *P*-value | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CV (%) | 121.91 | 143.67 | 199.71 |

$^{a,b}$ Means within a column with different letters are significantly different ($P$<0.05).

## วิจารณ์

โดยทั่วไป ดิน จัดเป็นแหล่งอาศัยที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์หลากหลายชนิดรวมทั้งเชื้อราก่อโรคกับแมลง เช่น เชื้อรา *M. anisopliae* (Meyling and Eilenberg, 2007) เนื่องจากดินทำหน้าที่เป็นโล่ปกป้องเชื้อจุลินทรีย์จากแสงแดด และ แสงยูวี รวมทั้งอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่รุนแรงต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี (Sánchez-Peña *et al*., 2011) ผลการทดสอบความคงทนของเชื้อรา *M. anisopliae* ทั้ง 16 ไอโซเลท ในดินอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าไอโซเลทเชื้อราส่วนใหญ่สามารถสร้างโคโลนีได้หลังการเก็บรักษาเชื้อที่ระยะเวลา 7,14 และ 21 วัน มีเพียงไอโซเลท PB-125 เท่านั้นที่ไม่สามารถสร้างโคโลนีภายใต้การเก็บรักษาที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน ได้ โดยเชื้อราไอโซเลท PB-02 และ PB-75 มีแนวโน้มในการสร้างโคโลนีได้ระดับสูงที่สุด ที่ 50 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาการเก็บรักษาเชื้อที่ 14 และ 21 วัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Raja Namasivayam *et al*. (2015) ที่พบว่า เชื้อรา *M. anisopliae* เจริญได้ในสภาพดินที่มีอุณหภูมิ 30 ถึง 50 องศาเซลเซียส โดยพบจำนวนโคโลนีของเชื้อราลดลงอย่างต่อเนื่องจาก $78.1x10^8$-$50.6x10^8$ โคนิเดียต่อกรัม เมื่อมีระดับของอุณหภูมิสูงขึ้น Ihara *et al*. (2003) และ Chandra Teja and Rahman (2017) รายงานว่าเชื้อราเขียว *M. anisopliae* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และพบจำนวนโคโลนีของเชื้อรา *M. anisopliae* มากที่สุดเมื่อเพาะเลี้ยงภายใต้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 และ 21 วัน นอกจากนี้ Couceiro *et al*. (2021) พบว่า เชื้อรา *M. anisopliae* สามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 40 องศาเซลเซียส ในขณะที่ *M. brunneum* และ *M. robertsii* ไม่สามารถเจริญได้ที่อุณภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยรวมเชื้อรา *M. anisopliae* เป็นเชื้อราที่ได้รับการยอมรับว่ามีความคงทนต่ออุณหภูมิสูงมากกว่าชนิดอื่น ๆ (Horaczek and Viernstein, 2004; Rangel *et al*., 2005)

อย่างไรก็ตาม Kershaw *et al*. (1999) รายงานว่า เชื้อรา *M. anisopliae* ส่วนใหญ่เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 15-30 องศาเซลเซียสและมีบางไอโซเลทที่สามารถเจริญได้ในอุณหภูมิ ช่วง 5-10 องศาเซลเซียส และ 35-40 องศาเซลเซียส ซึ่งในบางรายงานการวิจัยที่มีความแตกต่างจากผลการวิจัย ในส่วนของช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของเชื้อรา *M. anisopliae* เช่น Ghayedi and Abdollahi (2013) พบว่า เชื้อรา *M. anisopliae* สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ 27-35 องศาเซลเซียส ภายใต้ช่วงแสงที่เหมาะสม แต่ไม่สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส Ouedraogo *et al*. (1997) พบว่าเชื้อรา *M. anisopliae* และ *M. flavoviride* ไม่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยเชื้อรา *M. anisopliae* มีความสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 35 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความทนอุณหภูมิสูงกว่าเชื้อรา *M. flavoviride* Fernandes *et al*. (2008) และ Rangel *et al*. (2005) พบว่า โคนิเดียเชื้อรา *M. anisopliae* ไม่สามารถมีชีวิตรอดได้ในสภาพสารแขวนลอยที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 4-8 ชั่วโมง

นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ไอโซเลทเชื้อรา PB-02 และ PB-75 มีแนวโน้มตอบสนองต่อสภาวะกดดันจากอุณหภูมิสูงได้ดีและรวดเร็วกว่าไอโซเลทอื่น ๆ โดยพบว่า การเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โคนิเดียที่รอดและเจริญเป็นโคโลนี มีจำนวนน้อยกว่าเชื้อราไอโซเลทอื่น ๆ แต่เมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เป็น 45 และ 50 องศาเซลเซียส โคนิเดียที่รอดและเจริญเป็นโคโลนีกลับมีจำนวนที่เพิ่มสูงมากกว่าไอโซเลทอื่น ๆ อย่างชัดเจน ซึ่งคุณลักษณะพิเศษนี้เกิดจากกลไกการปรับตัวทางสรีรวิทยาในระดับเซลล์ของเชื้อราทั้งสองไอโซเลทที่เกิดขึ้นและตอบสนองต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้อย่างรวดเร็วมากกว่าไอโซเลทอื่น ๆ จนสามารถปกป้องโครงสร้างการทำงานของเอ็นไซม์ และโปรตีนที่สำคัญต่าง ๆ ไม่ให้เกิดความเสียหายหรือถูกทำลายจนไม่สามารถควบคุมการทำงานของเซลล์ได้ โดยกลไกที่มีบทบาทสำคัญคือกระบวนการเพิ่มปริมาณการสร้างโปรตีนพวก heat shock protein และ chaperones ที่ทำหน้าที่ป้องกันและซ่อมแซมความเสียหายของโครงสร้างการทำงานของโปรตีนและเอ็นไซม์ต่าง ๆ ที่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิสูง เป็นต้น (Bai *et al*.,

2015; Kroll *et al*., 2014; Miteva-Staleva *et al*., 2017; Tiwari *et al*., 2015) ทำให้เชื้อราทั้งสองไอโซเลทสามารถทนต่อสภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงได้ ส่งผลให้มีอัตราการรอดสูงขึ้นในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมดังกล่าว (Williams *et al*., 2011)

ผลการคัดแยกเชื้อรา *M. anisopliae* จากดินอินทรีย์ในการศึกษานี้ทำให้ค้นพบเชื้อราไอโซเลท PB-02 และ PB-75 ที่โคนิเดียมีความสามารถทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้ถึง 50 องศาเซลเซียสในระยะเวลานานถึง 21 วัน ซึ่งเมื่อเชื้อราต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงในธรรรมชาติ เชื้อราทั้งสองไอโซเลทมีโอกาสรอดชีวิต ดำรงชีพ เจริญแพร่กระจายได้ดีและมีแนวโน้มที่สามารถก่อโรคกับแมลงได้สูงกว่าเชื้อรา *M. anisopliae* โดยปกติทั่วไป คุณสมบัติดังกล่าวนี้เป็นความจำเพาะที่สำคัญมากที่ช่วยให้การเก็บรักษาเชื้อราและผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ในสภาพอุณหภูมิปกติทั่วไป และการพัฒนาต่อยอดสู่การใช้ประโยชน์ในนาข้าวหรือพื้นที่อื่น ๆ ได้ ซึ่งกำลังอยู่ในขั้นตอนของการดำเนินการวิจัยต่อเนื่องของคณะผู้วิจัย โดยมีเป้าหมายสู่การพัฒนาเป็นสูตรชีวภัณฑ์ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในที่สุด

## สรุป

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อโคนิเดียของเชื้อรา *M. anisopliae* จำนวน 16 ไอโซเลท ซึ่งมีประสิทธิภาพในการก่อโรคและทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตายในอัตราร้อยละ 100 ภายในเวลา 6 วัน และมีค่าความรุนแรงในส่วนของระยะเวลาที่ทำให้แมลงตายร้อยละ 50 ($LT_{50}$) ที่ 2.9-4.2 วัน ในระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยไอโซเลท PB-01, PB-02, PB-10, PB-19, PB-28, PB-47, PB-51, PB-71, PB-75, PB-76, PB-95, PB-101, PB-114, PB-117, PB-123 และ PB-125 เพื่อคัดเลือกไอโซเลทเชื้อราที่มีศักยภาพในการรอดชีวิตที่สภาพอุณภูมิสูงได้ดีที่สุดซึ่งมีแนวโน้มในการใช้ประโยชน์สำหรับควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสภาพแปลงนาข้าวได้ดี โดยทำการเก็บรักษาโคนิเดียเชื้อราในดินที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7-21 วัน และทำการศึกษาการรอดชีวิตของโคนิเดียจากการเจริญเป็นโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA พบว่า โคนิเดียของไอโซเลทเชื้อราส่วนใหญ่สามารถรอดและเจริญขึ้นเป็นโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อทดสอบได้ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับของอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษา โดยโคโลนีเชื้อราที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อมีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระดับอุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และระยะเวลาในการเก็บรักษายาวนานขึ้น อย่างไรก็ตาม เชื้อรา *M. anisopliae* เพียงสองไอโซเลท คือ PB-02 และ PB-75 เท่านั้นที่สามารถคงความมีชีวิตได้ดีที่สุดที่ $3.8 \times 10^4$ and $3.9 \times 10^4$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ภายใต้สภาพการเก็บรักษาในดินที่มีอุณหภูมิสูง 50 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน และผ่านการคัดเลือกเพื่อศึกษาคุณสมบัติและศักยภาพอื่น ๆ เพิ่มเติมรวมถึงการพัฒนาต่อยอดเป็นชีวภัณฑ์สำหรับใช้ควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสภาพแปลงนาข้าวซึ่งมีสภาพอุณหภูมิสูงต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคเหนือตอนล่าง มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกที่ให้ความอนุเคราะห์ เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์การวิจัย และแมลงทดสอบ ทำให้การดำเนินการวิจัยเป็นไปอย่างเรียบร้อย

## เอกสารอ้างอิง

Bai, Y., S. Wang, H. Zhong, Q. Yang, F. Zhang, Z. Zhuang, J. Yuan, X. Nie and S. Wang. 2015. Integrative analyses reveal transcriptome-proteome correlation in biological pathways and secondary

metabolism clusters in *A. flavus* in response to temperature. Scientific reports 5: 14582, https://doi.org/10.1038/srep28154.

Boontud, M. 2019. Potential of entomopathogenic fungi isolated from soils in Uttaradit Province for controlling diamondback moth larva. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 80 p. (in Thai)

Brunner-Mendoza, C., M.R. Reyes-Montes, S. Moonjely, M.J. Bidochka and C. Toriello. 2019. A review on the genus *Metarhizium* as an entomopathogenic microbial biocontrol agent with emphasis on its use and utility in Mexico. Biocontrol Science and Technology 29(1): 83-102.

Bugeme, D.M., N.K. Maniania, M. Knapp and H.I. Boga. 2008. Effect of temperature on virulence of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* isolates to *Tetranychus evansi*. Experimental and Applied Acarology 46: 275-285.

Bunsak, A., W. Homhaul, W. Pongprasert, K. Ruangrit and S. Intanon. 2023. Occurrence of entomopathogenic fungi from natural ecosystems in Phetchabun, Thailand and their virulence against brown planthopper. Current Applied Science and Technology 23(4): 1-15.

Chandra Teja, K.N.P. and S.J. Rahman. 2017. Effect of media pH on the growth of entomopathogenic fungi isolated from different rhizosphere soils. International Journal of Bioassays 6(3); 5325-5327.

Climate Center. 2023. Climate change in Thailand. (Online). Available: http://climate.tmd.go.th/content/category/11 (November 8, 2023). (in Thai)

Couceiro, J.C., M.B. Fatoretto, C.G.B. Demétrio, N.V. Meyling and I. Delalibera. 2021. UV-B radiation tolerance and temperature-dependent activity within the entomopathogenic fungal genus *Metarhizium* in Brazil. Frontiers in Fungal Biology 2: e645737.

Dugan, F.M. 2017. The Identification of Fungi: An Illustrated Introduction with Keys, Glossary, and Guide to Literature. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota.

Ekesi, S., N.K. Maniania and S.A. Lux. 2003. Effect of soil temperature and moisture on survival and infectivity of *Metarhizium anisopliae* to four tephritid fruit fly puparia. Journal of Invertebrate Pathology 83(2): 157-167.

Fernandes, E.K.K., D.E.N. Rangel, A.M.L. Moraes, V.R.E.P. Bittencourt and D.W. Roberts. 2008. Cold activity of *Beauveria* and *Metarhizium*, and thermotolerance of *Beauveria*. Journal of Invertebrate Pathology 98(1): 69-78.

Ghayedi, S. and M. Abdollahi. 2013. Biocontrol potential of *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae), isolated from suppressive soils of the Boyer-Ahmad region, Iran, against J2s of *Heterodera avenae*. Journal of Plant Protection Research 53(2): 165-171.

Horaczek, A. and H. Viernstein. 2004. *Beauveria brongniartii* subjected to spray-drying in a composite carrier matrix system. Journal of Microencapsulation 21(3): 317-330.

Ihara, F., M. Toyama and T. Sato. 2003. Pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* to

the chestnut weevil larvae under laboratory and field conditions. Applied Entomology and Zoology 38(4): 461-465.

Iskandarov, U.S., A.G. Guzalova and K.D. Davranov. 2006. Effects of nutrient medium composition and temperature on the germination of conidia and the entomopathogenic activity of the fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. Applied Biochemistry and Microbiology 42: 72-76.

Keppanan, R., S. Sivaperumal, L.C. Ramos Aguila, M. Hussain, B.S. Bamisile, C.K. Dash and L. Wang. 2018. Isolation and characterization of *Metarhizium anisopliae* TK29 and its mycoinsecticide effects against subterranean termite *Coptotermes formosanus*. Microbial Pathogenesis 123: 52-59.

Kershaw, M.J., E.R. Moorhouse, R. Bateman, S.E. Reynolds and A.K. Charnley. 1999. The role of destruxins in the pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* for three species of insect. Journal of Invertebrate Pathology 74(3): 213-223.

Kroll, K., V. Pähtz and O. Kniemeyer. 2014. Elucidating the fungal stress response by proteomics. Journal of proteomics 97; 151-163.

Lord, J.C. 2005. From Metchnikov to Monsanto and beyond: The path of microbial control. Journal of Invertebrate Pathology 89(1): 19-29.

Luangsa-ard, J.J., K. Tasanathai, S. Mongkolsamrit and N. Hywel-Jones. 2007. Atlas of Invertebrate-Pathogenic Fungi of Thailand, Volume. 1. National Science and Technology Development Agency, Pathum Thani.

Luangsa-ard, J.J., K. Tasanathai, S. Mongkolsamrit and N. Hywel-Jones. 2009. Atlas of Invertebrate-Pathogenic Fungi of Thailand, Volume. 2. Bangkok, Thailand: National Science and Technology Development Agency, Pathum Thani.

Meyling, N.V. and J. Eilenberg. 2007. Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: Potential for conservation biological control. Biological Control 43(2): 145-155.

Miteva-Staleva, J.G., E.T. Krumova, S.V. Vassilev and M.B. Angelova. 2017. Cold-stress response during the stationary-growth phase of Antarctic and temperate-climate *Penicillium* strains. Microbiology 163(7); 1042-1051.

Nussenbaum, A.L., M.A. Lewylle and R.E. Lecuona. 2013. Germination, radial growth and virulence to boll weevil of entomopathogenic fungi at different temperatures. World Applied Sciences Journal 25(8): 1134-1140.

Ouedraogo A., J. Fargues, M.S. Goettel and C.J. Lomer.1997. Effect of temperature on vegetative growth among isolates of *Metarhizium anisopliae* and *M. flavoviride*. Mycopathologia 137(1): 37-43.

Patirupanusara, P., T. Patirupanusara and P. Pattawatang. 1999. Pathogenicity of entomopathogenic fungi on brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) and green leafhopper (*Nephotettix virescens*). Phisanulok Rice Research Center, Phitsanulok. (in Thai)

Raja Namasivayam, S.K., R. Aarthi, and P. Anbazhahan. 2015. Studies on factors

influencing the viability of entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* in soil adapting culture dependent method. Journal of Biopesticides, 8(1): 23-27.

Rangel, D.E.N., G.U.L. Braga, A.J. Anderson and D.W. Roberts. 2005. Influence of growth environment on tolerance to UV-B radiation, germination speed, and morphology of *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* conidia. Journal of Invertebrate Pathology 90(1): 55-58.

Roy, H.E., D.C. Steinkraus, J.E. Eilenberg, A.K. Hajek and J. Pell. 2006. Bizarre interactions and endgames: Entomopathogenic fungi and their arthropod hosts. Annual Review of Entomology 51: 331-357.

Sánchez-Peña S.R., J.S. Lara and R.F. Medina. 2011. Occurrence of entomopathogenic fungi from agricultural and natural ecosystems in Saltillo, México, and their virulence towards thrips and whiteflies. Journal of Insect Science 11(1): 1, doi:10.1673/031.011.0101.

Suasa-ard, W., P. Sommartya, P. Buchatian, A. Puntongcum and R. Chiangsin. 2004. Effect of *Metarhizium anisopliae* on infection of sugarcane stems borer, *Dorysthenes buqueti* Guerin (Coleoptera: Cerambycidae) in laboratory. Kasetsart Journal (Natural Science) 51(46): 115 - 160. (in Thai)

Sun, J., J.R. Fuxa and G. Henderson. 2003. Effects of virulence, sporulation, and temperature on *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* laboratory transmission in *Coptotermes formosanus*. Journal of Invertebrate Pathology 84(1): 38-46.

Thai Meteorological Department. 2023. Daily agromet forecast. (Online). Available: https://www.tmd.go.th/en/forecast/dailyweatheragro (November 8, 2023). (in Thai)

Thaochan, N. and A. Chinajariyawong. 2008. Control potential of entomophathogenic fungi, *Metarhizium anisopliae*, in fruit fly Pest (Diptera: Tephritidae) Agricultural Science Journal, 39(3) (Suppl.): 21-25. (in Thai)

Tiwari, S., R. Thakur and J. Shankar. 2015. Role of heat-shock proteins in cellular function and in the biology of fungi. Biotechnology research international: 132635, doi:10.1155/2015/132635.

Vidal, C., J. Fargues and L. A. Lacey. 1997. Intraspecific variability of *Paecilomyces fumosoroseus*: Effect of temperature on vegetative growth. Journal of Invertebrate Pathology 70(1): 18-26.

Williams, T.J., F.M. Lauro, H. Ertan, D.W. Burg, A. Poljak, M.J. Raftery and R. Cavicchioli. 2011. Defining the response of a microorganism to temperatures that span its complete growth temperature range (-2°C to 28°C) using multiplex quantitative proteomics. Environmental microbiology 13(8): 2186-2203.

Zimmermann, G. 1992. *Metarhizium anisopliae* an entomopathogenic fungus, Pflanzenschutz Nachrichten Bayer 45(63): 113-128.

# การเพิ่มอัตราการตั้งท้องด้วยเทคนิคการกำหนดเวลาผสมเทียม ในฝูงโคเนื้อแม่พันธุ์ในพื้นที่จังหวัดศรีสะเกษ

# Increasing Pregnancy Rate by Fixed-time Artificial Insemination Technique in Beef Cattle, Si Sa Ket Province

**เกริกวิทย์ วงศ์จันทร์[1] วาที คงบรรทัด[2] พัชรี พรมตัน[1] วรรณลักษณ์ ถาวร[1] กฤดา ชูเกียรติศิริ[1] และ วิวัฒน์ พัฒนาวงศ์[1*]**

Kerkwit Wongjan[1], Watee Kongbuntad[2], Patcharee Promtan[1], Wannaluk Thaworn[1], Kridda Chukiatsiri [1] and Wiwat Pattanawong[1*]

*[1]คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290*

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

*[2]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290*

*[2]Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand*

**Corresponding author: E-mail: Wpattanawong@gmail.com*

*(Received: 29 May 2023; Accepted: 17 January 2024)*

**Abstract:** The objectives of this research were to study reproductive problems in cattle farming and to increase the pregnancy rate in postpartum beef cattle of farmers in the sustainable cattle farming community enterprise network, Si Sa Ket Province, using a fixed-time artificial insemination technique. This research was divided into two experiments as follow: **Experiment 1**, The survey on reproductive problems encountered in the beef cattle herds of farmers, by interviews of 100 beef farmers with 450 beef cattles, using descriptive statistics, on reproductive problems affecting the production of beef cattle in the beef cattle herd of farmers. **Experiment 2**, 26 crossbred *Bos taurus* and 170 crossbred *B. indicus* beef cattle (>20 months old) were used to increase the pregnancy rate in postpartum cattle herd using fixed-time artificial insemination technique. Cows were in good health, no reproductive disorders, and had a complete ovary through examination of the reproductive system by rectal palpation and ultrasonography. Cows were synchronized estrus and fixed-time artificial insemination with P-sync protocol. At the time of fixed-time artificial insemination, cows were divided into 4 group according to follicle size: <4.9 mm, 5.0-7.9 mm, 8.0-10.9 mm, 11.0-13.9 mm, and >14 mm in diameter. The mean and percentage were analyzed in a Lee-squared style using the mixed follicle size. In pregnancy rate percentage of all pregnant cattle as a reproductive index, it was found that cows with a follicle diameter of 11.0 - 13.9 mm had a higher pregnancy rate than beef cows with a follicle diameter of 8.0-10.9 mm ($P<0.05$).

**Keywords:** Pregnancy rate, beef cattle, follicle size, fixed-time artificial insemination, cows

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาด้านระบบสืบพันธุ์ที่พบในการเลี้ยงโคและเพิ่มอัตราการตั้งท้องในโคเนื้อแม่พันธุ์ของเกษตรกรเครือข่ายวิสาหกิจชุมชนเลี้ยงโคเนื้อยั่งยืนจังหวัดศรีสะเกษด้วยเทคนิค การกำหนดเวลาผสมเทียม การวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 การสำรวจปัญหาระบบสืบพันธุ์ในฝูงโคเนื้อของเกษตรกร โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรจำนวน 100 ราย ที่เลี้ยงโคแม่พันธุ์จำนวน 450 ตัว และการทดลองที่ 2 การเพิ่มอัตราการตั้งท้องในโคเนื้อแม่พันธุ์ ใช้โคเนื้อเพศเมียลูกผสมสายพันธุ์ยุโรปจำนวน 26 ตัว และลูกผสมสายพันธุ์อินเดีย จำนวน 170 ตัว อายุมากกว่า 20 เดือน ถูกใช้เพื่อเพิ่มอัตราการตั้งท้องในฝูงโคแม่พันธุ์ด้วยเทคนิคการกำหนดเวลาผสมเทียม โคเนื้อทั้งหมดเป็นโคที่มีสุขภาพดี ไม่ปรากฏความผิดปกติทางระบบสืบพันธุ์ และมีรังไข่ที่สมบูรณ์โดยพิจารณาจากการล้วงตรวจตรวจระบบสืบพันธุ์ควบคู่กับการใช้เครื่องอัลตราซาวด์โคแม่พันธุ์ทุกตัวได้รับการเหนี่ยวนำการเป็นสัดและการกำหนดเวลาผสมเทียมด้วยโปรแกรม P-sync โดยในวันที่กำหนดเวลาผสมเทียม โคแม่พันธุ์ถูกแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ตามขนาดของฟอลลิเคิลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด <4.9 มม, 5.0-7.9 มม, 8.0-10.9 มม, 11.0-13.9 มม, และ มากกว่า 14 มม วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและร้อยละ แบบลีสแควร์ โดยใช้ ขนาดฟอลลิเคิลวันผสม อัตราการตั้งท้อง เปอร์เซ็นต์โคตั้งท้องทั้งหมด เป็นดัชนีด้านระบบสืบพันธุ์ พบว่า แม่โคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์ของฟอลลิเคิลที่ 11.0-13.9 มม. และ มากกว่า 14 มม. มีอัตราการตั้งท้องสูงกว่าแม่โคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์ของฟอลลิเคิลที่น้อยกว่า โคเพศเมียอย่างมีนัยสำคัญทางทางสถิติ ($P<0.05$)

**คำสำคัญ**: อัตราการตั้งท้อง โคเนื้อ ขนาดฟอลลิเคิล การกำหนดเวลาผสมเทียม

## คำนำ

จากการสำรวจข้อมูลและสัมภาษณ์เกษตรกรผู้เลี้ยงโคในพื้นที่ภาคเหนือและเกษตรกรจังหวัดศรีสะเกษ พบว่า มีจำนวนโคเนื้อมีชีวิตภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการบริโภคเนื้อโคที่เพิ่มมากขึ้น และยังมีการส่งออกโคเนื้อมีชีวิตออกนอกประเทศมากขึ้น ทั้งนี้เกษตรกรมีประสิทธิภาพการผลิตโคเนื้อที่ต่ำอันเนื่องมาจากเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อยังประสบปัญหาในหลายด้าน ได้แก่ เกษตรกรขาดความรู้ในด้านการจัดการการเลี้ยงดูโคเนื้อและขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ จึงทำให้โคได้รับสารอาหารที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต อีกทั้งการจัดการในด้านการผสมพันธุ์ยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอ และหลักการเลี้ยงโคนั้นถ้าหากแม่โคขาดความสมบูรณ์พันธุ์จะทำให้อัตราการผสมติดต่ำ อัตราการให้ลูกโคต่ำ และอัตราการตายสูง นอกจากนี้การจัดการฝูงแม่พันธุ์โคที่ไม่ดี จะส่งผลให้แม่โคไม่สามารถผลิตลูกโคได้ปีละ 1 ตัว โดยปัญหาที่พบในกลุ่มผู้เลี้ยงโคเนื้อแม่พันธุ์ คือ แม่โคไม่แสดงอาการเป็นสัด ไม่กลับสัด และผสมไม่ติด (Intawicha *et al*., 2016) ส่งผลต่ออัตราการผสมติด อัตราการตั้งท้อง อัตราการรอดของลูกโค ทำให้มีผลผลิตลูกโคในแต่ละปีลดลง จึงต้องยกระดับการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณโคเนื้อทั้งระบบการผลิตรวมถึงจำนวนโคเนื้อในประเทศ ต้องมีการนำเทคโนโลยีช่วยเจริญพันธุ์มาใช้ในฝูงโคเนื้อของเกษตรกร เช่น การผสมเทียมโค โดยเป้าหมายการเลี้ยงโคให้มีผลกำไรที่ดีนั้น ต้องให้ความสำคัญในด้านความสมบูรณ์ของร่างกายและด้านระบบสืบพันธุ์ของโคแม่พันธุ์จึงต้องมีการดูแลให้ดี นอกจากนี้ค่าดัชนีระยะห่างของช่วงการคลอดลูก (Calving Interval; CI) ไม่ควรเกิน 365 วัน ซึ่งระยะห่างของช่วงการคลอดลูกนี้จะประกอบด้วยระยะการตั้งท้อง 280-285 วัน ระยะเวลาคลอดจนถึงผสมติดและตั้งท้อง (Calving to Conception Interval; CCI) และระยะเวลาวันท้องว่าง (Days Open; DO) 85 วัน ซึ่งปัจจัยที่สำคัญมีผลต่อระยะเวลาคลอดถึงผสมติดตั้งท้อง คือ ระยะหลังคลอด-ผสมครั้งแรก, ระยะผสมครั้งแรก-ผสมติดตั้งท้อง ควรมีเป้าหมายที่น้อยกว่า 60-90 วัน แต่ถ้าหากเกิน 90 วัน ต้องมีแนวทางการแก้ไขปัญหา (Rodgers *et al*., 2012) นอกจากนี้มีรายงานว่า CI ของแม่โค 12-13 เดือน ซึ่งมีความสำคัญทางเศรษฐกิจอย่างมาก (Stevenson, 2007) สอดคล้องกับการศึกษาในประเทศเนเธอร์แลนด์

ที่พบว่า เวลาในการผสมเทียมของแต่ละฟาร์มมีความแตกต่างกันไป และโดยเฉลี่ยแม่โคมีช่วงเวลาการคลอดลูกจนถึงการได้รับผสมเทียมครั้งแรกควรมีระยะเวลา 87 วัน (Inchaisri *et al*., 2010) ในโคนมที่ให้ผลผลิตสูงต้องพบกับความสมดุลของพลังงานเชิงลบอย่างรุนแรง ส่งผลต่อการตกไข่ครั้งแรกของแม่โคหลังคลอด และแม่โคจะได้รับการผสมเทียมครั้งแรกที่ล่าช้าออกไป (Leroy *et al*., 2008) นอกจากนี้แม่โคยังมีอาการเป็นสัดเงียบ เนื่องจากความสมดุลของพลังงานติดลบ (Roelofs *et al*., 2010) การผลิตโคเนื้อที่มีเป้าหมายเพื่อการผลิตลูกโคให้มีปริมาณมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อการบริโภคทั้งภายในประเทศ และการส่งออก จึงมีความจำเป็นต้องมีการจัดการที่มีประสิทธิภาพ เช่น การจัดให้มีฤดูผสมพันธุ์ หรือการกำหนดช่วงเวลาในการผสมพันธุ์ ซึ่งข้อดีของการกำหนดช่วงเวลาในการผสมคือ ลูกโคจะคลอดในฤดูที่เหมาะสม มีอาหารที่อุดมสมบูรณ์ และลูกโคคลอดในเวลาที่ใกล้เคียงกันสะดวกต่อการจัดการ สามารถวางแผนในการผลิตโคเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Sommat *et al*., 2017)

การแก้ไขปัญหาของระบบการสืบพันธุ์ของโค ซึ่งเป็นปัญหาที่พบในเกษตรกรที่ขาดความรู้ด้านการจัดการ เช่น ปัญหาผสมติดยาก การผสมไม่ติด การผสมซ้ำ โคไม่แสดงอาการเป็นสัด แม่โคมีปัญหาเกี่ยวกับระบบสืบพันธุ์ที่บกพร่อง โดยส่งผลให้โคนางมีวันท้องว่างมากกว่า 120 วัน เป็นสาเหตุให้ทำให้ได้ลูกโคช้าออกไป เกษตรกรสูญเสียรายได้ และเพิ่มต้นทุนการเลี้ยงโค (Kim *et al*., 2003) การใช้ฮอร์โมนเพื่อเหนี่ยวนำการเป็นสัดให้ผลอัตราการเป็นสัด ส่งผลต่ออัตราการตกไข่ที่สามารถยอมรับได้ และมีระยะเวลาตกไข่ที่แม่นยำ ทำให้สามารถกำหนดเวลาในการผสมเทียมอย่างได้ผล สอดคล้องกับ Tenhagen *et al*. (2003) รายงานว่าการให้ฮอร์โมนโปรเจสเทอโรนชนิดสอดเข้าช่องคลอดร่วมกับโปรแกรมการเหนี่ยวนำการตกไข่ และการผสมเทียมแบบกำหนดระยะเวลาให้ผลการตอบสนองที่ดี ซึ่งโปรแกรมการเหนี่ยวนำการเป็นสัด และตกไข่ด้วยฮอร์โมนโปรเจสเทอโรนชนิดสอดเข้าช่องคลอดสามารถเหนี่ยวนำให้แม่โคแสดงอาการเป็นสัดสูงมากกว่า 90% สอดคล้องกับการรายงานของ Bo *et al*. (2019) การนำเทคโนโลยีการเหนี่ยวนำการเป็นสัดมาใช้ในแม่โคที่ไม่มีอาการเป็นสัด มีความผิดปกติด้านระบบสืบพันธุ์ โดยเป้าหมายของการเหนี่ยวนำการเป็นสัด คือ เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการระบบสืบพันธุ์ในแม่โคหลังคลอด ประโยชน์จากการเหนี่ยวนำการเป็นสัด ซึ่งในโคที่แสดงการเป็นสัดตามธรรมชาติจะมีการใช้โปรแกรมเหนี่ยวนำทำให้ช่วงระยะลูเตียลของโคสั้นลง เป็นการแก้ไขปัญหาการผสมพันธุ์ที่เกิดจากความไม่พร้อมที่จะเฝ้าสังเกตการณ์เป็นสัดของเจ้าของโค การเป็นสัดเงียบในโคหลังคลอด โดยลดระยะเวลาคลอดถึงการผสมติด และการตั้งท้องในกลุ่มโคที่ไม่แสดงอาการเป็นสัด ลดจำนวนการผสมซ้ำหลายครั้ง และสามารถลดระยะรอบการเป็นสัดได้ นอกจากนั้น การเหนี่ยวนำการเป็นสัดยังมีประโยชน์ต่อการควบคุมวางแผนการผลิตลูกในแต่ละปี เพื่อให้มีแม่โคคลอดลูก ให้ผลผลิตตลอดทั้งปี (Aiumlamai, 2010) ทั้งนี้ การผสมเทียมที่ประสบผลสำเร็จจะต้องมีการตรวจเช็คขนาดของฟอลลิเคิลซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการผสมติดเลยก็ว่าได้ ซึ่งขนาดฟอลลิเคิลที่พัฒนาจนเกิดการตกไข่จะเริ่มตั้งแต่ 10-20 มม. (Wiltbank *et al*., 2002) ทั้งนี้ต้องใช้ความแม่นยำจากการใช้เครื่องอัลตร้าซาวด์ในการวัดขนาดฟอลลิเคิลและคอร์ปัสลูเตียมก่อนเริ่มทำโปรแกรมเหนี่ยวนำการเป็นสัด และตรวจวัดขนาดฟอลลิเคิลอีกครั้งก่อนทำการทำการผสมเทียมตามโปรแกรมเหนี่ยวนำการเป็นสัด รวมถึงปัจจัยจากโคลูกผสมทั้ง 2 สายพันธุ์ (ลูกผสมสายพันธุ์ยุโรป และลูกผสมสายพันธุ์อินเดีย) ที่เกษตรกรเลี้ยงไว้ ซึ่งจะมีระดับฮอร์โมนเพศก่อนการเป็นสัดที่ไม่เท่ากัน (Patterson *et al*., 1989) แต่เมื่อทำการเหนี่ยวนำการเป็นสัดให้แก่โค พบว่า โคลูกผสมทั้ง 2 สายพันธุ์ มีการตอบสนองต่อสิ่งต่างๆ ที่ไม่แตกต่างกัน อาทิเช่น การตอบสนองต่อการเหนี่ยวนำ ชั่วโมงการเป็นสัด อัตราการผสมติด หรือแม้แต่อัตราการตั้งท้อง (Hardin and Randel, 1982; Patterson *et al*., 1989) และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการตั้งท้องของโคลูกผสมก็ไม่ มีความแตกต่างกัน (Lokhande *et al*., 1983; Green *et al*., 1991) ดังนั้นการออกแบบการทดลองเพื่อลดความแปรปรวนของอัตราการตั้งท้องใน 2 สายพันธุ์นี้ โดยใช้การวางโปรแกรมการกำหนดเวลาผสมเทียม (Fixed Time A.I.) ในการ-

ทดลองเพื่อลดอัตราการท้องว่างของแม่โค (Bo *et al*., 2019)

ดังนั้น จึงต้องมีการนำเทคโนโลยีช่วยในการเจริญพันธุ์ดังกล่าวเข้ามาช่วยแก้ไขปัญหานี้ด้วยเทคนิคการกำหนดเวลาผสมเทียมให้กับแม่โคเนื้อในฝูงโคของเกษตรกร เพื่อเพิ่มอัตราการตั้งท้อง และลดปัญหาวันท้องว่างในแม่โคหลังคลอด ส่งผลให้แม่โคในฝูงของเกษตรกรสามารถมีการคลอดลูกทุกปี การวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟอลลิเคิลในวันผสมเทียมต่ออัตราการตั้งท้องในแม่โคเนื้อที่ได้รับการกำหนดเวลาผสมเทียม

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การทดลองที่ 1 การสำรวจปัญหาระบบสืบพันธุ์ในฝูงโคเนื้อของเกษตรกร

**ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วยเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจจากเกษตรกรสมาชิกวิสาหกิจผู้เลี้ยงโคเนื้อยั่งยืน จังหวัดศรีสะเกษ จากการสังเกต การสัมภาษณ์โดยใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการทำการทดลองวิจัย เกษตรกรเข้ารวมจำนวน 100 ราย มีโคแม่พันธุ์จำนวน 450 ตัว และแบบฟอร์มแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐานของเกษตรกรเกี่ยวกับปัญหาระบบสืบพันธุ์โค

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

ข้อมูลที่รวบรวมได้จากแบบสอบถามและการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อทั้งหมด ถูกนำมาตรวจสอบความสมบูรณ์และความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำมาจัดกลุ่มตามชุดคำถามและกำหนดรหัสเพื่อแปลความหมายด้วยทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดย โปรแกรมสำเร็จรูป (Statistics Package or the Social Sciences: SPSS 16.0 for Windows) ลิขสิทธิ์สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จากนั้นข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ เพื่อศึกษาโครงสร้างและการกระจายตัวในภาพรวมของชุดข้อมูล โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

### การทดลองที่ 2 การใช้เทคโนโลยีการกำหนดเวลาผสมเทียมโคเนื้อในการเพิ่มอัตราการตั้งท้องในฝูงโคเนื้อของเกษตรกรสมาชิกวิสาหกิจเลี้ยงโคเนื้อยั่งยืน จังหวัดศรีสะเกษ

**สัตว์ทดลอง**

โคเนื้อเพศเมียลูกผสมสายพันธุ์ยุโรป จำนวน 26 ตัว และลูกผสมสายพันธุ์อินเดีย จำนวน 170 ตัว รวมทั้งหมดจำนวน 196 ตัว อายุมากกว่า 20 เดือน ในฝูงโคเนื้อของเกษตรกรสมาชิกวิสาหกิจเลี้ยงโคเนื้อยั่งยืน จังหวัดศรีสะเกษ เป็นโคที่มีสุขภาพดี ไม่มีความผิดปกติทางระบบสืบพันธุ์ และมีรังไข่ที่สมบูรณ์ โดยผ่านการล้วงตรวจตรวจระบบสืบพันธุ์และควบคู่กับการใช้เครื่องอัลตร้าซาวด์ (CARELIFE รุ่น HV-5 แบบบีโหมด ความถี่ 7.5 เมกะเฮิร์ซ บริษัท Carelife Medical Technology จำกัด ประเทศจีน) ด้วยผู้ตรวจคนเดียวตลอดการศึกษาวิจัย ตั้งแต่วันที่ 0 ของการเริ่มวางโปรแกรมเหนี่ยวนำการเป็นสัด จนถึงวันที่ 9 ก่อนการผสมเทียม โดยหมายเลขขออนุญาตใช้สัตว์ทดลอง MACUC 039A /2563 ออกให้โดยคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์ฯ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การประเมินความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟอลลิเคิลในวันผสมเทียมต่ออัตราการตั้งท้องในโคเนื้อแม่พันธุ์ของเกษตรกรเครือข่ายวิสาหกิจชุมชนเลี้ยงโคเนื้อยั่งยืนจังหวัดศรีสะเกษ แบ่งกลุ่มโคที่มีขนาดฟอลลิเคิลในวันที่ผสมเทียม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ฟอลลิเคิลที่มีขนาดน้อยกว่า 4.9 มม.
กลุ่มที่ 2 ฟอลลิเคิลที่มีขนาดน้อยกว่า 5.0 - 7.9 มม.
กลุ่มที่ 3 ฟอลลิเคิลที่มีขนาดน้อยกว่า 8.0 - 10.9 มม.
กลุ่มที่ 4 ฟอลลิเคิลที่มีขนาดน้อยกว่า 11.0-13.9 มม.
กลุ่มที่ 5 ฟอลลิเคิลที่มีขนาดมากกว่ากว่า 14.0 มม.

โดยมีรูปแบบโปรแกรมกำหนดเวลาผสมเทียมสำหรับการทดลองแสดงดัง Figure 1

**โปรแกรมการทดลอง** ดังนี้

1. วันที่ 0 ทำการติดแผ่น P-sync® ที่โคนหางให้แผ่นฮอร์โมนอยู่ใต้โคนหางพร้อมฉีดสารละลาย

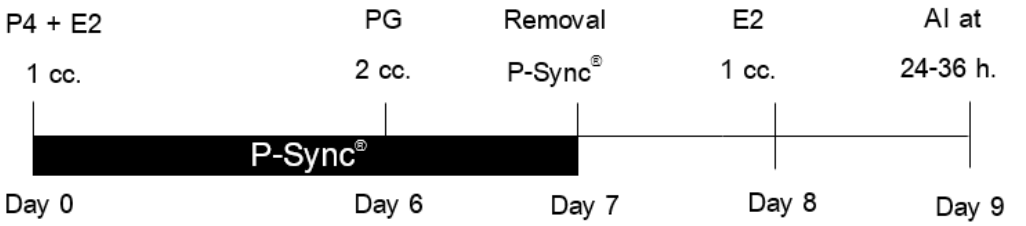



Figure 1. Fixed-time artificial insemination program by P-sync

Progesterone และ Oestradiol (P4+E2) จำนวน 1 ml เข้ากล้ามเนื้อ และตรวจขนาดฟอลลิเคิลและคอร์ปัสลูเตียมด้วยเครื่องอัลตร้าซาวด์ (Ultrasound; US)

2. วันที่ 6 ฉีด Estrumate® สารละลาย Prostaglandin (PG) ปริมาณ 2 ml เข้ากล้ามเนื้อ

3. วันที่ 7 ถอดแผ่น P-sync® ที่พันหางแม่โคออก

4. วันที่ 8 ฉีดสารละลาย E2 ปริมาณ 1 ml เข้ากล้ามเนื้อ

5. วันที่ 9 ตรวจขนาดฟอลลิเคิลด้วยเครื่องอัลตร้าซาวด์ และทำการผสมเทียม

*กลุ่มโคทดลอง เป็นกลุ่มที่โปรแกรมกำหนดเวลาผสมเทียมแบบแผ่น P-sync® ปกติ จำนวน 196 ตัว

** ชุดแผ่น P-sync® พร้อมสารละลาย P4+E2, PG และ E2 จัดจำหน่ายโดยบริษัท น้ำเชื้อว่องไว จำกัด ประเทศไทย

**การผสมเทียม**

การเตรียมน้ำเชื้อ เริ่มจากการเตรียมปืนผสมเทียมและอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน นำหลอดน้ำเชื้อแช่แข็งออกจากถังไนโตรเจนเหลวหลังจากนั้นนำหลอดน้ำเชื้อแช่แข็งมาละลายน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 30 วินาที นำหลอดน้ำเชื้อขึ้นมาเช็ดให้แห้ง นำหลอดน้ำเชื้อใส่ปืนผสมเทียมทำการตัดหลอดน้ำเชื้อ จากนั้นใส่ดับเบิ้ลซีท และซานิทาลีซีท

การผสมเทียม เริ่มจากเช็ดอวัยวะเพศแม่โคให้สะอาด สวมถุงมือผสมเทียม ทำการล้วงผ่านช่องทวารหนักเอามูลโคออกให้หมดหลังจากนั้นทำการสอดปืนผสมเทียมเข้าที่อวัยวะเพศโคสอดปืนผสมเทียมให้ผ่านคอมดลูกจนไปถึงตัวมดลูก เมื่อสอดผ่านแล้วทำการปล่อยน้ำเชื้อที่บริเวณตัวมดลูก และทำการบันทึกวันที่ผสมเทียม และหลังจากนั้นค่อยสังเกตอาการการกลับสัดของแม่โคในครั้งถัดไปที่ 18-24วัน โดยใช้ผู้ผสมเทียมคนเดียวตลอดการศึกษาวิจัย

**การตรวจการตั้งท้อง**

ในการตรวจการตั้งท้องใช้การสังเกตการกลับสัด ของแม่โคในช่วง 18-25 วัน หลังจากวันผสมเทียม หากแม่โคผสมติดจะไม่แสดงอาการเป็นสัดในช่วง 18-25 วัน หลังจากผสมเทียม (ผสมติดครั้งที่ 1) ถ้าแม่โคแสดงอาการ เป็นสัดในช่วง 18-25 วัน หลังจากผสมเทียมแสดงว่า แม่โคผสมไม่ติด จะทำการผสมเทียมอีกครั้ง (จากการเป็นสัดธรรมชาติ) ถ้าหากแม่โคผสมติดจะไม่แสดงการเป็นสัดในช่วง 18-25 วัน ถือว่าผสมเทียมติดครั้งที่ 2 ส่วนแม่โคตัวที่ไม่แสดงอาการเป็นสัดในช่วงเวลา 42 วัน หลังจากทำการผสมเทียม ทำการตรวจการตั้งท้องอีกครั้งโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์ ด้วยผู้ตรวจคนเดียวตลอดการศึกษาวิจัย

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

ผู้วิจัยนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดย โปรแกรมสำเร็จรูป (Statistics Package for the Social Sciences: SPSS 16.0 for Windows) ลิขสิทธิ์สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ข้อมูลมาวิเคราะห์และหาค่าความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี PROC GLM โดยกลุ่มการจัดการ ได้แก่ ช่วงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางฟอลลิเคิลในวันที่ผสมเทียม (มม.) ข้อมูลที่ได้นำไป วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและร้อยละ แบบลีสแควร์สำหรับแต่ละกลุ่มย่อยของปัจจัยถูกประมาณค่าและนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Tukey-Kramer ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยการใช้ดัชนีด้านระบบสืบพันธุ์เพื่อวิเคราะห์และเพิ่ม

ประสิทธิภาพการผลิตโค คือ อัตราการตั้งท้อง เพื่อนำไปประเมินอัตราการตั้งท้อง โดยใช้สมการ ดังนี้

อัตราการตั้งท้อง = (จำนวนโคที่ตั้งท้อง / จำนวนโคที่ได้รับการผสมพันธุ์) X 100

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

### การทดลองที่ 1 การสำรวจปัญหาระบบสืบพันธุ์ในฝูงโคเนื้อของเกษตรกร

จากการสัมภาษณ์การเลี้ยงโคเนื้อของเกษตรกร จำนวน 100 ราย ใน 2 อำเภอ ของจังหวัดศรีสะเกษ คือ อำเภอปรางค์กู่ และอำเภอขุขันธ์ พบว่า จากการสำรวจปัญหาในโคแม่พันธุ์ของเกษตรกร จำนวน 450 ตัว พบโคเนื้อของเกษตรกรที่มีปัญหาระบบสืบพันธุ์ จำนวน 178 ตัว จากการศึกษาส่วนใหญ่ร้อยละ 37.64 แม่โคหลังคลอดไม่แสดงการเป็นสัด รองลงมาร้อยละ 33.14 โคผสมติดยาก ร้อยละ 10.67 โคมีปัญหามดลูกอักเสบ ร้อยละ 9.56 โคมีปัญหาถุงน้ำในรังไข่ และร้อยละ 8.99 แม่โคมีรังไข่ไม่สมบูรณ์ ดังแสดงใน Table 1 จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า วิธีที่ช่วยการแก้ไขปัญหาระบบสืบพันธุ์โคเนื้อ การเป็นสัดเงียบ และผสมไม่ติด ที่ถูกนำมาใช้แก้ปัญหา คือ การเหนี่ยวนำการเป็นสัดเพื่อให้แม่โคเกิดการตกไข่ โดยการฉีดฮอร์โมน GnRH (Soratchakul *et al*., 2018) ปัญหาจากการผสมไม่ติดเกษตรกรส่วนใหญ่ผสมติดหลังคลอด มีทั้งผสม 1 ครั้ง จนถึง 4 ครั้งจึงผสมติด สาเหตุมาจากแม่โคบางตัวมีสภาพไม่สมบูรณ์ตั้งแต่ช่วงตั้งท้องก่อนคลอดแม่โคที่มีสภาพสมบูรณ์แต่มีปัญหาการผสมติด ขึ้นอยู่กับการสังเกตการเป็นสัด ไม่เห็นอาการเป็นสัด โคบางตัวอาจไม่แสดงอาการชัดเจนเพราะขังเดี่ยว ต้องสังเกตการกินอาหารและสังเกตเมือกที่ช่องคลอด ก้นหรือหางเป็นประจำเช้าเย็น การผสมเร็วเกินไป เมื่อสังเกตการเป็นสัดไม่ทิ้งระยะห่างให้เหมาะสมสายพันธุ์ หากเป็นสายเลือดฮินดูบราซิลจะแสดงอาการเป็นสัดช้าหลังคลอดและอาการสัดไม่ชัดเจน นอกจากนี้การรายงานของ Mekdaeng *et al*. (2012) ปัญหาเกี่ยวกับระบบสืบพันธุ์โคเนื้อของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อภาคใต้ตอนล่างส่วนใหญ่มีปัญหาการผสมติดและไม่เป็นสัดหลังคลอดถึงร้อยละ 19.45 ดังนั้น การควบคุมวงรอบการเป็นสัดได้ แม่โคไม่แสดงการเป็นสัด มดลูกอักเสบ ผสมติดยาก ถุงน้ำในรังไข่ รังไข่ไม่สมบูรณ์ โคจะต้องได้รับสารอาหารอย่างเพียงพอก่อนเป็นปัจจัยแรก จึงจะทำให้การตอบสนองของระบบสืบพันธุ์เป็นไปอย่างสอดคล้องและสมบูรณ์ เมื่อโคที่ขาดอาหารมักจะเกิดการแท้งลูก รอบการเป็นสัดผิดปกติ และการแสดงอาการเป็นสัดไม่ชัดเจน โคนมปกติควรผสมติดและตั้งท้องภายใน 90 วัน หลังจากคลอดลูก (Pattrajinda, 2014)

### การทดลองที่ 2 การใช้เทคโนโลยีการกำหนดเวลาผสมเทียมโคเนื้อในการเพิ่มอัตราการตั้งท้องในฝูงโคเนื้อของเกษตรกรสมาชิกวิสาหกิจเลี้ยงโคเนื้อยั่งยืน จังหวัดศรีสะเกษ

จากผลการศึกษาการใช้เทคโนโลยีการกำหนดเวลาผสมเทียมฯ โดยมีการวางโปรแกรมการเหนี่ยวนำ

Table 1. Percentage cattle reproductive problems

| Cow reproductive problems | N = 178 | Percentage |
|---|---|---|
| Endometritis | 19 | 10.67 |
| Cows do not show heat | 67 | 37.64 |
| Difficult to breed | 59 | 33.14 |
| Ovarian cyst | 17 | 9.56 |
| Incomplete ovaries | 16 | 8.99 |

เป็นเวลา 9 วัน และแม่โคจะได้รับการผสมเทียมในวันที่ 10 จากนั้นทุก 21 วันหลังการผสมเทียม จะเข้าพื้นที่เพื่อติดตามผลการผสมเทียม หลังจากการผสมที่ 42 วัน จะทำตรวจการตั้งท้องแม่โคทั้ง 196 ตัว พบว่าแม่โคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์ของฟอลลิเคิล มากกว่า 4.9 มม. โดยแม่โคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์ของฟอลลิเคิลที่ 11.0-13.9 มม. มีอัตราการตั้งท้องสูงกว่าแม่โคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์ของฟอลลิเคิลอยู่ในช่วง 8.0-10.9 มม. ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับแม่โคที่มีขนาดของฟอลลิเคิลอยู่ในช่วง และมากกว่า 14 มม. ดังแสดงใน Table 2

จากผลการศึกษาขนาดฟอลลิเคิลต่ออัตราการตั้งท้องขอแม่โคเนื้อ จะเห็นได้ว่าขนาดของฟอลลิเคิลมีความสัมพันธ์กับการตกไข่ของแม่โค โดยปกติโคสายพันธุ์ *Bos indicus* มีขนาดโดมิแนนท์ฟอลลิเคิลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 5.7 ถึง 6.2 มม. (Sá Filho *et al*., 2010) ซึ่งขนาดฟอลิเคิลที่พัฒนาจนเกิดการตกไข่เริ่มตั้งแต่ 10-20 มม. (Wiltbank *et al*., 2002) นอกจากนี้ ความเครียดจากความร้อนในช่วงฤดูร้อนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โคแม่พันธุ์มีสภาวะการเจริญพันธุ์ต่ำ และความเครียดจากความร้อนมีผลต่อการพัฒนาขนาดฟอลลิเคิลในรังไข่ คุณภาพของเซลล์ไข่และการหลั่งฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนในช่วงลูเตียลลดลง (De Rensis and Scaramuzzi 2003) การตกไข่จากฟอลลิเคิลที่มีขนาดขนาด 11-13 มม. เหมาะสมกับโคเนื้อลูกผสมยุโรป ส่งผลให้เกิดขึ้นพร้อมกับการพัฒนาของ Corpus luteum (CL) ให้มีขนาดมีคุณภาพที่ดีขึ้นตามมา และส่งผลให้ความเข้มข้นของฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน เปอร์เซนต์การฝังตัวของตัวอ่อน และอัตราการผสมติดมากขึ้นด้วย ในทางกลับกันฟอลลิเคิลขนาดเล็กมีความสัมพันธ์ต่ออัตราการตกไข่ CL การผลิตฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนลดน้อยลง ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้อัตราการผสมติดและอัตราการตั้งท้องลดลงตามมา (Pfeifer *et al*., 2019)

ขนาดของฟอลลิเคิลเป็นปัจจัยที่มีผลต่อระดับฮอร์โมนเอสโตรเจน ที่ทำให้โคแสดงอาการเป็นสัด พร้อมที่จะได้รับการผสมพันธุ์และฟอลลิเคิลที่มีขนาดใหญ่มีความสัมพันธ์กับฮอร์โมนเอสตร้าไดออลและโปรเจสเตอโรนรวมถึงปัจจัยอื่นๆ (Keskin *et al*., 2016) ซึ่งโคที่ให้ลูกครั้งเดียวผลิตฟอลลิเคิลที่มีขนาดเล็กกว่าโคที่ให้ลูกหลายครั้ง ปริมาณอาหาร ฮอร์โมนสเตียรอยด์และการเผาผลาญอาหารมีผลต่อการเพิ่มขนาดของฟอลลิเคิลในโคที่ให้ลูกหลายครั้งได้ (Tenhagen *et al.,* 2003) อัตราการติดที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ estradiol ก่อนการตกไข่ที่เพิ่มขึ้นก่อนการกำหนดเวลาผสมเทียม (Bridges *et al*., 2010) ซึ่งความเครียดจากความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การเจริญพันธุ์ต่ำในฤดูร้อน มีการเปลี่ยนแปลงโดยตรงกับระบบสืบพันธุ์และทำให้การทำงานของเซลล์ของส่วนต่าง ๆ หรือเนื้อเยื่อของระบบสืบพันธุ์ลดลง นอกจากนี้การที่ให้แม่โคได้รับความเครียดจากความร้อนทำให้มีผลกระทบต่ออัตราการผสมติด พฤติกรรมการเป็นสัด วงรอบการเป็นสัดปกติในโคควบคู่ไปกับการแสดงอาการเป็นสัดอย่างชัดเจนทำให้เป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้การผสมเทียมเกิดขึ้นได้ในเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้ทันก่อนการตกไข่ (Dobson *et al*., 2008) การแสดงการเป็นสัดที่ไม่ชัดเจน ไม่

Table 2. Size of follicle diameter in fixed time artificial insemination on pregnancy rate in cows

| Cows | Follicle diameter size (mm.) | | | | | *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N = 196 | <4.9 | 5.0-7.9 | 8.0-10.9 | 11.0-13.9 | > 14 | |
| Number cattle (N) | - | 1 | 37 | 127 | 31 | |
| Percentage of pregnancy | - | $0.00 \pm 0.01^{c}$ | $45.95 \pm 8.63^{b}$ | $78.74 \pm 5.98^{a}$ | $70.97 \pm 4.20^{a}$ | 0.021 |

$^{a,b}$ values in columns with different letters differ significantly ($P<0.05$)

สามารถตรวจการเป็นสัดได้ส่งผลต่อการผสมเทียม ในเวลาที่ถูกเหมาะสม วิธีการตรวจการเป็นสัดแบบต่างๆ ให้ประสิทธิภาพในการตรวจการเป็นสัดที่แตกต่างกัน (Roelofs *et al*., 2010) จากการสังเกตด้วยตาเปล่าสำหรับความร้อนขณะแม่โคยืนนิ่งและการใช้สีหางเพื่อช่วยในการตรวจจับ อัตราการตรวจการเป็นสัดเฉลี่ย 70% ได้รับการรายงานโดยมีอัตราการเลี้ยงแต่ละฝูงตั้งแต่ 25 ถึง 96% (Mee *et al*., 2008) การศึกษาที่ตรวจสอบอัตราการตรวจพบการเป็นสัดโดยใช้เครื่องนับก้าวรายงานประสิทธิภาพระหว่าง 80 ถึง 100% (Roelofs *et al*., 2010) แม่โคที่มีการตกไข่ครั้งแรกที่ล่าช้ามีโอกาสเพิ่มระยะการเป็นสัดที่มากกว่า 10 สัปดาห์ ซึ่งอธิบายได้ด้วยการสังเกตว่าการตกไข่ครั้งแรกนี้ เนื่องมาจากการ-ปรับตัวหลังคลอดของแม่โค แม่โคมีการแบ่งพลังงานระหว่างการผลิตน้ำนม และปริมาณสำรองของร่างกายอาจเป็นสาเหตุของการสังเกตนี้ (Friggens *et al*., 2007) ในช่วงฤดูหนาวยังมีอัตราการ-ผสมติดขึ้นเมื่อเทียบกับฤดูกาลอื่นๆ ความผิดปกติของแม่โคหลังคลอดจะมีความผิดปกติของรังไข่ที่เป็นซีสต์ และระยะเวลาการฟื้นตัวของแม่โคเป็นผลรวมของความผิดปกติแม่โคหลังหลอดลูกหลายอย่างที่ส่งผลต่อการเริ่มต้นใหม่ของวงรอบการเป็นสัด Kenny *et al*. (2018) รายงานว่าประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ที่ดีในแม่โค จำเป็นต้องบรรลุเป้าหมาย มีประการดังนี้ ระยะเวลาการคลอด 365 วัน แม่โคน้อยกว่า 5% ถูกคัดทิ้งทุกปีเนื่องจากเป็นหมัน แล้วมากกว่า 95% ของแม่โคที่คลอดลูกทุกปี โคสาวจะคลอดลูกเมื่ออายุ 24 เดือน มดลูกกลับเข้าสู่สภาวะปกติ 80% ที่คลอดลูกมาแล้วภายใน 42 วัน อัตราการทดแทนโค 16 - 18% ต้องมีการปรับปรุงพันธุกรรมของฝูงโคอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีลักษณะสำคัญทางเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องกับการ-สืบพันธุ์ และภาวะเจริญพันธุ์ของแม่โค ถือได้ว่าเป็นปัจจัยการสืบพันธุ์ที่สำคัญกว่าที่ส่งผลต่อการผลิตลูกโค ซึ่งขึ้นอยู่กับการเริ่มต้นใหม่ของรอบการเป็นสัดภายหลังการคลอด การให้โภชนะที่เพียงพอแก่แม่โคก่อนและหลังการคลอด เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อระยะเวลาของช่วงการงดเว้นช่วงหลังคลอดและอัตราการตั้งท้อง

ปัจจัยการจัดการหลายอย่างอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ของแม่โค ช่วงเวลาที่สำคัญที่สุดที่ทำให้มีการตายของตัวอ่อน คือระหว่างวันที่ 5 ถึง 42 หลังการผสมเทียม เมื่อตัวอ่อนเคลื่อนเข้าไปในปีกมดลูก และมีการฝังตัวของตัวอ่อนไปยังมดลูกจะเสร็จสิ้น ช่วงเวลานี้มีความสำคัญต่อการอยู่รอดของตัวอ่อน เนื่องจากมีความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมของมดลูกเนื่องจากปัจจัยความเครียด เช่น การเคลื่อนย้าย และความเครียดจาความร้อน หรือการเปลี่ยนแปลงภาวะโภชนาการ ทำให้เกิดสมดุลพลังงานเชิงลบเฉียบพลัน ซึ่งทั้งหมดนี้ส่งผลต่อการ-ปรับเปลี่ยนส่วนประกอบของมดลูก สารคัดหลั่งหรือมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของโปรเจสเตอโรนหมุนเวียนที่ควบคุมสภาพแวดล้อมของมดลูก (Perry *et al*., 2007) มีรายงานว่าอัตราการตรวจเป็นสัดและอัตราความสำเร็จของการผสมเทียมนั้นสูงตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม และพบว่า อัตราการผสมติดของการผสมเทียมนั้นสูงในฤดูหนาวของเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ เมื่อเทียบกับฤดูร้อนของเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม และยังพบว่าความล่าช้านั้นส่วนหนึ่งเกิดจากการเลี้ยงดูและความใส่ใจของเกษตรกร เนื่องจากอัตราการผสมติดที่ไม่ดีในช่วงฤดูร้อน เมื่อแม่โคที่คลอดลูกในช่วงตอนปลายของฤดูหนาวและโคที่คลอดลูกก่อนฤดูร้อนต้องได้รับการผสมพันธุ์ เป็นเหตุผลหนึ่งที่เป็นไปได้ทำให้เกิดวันท้องว่าที่สูงขึ้นและใช้เวลานานในการได้รับการผสม พบว่า วันท้องว่าง มีความแตกต่างกันระหว่างภูมิภาค พบว่า ต่ำสุดในภาคเหนือ นี่เป็นเหตุผลเมื่อพิจารณาจากข้อเท็จจริงที่ว่าค่าเฉลี่ย THI ของภาคเหนือต่ำกว่าภูมิภาคอื่น ผลกระทบเชิงลบของความเครียดจากความ-ร้อนต่อการสืบพันธุ์ของโคในภูมิภาคนี้ต่ำกว่าภูมิภาคอื่นๆ De Rensis and Scaramuzzi (2003) พบว่า อัตราการผสมติดจะสูงขึ้นเมื่อผสมเทียมโคในช่วงอากาศเย็นเมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่มีอากาศร้อน

## สรุป

การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟอลลิเคิลในวันผสมเทียมต่ออัตราการตั้งท้องในโคเนื้อแม่พันธุ์ของเกษตรกรเครือข่ายวิสาหกิจชุมชนเลี้ยงโคเนื้อยั่งยืนจังหวัดศรีสะเกษ โดยใช้เทคโนโลยีการกำหนดเวลาผสมเทียมร่วมกับการใช้เครื่องอัลตร้า-ซาวน์ ในการแก้ปัญหาทางด้านระบบสืบพันธุ์แม่โคของเกษตรกรฯ จากการสำรวจข้อมูลสถานภาพการเลี้ยง ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตโคเนื้อ และปัญหาระบบสืบพันธุ์ในฝูงโคเนื้อของเกษตรกร สามารถสรุปได้ว่า แม่โคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์ของฟอลลิเคิลที่ 11.0-13.9 มม. และมากกว่า 14 มม มีอัตราการตั้งท้องสูงที่สุด

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนสำหรับทำวิจัยในโครงการการปรับปรุงระบบการผลิตโคเนื้อของสมาชิกสภาเกษตรกรจังหวัดศรีสะเกษด้วยเทคโนโลยีชีวภาพทางการสืบพันธุ์และองค์ความรู้ทางเทคโนโลยีอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มอัตราการตั้งท้องแม่โค รหัสโครงการวิจัย 105164 ประจำปีงบประมาณ 2564 และเกษตรกรสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจเลี้ยงโคเนื้อยั่งยืน จังหวัดศรีสะเกษ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ สัตว์ทดลองในการดำเนินงานวิจัย และให้ความร่วมมือในการทำวิจัยตลอดมา

## เอกสารอ้างอิง

Aiumlamai, S. 2010. Reproduction in Cattle. Khon Kaen Printing Limited Partnership, Khon Kaen. (in thai)

Bo, G.A., L. Cutaia, L.C. Peres, D. Pincinato, D. Maraña and P.S. Baruselli. 2007. Technologies for fixed-time artificial insemination and their influence on reproductive performance of *Bos indicus* cattle. Society of Reproduction and Fertility Sopplyment 64(1): 223-236.

Bo, G.A., L. Cutais, L.C. Peres, D. Pincinato, D. Maraña and P.S. Baruselli. 2019. Technologies for fixed-time artificial insemination and their influence on reproductive performance of *Bos indicus* cattle. Bioscientifica Proceedings 6: 223-236.

Bridges, G.A., M.L. Mussard, C.R. Burke and M.L. Day. 2010. Influence of the length of proestrus on fertility and endocrine function in female cattle. Animal Reproduction Science 117(3-4): 208-215.

De Rensis, F. and R.J. Scaramuzzi. 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow - a review. Theriogenology 60(6): 1139-1151.

Dobson, H., S.L. Walker, M.J. Morris, J.E. Routly and R.F. Smith. 2008. Why is it getting more difficult to successfully artificially inseminate dairy cows? Animal 2(8): 1104-1111.

Evans, A.C.O., P.O'keeffe, M. Mihm, J.F. Roche, K.L. Macmillan and M.P. Boland. 2003. Effect of oestradiol benzoate given after prostaglandin at two stages of follicle wave development on oestrus synchronisation, the LH surge and ovulation in heifers. Animal Reproduction Science 76(1-2): 13-23.

Friggens, N.C., P. Berg, P. Theilgaard, I.R. Korsgaard, K.L. Ingvartsen, P. Løvendahl and J. Jensen. 2007. Breed and parity effects on energy balance profiles through lactation: Evidence of genetically driven body energy change.

Journal of Dairy Science 90(11): 5291 - 5305.

Green, R.D., L.V. Cundiff and G.E. Dickerson. 1991. Life-cycle biological efficiency of *Bos indicus*× *Bos taurus* and *Bos taurus* crossbred cow-calf production to weaning. Journal of animal science 69(9): 3544-3563.

Hardin, D.R. and R.D. Randel. 1982. The effect of cloprostenol and cloprostenol+ HCG on corpora lutea and serum progesterone in Brahman cows. Theriogenology 17(6): 669 -675.

Inchaisri, C., H. Hogeveen, P.L.A.M. Vos, G.C. van der Weijden and R. Jorritsma. 2010. Effect of milk yield characteristics, breed, and parity on success of the first insemination in Dutch dairy cows. Journal of Dairy Science 93(11): 5179-5187.

Intawicha, P., S. Krueasan, S. Kuanwang, T. Thanee, S. Thana, C. Sorachakula and K. Danmek. 2016. Condition of raising beef cows and farmer satisfaction in Muang Mae Chai, Dok Khamtai and Phukhamyao districts of Phayao province. Journal of Agricultural Research and Extension 33(3): 26 - 34. (in Thai)

Kankaew, C., S. Koonawootrittriron, M. Osothong and T. Suwanasopee. 2012. Beef production cost of farmers under the Pon Yang Kham Livestock Breeding Cooperative NSC Ltd. Agricultural Science Journal 43(1): 79-87. (in Thai)

Kenny, D.A., C. Fitzsimons, S.M. Waters and M. McGee. 2018. Invited review: Improving feed efficiency of beef cattle – the current state of the art and future challenges. Animal 12(9): 1815-1826.

Keskin, A., G. Mecitoglu, E. Bilen, B. Güner, A. Orman, H., Okut and A. Gümen. 2016. The effect of ovulatory follicle size at the time of insemination on pregnancy rate in lactating dairy cows. Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences 40(1): 68-74.

Kim, I-H., G-H. Suh and D-S. Son. 2003. A progesterone-based timed AI protocol more effectively prevents premature estrus and incomplete luteal regression than an Ovsynch protocol in lactating Holstein cows. Theriogenology 60(5): 809-817.

Koonawootrittriron, S. and T. Suwanasopee. 2014. Business Management of Cow – Calf Production. Project Series, Expanding Thai Beef Business Opportunities. The Thailand Research Fund (TRF) (in Thai)

Leroy, J.L.M.R., A. Van Soom, G. Opsomer and P.E.J. Bols. 2008. The consequences of metabolic changes in high-yielding dairy cows on oocyte and embryo quality. Animal 2(8): 1120-1127.

Lokhande, S.M., V.H. Patil, D.C. Mahajan, Y.P. Phadnis, P. Humblot and M. Thibier. 1983. Fertility on synchronized estrus in crossbred (*Bos taurus*× *Bos indicus*) heifers. Theriogenology 20(4): 397-406.

Mee, J.F., D.P. Berry and A.R. Cromie. 2008. Prevalence of, and risk factors associated with, perinatal calf mortality in pasture-based Holstein-Friesian cows. Animal 2(4): 613-620.

Mekdaeng, K., J. Kantanamalakul and A. Pothidee. 2012. The Production Management of Beef Cattle in Barns and Free Ranch at Muang District, Kanchanaburi Province. The 2nd STOU Graduate Research Conference. p. 258-259. (in Thai)

Pattarajinda, V. 2014. Feeds and Modern Dairy Cattle Farm. Khon Kaen University Press, Khon Kaen. 502 p. (in Thai)

Patterson, D.J., L.R. Corah, G.H. Kiracofe, J.S. Stevenson and J.R. Brethour. 1989. Conception rate in *Bos taurus* and *Bos indicus* crossbred heifers after postweaning energy manipulation and synchronization of estrus with melengestrol acetate and fenprostalene. Journal of Animal Science, 67(5): 1138-1147.

Perry, G.A., M.F. Smith, A.J. Roberts, M.D. MacNeil and T.W. Geary. 2007. Relationship between size of the ovulatory follicle and pregnancy success in beef heifers. Journal of Animal Science 85(3): 684-689.

Pfeifer, L.F.M., J.S.O. Júnior and J.R. Potiens. 2019. Effect of sperm kinematics and size of follicle at ovulation on pregnancy rate after timed AI of beef cows. Animal Reproduction Science 201: 55-62.

Rodgers, J.C., S.L. Bird, J.E. Larson, N. Dilorenzo, C.R. Dahlen, A. DiCostanzo and G.C. Lamb. 2012. An economic evaluation of estrous synchronization and timed artificial insemination in suckled beef cows. Journal of Animal Science 90(11): 4055-4062.

Roelofs, J., F. López-Gatius, R.H.F. Hunter, F.J.C.M. van Eerden Burg and C. Hanzen. 2010. When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. Theriogenology 74(3): 327-344.

Sá Filho, M.F., A.M. Crespilho, J.E.P. Santos, G.A. Perry and P.S. Baruselli. 2010. Ovarian follicle diameter at timed insemination and estrous response influence likelihood of ovulation and pregnancy after estrous synchronization with progesterone or progestin-based protocols in suckled *Bos indicus* cows. Animal Reproduction Science 120(1-4): 23-30.

Sommat, K., J. Setthakun, W. Eukingpetch, Y. Opaspattanakit, S. Kiratikarnkul, T. Mekhora, O. Pimpa, C. Soratkul, S. Duanyai, K. Kunwutrittiran and T. Haitook. 2017. Pushing Research Synthesis to Policy Proposals for the Whole Thai Beef Cattle Industry. Supported by the Thailand Research Fund (TRF). (in Thai)

Soratchakul, C., K. Danmek, S. Thana, P. Intawicha, T. Yothaphakdi, D. Khonyang, N. Kongsuban, A. Chaisuwan, J. Chainam, C. Dongpaleetham, M. Intasarn and B. Keeratikankul. 2018. Systematic Management of Beef Cattle Production Processes Aiming at Marketing in the Northern Region and Expanding Opportunities to the ASEAN Level. Khun Dok Kham Tai Cooperative Phayao Province Complete Research Report. Supported by the Research Support Fund (TRF). (in Thai)

Stevenson, J.S. 2007. Clinical reproductive physiology of the cow. pp. 258-270. *In*: R.S. Youngquist and W.R. Threlfall (eds.). Current Therapy in Large Animal Theriogenology. 2nd ed. Saunders, St. Louis, Missouri.

Tenhagen, B.A., M. Witteke, M. Drillich and W. Heuwiser. 2003. Timing of ovulation and conception rate in primiparous and multiparous cows after synchronization of ovulation with GnRH and $PGF_{2}\alpha$. Reproduction in Domestic Animals 38(6): 451-454.

Wiltbank, M.C., A. Gumen and R. Sartori. 2002. Physiological classification of anovulatory conditions in cattle. Theriogenology 57(1): 21-52.

# ผลของการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ และผงกะเพราแดง ในสูตรอาหารไก่ไข่ที่มีหนอนแมลงวันลายเป็นส่วนประกอบ ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ สารต้านอนุมูลอิสระ และองค์ประกอบกรดไขมันในไข่แดง

# Effects of Lingzhi (*Ganoderma lucidum*) Extract and Red Holy Basil Powder Supplementation in Laying Hen Diet with Black Soldier Fly Larvae on Production Performance, Egg Quality, Antioxidant Activity, and Egg Yolk Fatty Acid Composition

**สโรชา ยะแสง[1*] ทองเลียน บัวจูม[1] บัวเรียม มณีวรรณ์[1]**
**วศิน เจริญตัณธนกุล[2] และ วงค์พันธ์ พรหมวงค์[3]**
Sarocha Yasang[1*], Tonglian Buwjoom[1], Buaream Maneewan[1],
Wasin Charerntantanakul[2] and Wongphan Promwong[3]

[1] *คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่* 50290
[1] *Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand*
[2] *คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่* 50290
[2] *Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand*
[3] *สาขาวิชาอารักขาพืช คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่* 50290
[3] *Plant Protection, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand*
**Corresponding author: Email: sarocha.yas6401@gmail.com*

*(Received: 26 June 2023; Accepted: 30 October 2023)*

**Abstract:** Production performance, egg quality, antioxidant activity and egg yolk fatty acid composition improvement by black soldier fly larvae with lingzhi extract or red holy basil powder in diet were conducted in a total of 144 Hy-Line Brown at 30 week-old. The hens were randomly divided into 3 groups with 4 replicates and 12 laying hens per replicate in a completely randomized design. Group 1; The control diet. Group 2 and 3; The 1.00% black soldier fly larvae diet supplemented by lingzhi extract 0.01% (BSFL) or red holy basil powder 0.50% (BSFR) respectively. The experiment was conducted for 12 weeks. The result showed that egg production performance, egg quality, egg yolk antioxidant concentration and the egg yolk fatty acids in overall of all groups had no significantly different ($P>0.05$), except the red/green value (a*) of BSFL group was higher than CON and BSFR groups ($P<0.01$). The omega 6 of BSFL group was lower than that of CON and BSFR groups. Therefore, the using of the black soldier fly larvae with lingzhi extract or red holy basil powder supplementation in diet had no adverse effect on egg production performance, egg quality, antioxidant activity and saturated and unsaturated fatty acids and the black soldier fly larvae with lingzhi extract supplementation can increase the egg yolk red/green value (a*) and decrease the omega 6.

**Keywords:** black soldier fly larvae, lingzhi, red holy basil, fatty acid, antioxidants


Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: การปรับปรุงสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ สารต้านอนุมูลอิสระ และกรดไขมันในไข่แดง โดยใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ หรือผงกะเพราแดงในสูตรอาหาร ได้ศึกษาในไก่ไข่สายพันธุ์ไฮไลน์-บราวน์ อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 144 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) แบ่งไก่ทดลองออกโดยสุ่มเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 12 ตัว กลุ่มที่ 1 กลุ่มอาหารควบคุม กลุ่มที่ 2 และ 3 กลุ่มอาหารที่ใช้หนอนแมลงวันลายระดับ 1.00% ร่วมกับการเสริมด้วยสารสกัดเห็ดหลินจือ 0.01% (BSFL) หรือร่วมกับการเสริมด้วยผงกะเพราแดง 0.50% (BSFR) ตามลำดับ ทดลองเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า สมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ สารต้านอนุมูลอิสระ และกรดไขมันโดยรวมของทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05) ยกเว้นค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (a*) ของกลุ่ม BSFL มีค่าสูงกว่า BSFR และกลุ่มควบคุม ($P$<0.01) ในขณะที่กรดไขมันชนิด โอเมก้า 6 ของกลุ่ม BSFL มีค่าต่ำกว่ากลุ่ม BSFR และกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$<0.05) ดังนั้นการใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ หรือผงกะเพราแดงไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ รวมถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณกรดไขมันในไข่แดงทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และการใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือสามารถเพิ่มค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียวของไข่แดง และทำให้ปริมาณกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 ลดลง

**คำสำคัญ**: หนอนแมลงวันลาย เห็ดหลินจือ กะเพราแดง กรดไขมัน สารต้านอนุมูลอิสระ

## คำนำ

ปัจจุบันมนุษย์ให้ความสำคัญกับสุขภาพร่างกาย จึงใส่ใจเลือกรับประทานอาหารที่ดีต่อสุขภาพมากขึ้น หนึ่งในอาหารที่นิยมบริโภคกันมากที่สุดคือไข่ไก่ เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพเหมาะสำหรับทุกเพศทุกวัยไข่ไก่ประกอบด้วยโปรตีนอัลบูมินที่มีคุณภาพสูงที่จำเป็นต่อการสร้างอัลบูมินในเลือด ช่วยในการสร้างและซ่อมแซมเซลล์เนื้อเยื่อในร่างกาย นอกจากนี้ไข่ไก่ยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น ไลซีน ทริปโตเฟน ฮีสทิดีน ฟีนิลแอลานีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน ทรีโอนีน เมไธโอนีน ซีสติอีน วาลีน เป็นต้น (Chitisankul, 2017) กรดอะมิโนดังกล่าวมีส่วนเสริมสร้างการเจริญเติบโตและการทำงานของระบบประสาทและสมอง (Thanacharoenwat, 2019) การผลิตไข่ไก่เพื่อสุขภาพ เกษตรกรผู้ผลิตต้องคำนึงถึงวัตถุดิบที่จะนำมาประกอบในสูตรอาหารต้องมีความปลอดภัย ไม่ส่งผลเสียต่อตัวไก่ และปลอดสารที่อาจตกค้างไปสู่ผู้บริโภค จึงมีการเสาะหาแหล่งวัตถุดิบ หรือสารเสริมจากธรรมชาติมาใช้เพื่อลดการใช้ยาหรือสารสังเคราะห์ และสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพไข่ ซึ่งเห็ดหลินจือเป็นแหล่งของสารโพลีแซคคาไรด์ คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ สเตียรอยด์ และเรซิน ซึ่งมีผลช่วยเสริมสร้างสุขภาพ และเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ต้านเนื้องอก และต้านแบคทีเรีย (Ogbe *et al*., 2009; Khan *et al*., 2018) นอกจากนี้เห็ดหลินจือที่มีคุณภาพต่ำกว่าเกณฑ์ที่ใช้ในมนุษย์สามารถนำมาใช้ในสัตว์ได้ จากการศึกษาของ Buwjoom *et al*. (2022) รายงานว่า การเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0.01 % สามารถเพิ่มปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 ในไข่แดง โดยโอเมก้า 3 มีความสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของสมอง ระบบประสาท และพัฒนาการการเรียนรู้ (Boonpramook, 2014) ส่วนโอเมก้า 6 ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล ช่วยลดและชะลอการเสื่อมของเซลล์ต่าง ๆ (Pornchalormpong and Rattanapanone, 2017) และสำหรับผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญเรื่องสุขภาพ นิยมเลือกรับประทานอาหารที่มีไขมัน หรือคอเรสเตอรอลต่ำ เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด (Vibharam Hospital, 2016) ซึ่งในใบกะเพรา (red holy basil: *Ocimum tenuiflorum* L.) อุดมด้วยน้ำมันหอมระเหย eugenol ที่เป็นสารประกอบฟีนอลิกมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และยับยั้งการเกิด lipid peroxidation ช่วยลดไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือด และชะลอการเสื่อมสภาพของเซลล์

(Singh *et al*., 2007) จากรายงานของ Nulla-ong *et al.* (2022) อ้างว่า การเสริมผงกะเพราแดง 0.50% ร่วมกับแหนเป็ดใหญ่ในอาหารไก่ไข่ สามารถลดปริมาณไขมันในไข่ทั้งฟอง ส่วน Narahari *et al.* (2005) รายงานว่า การเสริมผงใบกะเพราแดง 0.50% ในอาหารไก่ไข่ สามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ การนำสารสกัดเห็ดหลินจือ และผงกะเพราแดงมาใช้เป็นสารเสริมในสูตรอาหารอาจช่วยเพิ่มคุณภาพไข่ เช่น เพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในไข่แดงเพิ่มกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 และลดคอเรสเตอรอลในไข่แดง เป็นต้น นอกเหนือจากการผลิตไข่ที่มีคุณภาพแล้ว Malamaneerat *et al.* (2020) ได้รายงานว่า การใช้หนอนแมลงวันลาย (black soldier fly: *Hermetia illucens*) ที่เลี้ยงด้วยกากเต้าหู้ทำให้หนอนแมลงวันมีโปรตีน 45.68% ไขมัน 34.53% แคลเซียม 1.22% ฟอสฟอรัส 0.8% และมีพลังงานรวม 6,235 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารไก่เนื้อได้ถึง 4% โดยไม่มีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และองค์ประกอบซาก หากใช้ในระดับต่ำคือ 1-3% ในสูตรอาหาร สามารถปรับปรุงคุณภาพเนื้อให้ดีขึ้นได้ และมีกรดอะมิโนที่สำคัญชนิดเมทไธอนีนและไลซีน 0.91-2.23% (Schiavone *et al*., 2017) ทั้งนี้จากการทดลองของ Burana and Jamjanya (2011) พบว่า โภชนะของหนอนแมลงวันลายขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้เลี้ยง โดยการเลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรดทำให้หนอนแมลงวันลายมีโปรตีน 40.15% และไขมัน 26.03% เลี้ยงด้วยเปลือกขนุนทำให้หนอนแมลงวันลายมีโปรตีน 37.77% และไขมัน 27.04% เป็นต้น สำหรับอาหารไก่ไข่การใช้หนอนแมลงวันลายที่ระดับ 1.00% สามารถเพิ่มผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ แต่ไม่มีผลต่อคุณภาพไข่ (Maneewan *et al.,* 2022) ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ หรือผงกะเพราแดงในสูตรอาหารไก่ไข่สำหรับการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย ที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ สารต้านอนุมูลอิสระ และกรดไขมันในไข่แดง

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมสารสกัดเห็ดหลินจือ ผงกะเพราแดง และหนอนแมลงวันลาย

สารสกัดเห็ดหลินจือได้จากส่วนขาและเศษดอกเห็ดหลินจือ สายพันธุ์ G2 ที่ปลูกในศูนย์พัฒนาเห็ดหลินจือและเห็ดสมุนไพร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ เก็บเกี่ยวที่อายุ 110 วัน สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้น 70% กลั่นแยกเอทานอลออกจากสารสกัดด้วยเครื่องปั่นระเหยสารแบบหมุน (Büchi rotavapor R-200, Switzerland) ชั่งแป้งข้าวโพดผสมกับน้ำสกัดเห็ดหลินจือที่สกัดแล้ว โดยคำนวณให้มีความเข้มข้นของสารสกัดเห็ดหลินจือที่ 10% จากนั้นนำสารสกัดเห็ดหลินจืออบให้แห้งสนิท และบดละเอียด เก็บในภาชนะที่ปิดสนิท ส่วนกะเพราแดง ได้จากบริษัทอุตสาหกรรมเครื่องหอม ไทย-จีน จำกัด อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย นำมาบดให้ละเอียด และเก็บไว้ในถุงหรือภาชนะที่ปิดมิดชิด สำหรับหนอนแมลงวันลาย ได้จากการเลี้ยงด้วยกากเต้าหู้ระยะก่อนดักแด้ที่ผ่านการทำให้ตายอย่างสงบด้วยวิธีแช่น้ำแข็งจากโรงเรือนเพาะเลี้ยงของสาขาวิชาอารักขาพืช คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ นำมาอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนแห้งสนิท และบดให้ละเอียด เก็บไว้ในถุงหรือภาชนะที่ปิดมิดชิด เมื่อนำหนอนแมลงวันลายที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะพบว่า มีโปรตีน 45.68 % ไขมัน 34.53 % เยื่อใย 8.30 % แคลเซียม 1.22 % ฟอสฟอรัส 0.80 % พลังงานรวม 6,235 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

**อาหารทดลอง**

แบ่งเป็น 3 สูตร ได้แก่ 1) สูตรอาหารควบคุมไม่มีการใช้หนอนแมลงวันลายและสารเสริม 2) สูตรควบคุมเสริมด้วยหนอนแมลงวันลายและสารสกัดเห็ดหลินจือ 0.01 % (BSFL) และ 3) สูตรควบคุมเสริมด้วยหนอนแมลงวันลายและผงกะเพราแดง 0.50 % (BSFR) ซึ่งจากสูตรอาหารที่ 2 และ 3 มีการใช้วัตถุดิบหลักอื่นๆ เช่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด หินเกล็ด หินฝุ่น ฯลฯ

ในระดับที่ไม่เท่ากันกับสูตรอาหารควบคุม เนื่องจากสูตรอาหารทดลองมีการใช้หนอนแมลงวันลายเป็นแหล่งโปรตีน เพื่อลดการใช้เนื้อป่นในอาหารสูตรทดลอง และได้คำนวณสูตรอาหารให้ตรงตามความต้องการทางโภชนะของแม่ไก่ในช่วงระยะในการทดลอง (อายุ 30 - 42 สัปดาห์) ทำให้มีการใช้วัตถุดิบบางชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยสูตรอาหารทั้ง 3 สูตรมีปริมาณโปรตีน 17 % พลังงานที่ใช้ประโยชน์ 2,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเท่ากัน และโภชนะอื่น เช่น เยื่อใย แคลเซียม และฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ มีปริมาณใกล้เคียงกัน ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนะของแมลงวันลายและอาหารทดลอง แสดงไว้ใน Table 1

**Table 1. Ingredients and nutrient composition of Black soldier fly larvae and experiment diets**

| | Control (T1) | The black soldier fly with additive groups (T2 or T3) |
|---|---|---|
| Ingredients (%) | | |
| Corn | 58.29 | 60.00 |
| Rice bran | 7.10 | 5.91 |
| Full fat soybean (>30% CP) | 2.47 | 2.40 |
| Soybean meal (>44% CP) | 18.97 | 18.69 |
| Meat meal (50% CP) | 3.47 | 3.00 |
| Limestone Flour | 4.80 | 3.50 |
| Limestone | 2.53 | 3.90 |
| Dicalcium phosphate (14% P) | 1.77 | 1.00 |
| Salt | 0.20 | 0.20 |
| Premix[1] | 0.25 | 0.25 |
| Methionine | 0.15 | 0.15 |
| Black soldier fly larvae | 0.00 | 1.00 |
| Lingzhi extract or red holy basil | 0.00 | 0.01 or 0.50 |
| Calculated chemical composition (% dry matter basis) | | |
| Protein | 17.00 | 17.05 |
| Fiber | 3.86 | 3.81 |
| Ether extract | 4.42 | 4.60 |
| Calcium | 3.52 | 3.40 |
| Available phosphorus | 0.58 | 0.50 |
| Metabolizable energy (kcal/kg) | 2,816.20 | 2,876.29 |

[1]Premix = Mono Mix 201 1.00 kg. include vitamin A 5.60 MIU, vitamin D 1.12 MIU, vitamin E 2,400 MIU, vitamin K 0.40 g., vitamin B1 0.40 g., vitamin B2 1.20 g., vitamin B6 0.80 g., vitamin B12 0.008 mg., pantothenic acid 1.80 g., probiotic 0.006 g., nicotinic acid 8.00 g., choline chloride 120 g., folic acid 0.20 g., copper 2.00 g., manganese 47.00 g.

**สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง**

ใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ไฮไลน์ บราวน์ (Hy-Line Brown) อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 144 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มทดลอง กลุ่มทดลองละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 12 ตัว โดยได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงและใช้สัตว์เลขที่ MACUC042A/2565 ตลอดระยะเวลาการทดลองให้อาหารอย่างจำกัดที่ 115 - 120 กรัม/ตัว/วัน และให้น้ำอย่างเต็มที่ ทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีการให้แสง 16 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 33.75 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 74.75 % และเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย ที่มีพื้นที่ในการเลี้ยงของแต่ละซ้ำทั้งหมด 26 ตารางเมตร โดยมีพื้นที่ภายในโรงเรือนเปิด 0.50 ตารางเมตร/ตัว และพื้นที่ปล่อยออกสู่ภายนอก 1.67 ตารางเมตร/ตัว ณ โรงเรือนพี่เพื่อน้อง คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

**การประเมินสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และสารต้านอนุมูลอิสระ**

บันทึกจำนวนไข่ และน้ำหนักไข่ไก่ทุกวัน และเมื่อครบสัปดาห์บันทึกปริมาณอาหารที่กิน เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่เฉลี่ย ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ทุกสัปดาห์ ส่วนคุณภาพไข่ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างไข่ไก่ที่เก็บไม่เกิน 24 ชั่วโมง ซ้ำละ 5 ฟอง รวม 20 ฟองต่อกลุ่ม เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพไข่ทุก 2 สัปดาห์ โดยบันทึกน้ำหนักไข่ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล วัดสีของเปลือกไข่ (%Light) ด้วยเครื่องวัดการสะท้อนสี (Technical Services and Supplies Ltd., England) 3 จุด ได้แก่ บริเวณด้านป้าน ตรงกลาง และด้านแหลมของฟองไข่ วัดความแข็งของเปลือกไข่บริเวณด้านป้านของฟองไข่ โดยใช้เครื่องวัดค่าความแข็งเปลือกไข่ (Robotmation Co., Ltd., Japan) วัดความหนาของเปลือกไข่ด้วยเครื่องดิจิตอลไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo Co. Ltd., Japan) จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย วัดสีไข่แดง (score) โดยใช้พัดเทียบสีของโรช (Roche yolk color fan) วัดความกว้างไข่แดง ความสูงไข่แดง และความสูงไข่ขาว โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ เพื่อคำนวณหาดัชนีไข่แดง (yolk index) ตามวิธีของ Funk (1948) และค่าฮอกยูนิต (Haugh unit) ตามวิธีของ Eisen *et al.* (1962) เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มเก็บตัวอย่างไข่ไก่จาก 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ฟอง รวม 9 ฟองต่อกลุ่ม โดยใช้ส่วนของไข่แดงสด เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในไข่แดง โดยดัดแปลงจากวิธีของ Nulla-ong *et al.* (2022)

**การวิเคราะห์กรดไขมันในไข่แดง**

หลังสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บตัวอย่างไข่แดงต้มสุก โดยเก็บเฉพาะไข่แดงต้มสุกจากกลุ่มทดลองละ 150 - 200 กรัม ส่งวิเคราะห์ที่ฝ่ายบริการห้องปฏิบัติการ สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์กรดไขมันตามมาตรฐาน AOAC (2016)

**การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบ one way analysis of variance (one-way ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ค่าความเชื่อมั่นที่ 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

**สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่**

การใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ หรือผงกะเพราแดงตลอดระยะเวลาทดลอง 12 สัปดาห์ ผลแสดงไว้ใน Table 2 ปรากฏว่า ปริมาณอาหารที่กิน ผลผลิตไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดการทดลอง ($P > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Ruhnke *et al.* (2018) ที่รายงานว่าการใช้หนอนแมลงวันลายสกัดน้ำมันในอาหารไก่ไข่ไม่ทำให้ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ดีขึ้น ($P>0.05$) เช่นเดียวกับ Nulla-ong *et al.* (2022) ที่รายงานว่าการใช้ผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ในอาหารไก่ไข่ ไม่มีผลต่อผลผลิตไข่และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ ($P>0.05$)

Table 2. Effects of black soldier fly larvae with lingzhi (*Ganoderma lucidum*) extract or red holy basil powder supplementation in laying hen diet on egg performance and egg quality

| Groups | Control | BSFL | BSFR | SEM | *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| Egg production (%) | 60.81 | 59.70 | 59.08 | 1.45 | 0.90 |
| Feed intake (g/day) | 111.38 | 111.13 | 111.36 | 0.33 | 0.95 |
| Feed conversion ratio | 2.85 | 2.91 | 2.94 | 0.06 | 0.83 |
| Egg weight (g) | 59.38 | 59.15 | 59.69 | 0.53 | 0.93 |
| Shell color | 15.91 | 18.44 | 15.58 | 0.64 | 0.13 |
| Shell strength (kg/cm$^2$) | 4.71 | 4.83 | 4.68 | 0.07 | 0.43 |
| Shell thickness (mm) | 0.39 | 0.40 | 0.39 | <0.01 | 0.33 |
| Yolk color | 8.40 | 8.70 | 8.70 | 0.06 | 0.07 |
| Yolk index | 0.47 | 0.47 | 0.46 | <0.01 | 0.15 |
| Haugh unit | 102.63 | 102.66 | 103.42 | 0.34 | 0.62 |
| L$^*$ | 59.44 | 59.05 | 59.11 | 0.16 | 0.59 |
| a$^*$ | 4.98$^c$ | 5.49$^a$ | 5.23$^b$ | 0.07 | <0.01 |
| b$^*$ | 37.35 | 37.29 | 37.69 | 0.24 | 0.79 |

$^{a, b, c}$ Means within the same row with different letters are significantly different ($P$<0.05); BSFL = 1.00% black soldier fly larvae with lingzhi extract 0.01%; BSFR = 1.00% black soldier fly larvae with red holy basil 0.50%; SEM = standard error of the mean

ส่วน Ogbe *et al.* (2009) รายงานว่า การเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือระดับ 0.20 0.10 และ 0.05% ในอาหารไก่ไข่ในช่วงท้ายของการให้ผลลิต มีผลทำให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ผลผลิตไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในการศึกษาครั้งนี้การใช้หนอนแมลงวันลายและเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ 0.01% ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต น้ำหนักไข่ ความแข็งของเปลือกไข่ สีของเปลือกไข่ ดัชนีไข่แดง ค่าสี L* และค่าสี b* ($P$>0.05) ยกเว้นสีไข่แดงของกลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับสารสกัดเห็ดหลินจือ หรือร่วมกับผงกะเพราแดง (BSFL หรือ BSFR) มีแนวโน้มเข้มกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (a*) ที่พบว่า กลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับสารสกัดเห็ดหลินจือมีค่าสี a* สูงกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับผงกะเพราแดง ($P$<0.05) แตกต่างกับ Maneewan *et al.* (2022) ที่การใช้หนอนแมลงวันลายที่ระดับ 1.00 % ในอาหารไก่ไข่ สามารถเพิ่มผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ แต่ไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพไข่ได้ แต่สอดคล้องกับ Kirubakaran (2021) ที่รายงานว่า การเสริมใบกะเพราในอาหารไก่ไข่ ไม่มีผลต่อคุณภาพไข่โดยรวม (P>0.05) แต่ทำให้สีไข่แดงมีความเข้มขึ้น (P<0.05) เนื่องจากในผงกะเพราแดงมีสารให้สีชนิดคลอโรฟิลล์ที่เป็นสารสีเขียวซึ่งทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงของพืช และชนิดแคโรทีนอยด์เป็นสารให้สีส้มและเหลืองในพืช ผลไม้ และสัตว์ทะเลบางชนิด มีคุณสมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระ เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ และมีผลต่อการสะสมสารสีในไข่แดง โดยแคโรทีนอยด์มีคุณสมบัติละลายได้ในไขมัน และใช้ไขมันเป็นตัวพาเข้าไปสะสมในไข่แดง ทำให้สีไข่แดงเข้มขึ้น (Niyomdecha and Khongsen, 2013; Banik *et al.*, 2018) นอกจากนี้เห็ด

หลินจือยังเป็นแหล่งสารให้สีที่นำมาผลิตสารสีในอุตสาหกรรมมากมาย มีความเสถียรมากกว่าสีสังเคราะห์และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Shrivastava *et al.,* 2017; Kejariwal *et al.,* 2022) Yegenoglu *et al.* (2011) รายงานว่า สารสกัดเห็ดหลินจือที่สกัดในเอทานอล มีสารแบต้าแคโรทีน 0.465 mg/g และไลโคปิน 0.067 mg/g ซึ่งสารทั้งสองชนิดเป็นสารให้สี โดยแบต้าแคโรทีนเป็นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่ให้สีส้มและเหลือง ส่วนไลโคปินเป็นสารให้สีแดง จึงเป็นเหตุให้กลุ่มที่เสริมสารสกัดเห็ดหลินจือและกะเพราแดงมีสีไข่แดงเข้มกว่ากลุ่มควบคุม

**ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และกรดไขมันในไข่แดง**

การใช้หนอนแมลงวันลาย ร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ หรือผงกะเพราแดงในสูตรอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ ผลแสดงไว้ใน Table 3 ผลปรากฏว่า สารต้านอนุมูลอิสระในไข่แดงสดของกลุ่มที่เสริมร่วมกับสารสกัดเห็ดหลินจือมีแนวโน้มมากกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับผงกะเพราแดง ($P$=0.05) ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากในการทดลองครั้งนี้มีการใช้ผงกะเพราทั้งต้น (ลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ) ซึ่งอาจมีสารออกฤทธิ์ไม่เพียงพอ โดยปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในแต่ละส่วนของต้นกะเพราแดงมีปริมาณแตกต่างกัน สามารถจัดลำดับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากมากไปน้อย ได้แก่ ใบ ดอก ลำต้น และช่อดอก ตามลำดับ (Hakkim *et al.,* 2007) แตกต่างกับกลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือที่มีแนวโน้มมากกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับ Secci *et al.* (2018) ที่พบว่าการใช้หนอนแมลงวันลายสกัดน้ำมันทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารไก่ไข่ ทำให้ปริมาณสารแคโรทีนอยด์ ลูทีน แซนซาทีน และเบต้าแคโรทีนในไข่แดงมากกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสารดังกล่าวมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระ และ Liu *et al.* (2020) รายงานว่า การใช้สปอร์ของเห็ดหลินจือที่ระดับ 0.10 0.20 และ 0.50% ในอาหารไก่เนื้อ ช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการเจริญเติบโต ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการทำงานของภูมิคุ้มกันของไก่เนื้อ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจากเห็ดหลินจือมีสารประกอบฟินอลิกมากถึง 13,991.10 mg/100 g และสารไตรเตอร์ฟินอยด์มากถึง 769.1 mg/100 g ซึ่งสารดังกล่าวมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังมีสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ และไลโคปินที่เป็นสารให้สีและมีคุณสมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระเช่นกัน (Yegenoglu *et al.,* 2011; Kolniak-Ostek *et al.*, 2022) และเนื่องจากสัตว์ปีกเป็นสัตว์ที่มีโครงสร้างรก และพัฒนาการของตัวอ่อนแยกออกจากตัวแม่โดยสิ้นเชิง ทำให้เมื่อแม่ไก่กินอาหารร่างกายมีการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระหรือวิตามินในไข่เพื่อให้ลูกไก่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยผ่านรังไข่ และแมกนั่ม ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระมีคุณสมบัติละลายได้ในไขมันดังนั้นจึงพบในไข่แดงเท่านั้น (Zhu *et at.,* 2021) จึงเป็นเหตุให้พบสารต้านอนุมูลอิสระในไข่แดงในกลุ่มที่เสริมสารเห็ดหลินจือมีแนวโน้มมากกว่ากลุ่มอื่น

ในส่วนของปริมาณกรดไขมันในไข่แดงต้มสุก (Table 4) ปรากฏว่า การใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ ร่วมผงกะเพราแดง (BSFL หรือ BSFR) ไม่ทำให้ปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ทั้งชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid) และไม่อิ่มตัว

Table 3. Effects of black soldier fly larvae with lingzhi (*Ganoderma lucidum*) extract or red holy basil powder supplementation in laying hen diet on antioxidant activity and on egg yolk

| Groups | Control | BSFL | BSFR | SEM | *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| Antioxidant (μmol eqi./g sample) | 0.11 | 0.13 | 0.10 | 1.75 | 0.05 |
| DPPH radical-scavenging active (%) | 38.06 | 43.28 | 33.60 | 0.01 | 0.16 |

BSFL = 1.00% black soldier fly larvae with lingzhi extract 0.01%; BSFR = 1.00% black soldier fly larvae with red holy basil 0.50%; SEM = standard error of the mean

Table 4. Effects of black soldier fly larvae with lingzhi (*Ganoderma lucidum*) extract or red holy basil powder supplementation in laying hen diet on fatty acid profiles on egg yolk

| Groups | Control | BSFL | BSFR | SEM | P-value |
|---|---|---|---|---|---|
| Saturated Fatty acid (mg/100g) | 11,296.13 | 11,167.70 | 11,321.14 | 130.76 | 0.90 |
| Lauric acid (C12:0) | 3.86 | 3.51 | 5.22 | 0.41 | 0.21 |
| Tridecanoic acid (C13:0) | 3.73 | 3.00 | 4.32 | 0.31 | 0.25 |
| Myristic acid (C14:0) | 81.47 | 90.16 | 91.41 | 3.06 | 0.41 |
| Pentadecanoic acid (C15:0) | 13.62 | 15.08 | 15.60 | 0.58 | 0.40 |
| Palmitic acid (C16:0) | 6090.18 | 5894.16 | 5877.62 | 48.00 | 0.12 |
| Heptadecanoic acid (C17:0) | 331.62$^{a}$ | 63.12$^{b}$ | 336.47$^{a}$ | 47.89 | <0.01 |
| Stearic acid (C18:0) | 4615.49 | 4852.30 | 4784.19 | 145.84 | 0.84 |
| Arachidic acid (C20:0) | ND | 13.12$^{a}$ | 2.52$^{b}$ | 1.37 | <0.01 |
| Heneicosanoic acid (C21:0) | 5.81$^{b}$ | 5.31$^{b}$ | 11.65$^{a}$ | 1.11 | 0.01 |
| Behenic acid (C22:0) | 150.36$^{b}$ | 192.27$^{a}$ | 161.76$^{b}$ | 7.52 | 0.03 |
| Tricosanoic acid (C23:0) | ND | 32.41 | 30.37 | 7.27 | 0.81 |
| Monounsaturated Fatty acid (mg/100g) | 6,568.30 | 5,786.77 | 5,663.54 | 224.71 | 0.22 |
| Myristoleic acid (C14:1) | 17.38 | 20.97 | 19.62 | 1.07 | 0.44 |
| Palmitoleic acid (C16:1n7) | 784.82 | 835.87 | 776.78 | 24.03 | 0.62 |
| cis-10-Heptadecenoic acid (C17:1n10) | 18.22 | 15.49 | 17.00 | 1.12 | 0.67 |
| trans-9-Elaidic acid (C18:1n9t) | 4,908.44 | 4,910.06 | 4,841.47 | 85.09 | 0.95 |
| cis-9-Oleic acid (C18:1n9c) | 1,227.11 | 1,227.53 | 1,210.36 | 21.27 | 0.95 |

$^{a, b}$ Means within the same row with different letters are significantly different ($P<0.05$); BSFL = 1.00% black soldier fly larvae with lingzhi extract 0.01%; BSFR = 1.00% black soldier fly larvae with red holy basil 0.50%; SEM = standard error of the mean; ND = Not detect

Table 4. Continued

| Groups | Control | BSFL | BSFR | SEM | P-value |
|---|---|---|---|---|---|
| cis-11-Eicosenoic acid (C20:1n11) | 7.50 | 8.08 | 8.70 | 0.49 | 0.67 |
| Polyunsaturated Fatty acid (mg/100g) | 3,977.04 | 3,597.83 | 4,100.99 | 101.99 | 0.09 |
| trans-Linolelaidic acid (C18:2n6t) | 2,612.3 | 2,514.4 | 2,663.1 | 57.56 | 0.63 |
| $\gamma$-Linolenic acid (C18:3n6) | 334.11[a] | 157.22[b] | 341.40[a] | 34.33 | 0.01 |
| $\alpha$-Linolenic acid (C18:3n3) | 181.72[a] | 115.91[b] | 199.99[a] | 14.10 | 0.01 |
| cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2) | 76.20 | 98.61 | 103.97 | 7.31 | 0.29 |
| cis-8,11,14- Eicosadienoic acid (C20:3n6) | ND | 19.83 | 24.25 | 2.76 | 0.18 |
| cis-11,14,17- Eicosadienoic acid (C20:3n3) | 35.14 | 32.76 | 38.32 | 1.32 | 0.25 |
| Arachidonic acid (C20:4n6) | 497.81 | 439.15 | 467.24 | 13.44 | 0.22 |
| cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid (C20:5n3) | 47.59 | 65.02 | 48.65 | 4.02 | 0.13 |
| 4,7,10,13,16,19-Docosahexaenic acid (C22:6n3) | 192.13[a] | 138.33[b] | 213.91[a] | 11.82 | <0.01 |
| Omega 3 (mg/100g) | 542.42 | 377.23 | 570.63 | 40.64 | 0.09 |
| Omega 6 (mg/100g) | 831.92[a] | 613.03[b] | 808.65[a] | 37.89 | <0.01 |
| Omega 9 (mg/100g) | 1,227.11 | 1,227.53 | 1,210.36 | 21.27 | 0.95 |
| Total of fatty acid (mg/100g) | 23.36 | 23.02 | 23.26 | 0.20 | 0.82 |

[a, b] Means within the same row with different letters are significantly different ($P<0.05$); BSFL = 1.00% black soldier fly larvae with lingzhi extract 0.01%; BSFR = 1.00% black soldier fly larvae with red holy basil 0.50%; SEM = standard error of the mean; ND = Not detect

(monounsaturated fatty acid และ polyunsaturated fatty acid) ยกเว้นปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดแกมมา-ลิโนเลนิก อัลฟา-ลิโนเลนิก โดโคซะเฮกซะอิโนอิก และโอเมก้า 6 ของกลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือมีน้อยกว่ากลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมผงกะเพราแดง และกลุ่มควบคุม ($P$<0.01) สอดคล้องกับ Bejaei and Cheng (2020) ที่รายงานว่าการใช้หนอนแมลงวันลายไขมันเต็มในอาหารไก่ไข่ ทำให้ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนกลุ่มกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 น้อยกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งอาจเป็นผลมาจากหนอนแมลงวันลายประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวสายกลาง เช่น กรดปาล-มิติก และกรดลอริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดที่ใช้พลังงานได้ง่ายกว่ากรดไขมันอิ่มตัวสายยาว หรือไม่อิ่มตัว (Kim *et al.,* 2020) ทำให้มีการสะสมไขมันชนิดโอเมก้า 3 และ 6 ในไข่แดงน้อยกว่ากลุ่มควบคุม และเห็ดหลินจือมีสาร ergosterol peroxide ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งกระบวนการเปลี่ยนแปลงจาก preadipocyte 3T3-L1 cells ไปเป็น mature adipocyte ที่มีหน้าที่สร้างเม็ดไขมัน (fat droplets) ขึ้นภายในเซลล์และมีการสะสมของไขมัน (Jeong and Park, 2020) ส่งผลให้กลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนน้อยกว่ากลุ่มอื่น แตกต่างกับการเสริมร่วมกับกะเพราแดงที่ไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการใช้หนอนแมลงวันลายเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารร่วมกับการเสริมผงกะเพราแดง

## สรุปผลการทดลอง

การใช้หนอนแมลงวันลายระดับ 1.00 % ร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ 0.01% หรือผงกะเพราแดง 0.50 % ในสูตรอาหารไก่ไข่เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ รวมถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และปริมาณกรดไขมันในไข่แดงทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ยกเว้นค่าเป็นสีแดงหรือสีเขียว (a*) ที่มีค่าสีเข้มขึ้น และการใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือทำให้ปริมาณกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 ลดลง

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนการศึกษา (ทุนเรียนดี) จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปีการศึกษา 2565 ชมรมศิษย์เก่าแม่โจ้รุ่น 36 ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณศูนย์พัฒนาเห็ดหลินจือและเห็ดสมุนไพร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ และศูนย์พัฒนาแมลงและหมอนไหม สาขาวิชาอารักขาพืช คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ที่สนับสนุนเห็ดหลินจือและหนอนแมลงวันลาย

## เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2016. Official Methods of Analysis. 20th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.

Banik, S., R. Mukherjee, P. Ghosh, S. Karmakar and S. Chatterjee. 2018. Estimation of plant pigments concentration from tulsi (*Ocimum sanctum Linn.*): A six months study. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 7(4): 2681 - 2684.

Bejaei, M. and K.M. Cheng. 2020. The effect of including full-fat dried black soldier fly larvae in laying hen diet on egg quality and sensory characteristics. Journal of Insects as Food and Feed 6(3): 305 - 314

Boonpramook, P. 2014. Factors affecting Omega-3 egg purchasing of consumers in Mueang district, Chiang Mai province. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 90 p. (in Thai)

Burana, K. and T. Jamjanya. 2011. Seasonal distribution, rearing methods and

nutritional value of black soldier fly ( *Hermetia illucens* L.). KKU Research Journal (GS) 11(1): 19 - 26. (in Thai)

Buwjoom, T., B. Maneewan, Y. Nanta, A. Khamfongkruea, A. Boonputhut and S. Yasang. 2022. Using of organic *Gandoderma lucidum* extract in laying hen diet. Research Report Meajo University, Chiang Mai. (in Thai)

Chitisankul, W.T. 2017. Egg white, its health benefits. Food 47(1): 39 - 43. (in Thai)

Eisen, E.J., B.B. Bohren and H.E. McKean. 1962. The Haugh unit as a measure of egg albumen quality. Poultry Science 41(5): 1461 - 1468.

Funk, E.M. 1948. The relation of the yolk index determined in natural position to the yolk index as determined after separating the yolk from the albumen. Poultry Science 27(3): 367.

Hakkim, F.L., C.G. Shankar, and S. Girija. 2007. Chemical composition and antioxidant property of holy basil (*Ocimum sanctum* L.) leaves, stems, and inflorescence and their *in vitro* callus cultures. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 55(22): 9117 - 9109.

Jeong, Y.U. and Y.J. Park. 2020. Ergosterol peroxide from the medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* inhibits differentiation and lipid accumulation of 3T3-L1 adipocytes. International Journal of Molecular Sciences 21(2): 460, doi: 10.3390/ijms21020460.

Kejariwal, M., S. Soni, S. Koli, E. Jog, S. Ghosh, D. Singh, S. Parker, T. Patil, K. Chouhan, A. Kushwaha and K. Shetty. 2022. Peptone induced pigment production of *Ganoderma lucidum*. Journal of Plant Science Research 38(1): 165 - 172.

Khan, S.H., N. Mukhtar and J. Iqbal. 2018. Role of mushroom as dietary supplement on performance of poultry. Journal of Dietary Supplements 16(5): 611 - 624.

Kim, Y.B., D.H. Kim, S.B. Jeong, J.W. Lee, T.H. Kim, H.G. Lee and K.-W. Lee. 2020. Black soldier fly larvae oil as an alternative fat source in broiler Nutrition. Poultry Science 99(6): 3133 - 3143.

Kirubakaran, A. 2021. Influence of designer diet and holy basil (*Ocimum sanctum*) leaves on yolk colour, yolk carotenoid, and immunity status of layers. Indian Journal of Animal Sciences 91(12): 1077 - 1080.

Kolniak-Ostek, J., J. Oszmianski, A. Szyjka, H. Moreira and E. Barg. 2022. Anticancer and antioxidant activities in *Ganoderma lucidum* wild mushrooms in Poland, as well as their phenolic and triterpenoid compounds. Internation Journal of Molecular Sciences 23(16): 9359, doi: 10.3390/ijms23169359.

Liu, T., J. Zhou, W. Li, X. Rong, Y. Gao, L. Zhao, Y. Fan, J. Zhang, C. Ji and Q. Ma. 2020. Effects of sporoderm-broken spores of *Ganoderma lucidum* on growth performance, antioxidant function and immune response of broilers. Animal Nutrition 6(1): 39 - 46.

Malamaneerat, J., B. Maneewan, K. Chukiatsiri and J. Panatuk. 2020. Use of black soldier fly larvae (BSFL) fed with soy waste powder in broiler diet on growth performance, carcass composition and meat quality. Khon Kaen Agriculture Journal 48(5): 942 - 953. (in Thai)

Maneewan, B., W. Promwong, T. Buwjoom, P. Korluang, A. Boonbanl and S. Yasang. 2022. Effect of black soldier fly larvae (BSFL) fed with soy waste in the semi-free range laying hens diet on egg production and egg quality. pp. 148-154. *In*: Proceeding of the 10th National Animal Science Conference of Thailand. Chonburi. (in Thai)

Narahari, D., P. Michealraj, A. Kirubakaran and T. Sujatha. 2005. Antioxidant, cholesterol reducing, immunomodulating and other health promoting properties of herbal enriched designer eggs. pp.194-201. *In*: Proceedings of the 11th European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products. World's Poultry Science Association (WPSA), Beekbergen.

Niyomdecha A. and M. Khongsen. 2013. Metabolism and Nutritional Values of Carotenoids on Egg Yolk Color. Princess of Naradhiwas University Journal 5(4): 112 - 212.

Nulla-ong, Y., T. Buwjoom, B. Maneewan and P. Tadee. 2022. Effects of holy basil and duckweed powder supplementation in the semi-free range laying hens diet on egg production performance, egg quality, antioxidant activity and nutritional value of eggs. Khon Kaen Agriculture Journal 50(1): 51 - 61. (in Thai)

Ogbe, A.O., U. Ditse, I. Echeonwu, K. Ajodoh, S.E. Atawodi and P.A. Abdu. 2009. Potential of a wild medicinal mushroom, *Ganoderma* sp., as feed supplement in chicken diet: Effect on performance and health of pullets. International Journal of Poultry Science 8(11): 1052-1057.

Pornchalormpong, P. and N. Rattanapanone. 2017. Omega-6 fatty acid / (Online). Available: https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/002076/omega-6-fatty-acid (May 6, 2023). (in Thai)

Ruhnke, I., C. Normant, D.L.M. Campbell, Z. Iqbal, C. Lee, G.N. Hinch and J. Roberts. 2018. Impact of on-range choice feeding with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens. Animal Nutrition 4(4): 452 - 460.

Schiavone, A., M. de Marco, S. Martínez, S. Dabbou, M. Renna, J. Madrid, F. Hernandez, L. Rotolo, P. Costa, F. Gai and L. Gasco. 2017. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. Journal of Animal Science and Biotechnology 8: 51, doi: 10.1186/s40104-017-0181-5.

Secci, G., F. Bovera, S. Nizza, N. Baronti, L. Gasco, G. Conte, A. Serra, A. Bonelli and G. Parisi. 2018. Quality of eggs from Lohmann Brown Classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soya bean. Animal 12(10): 2191 - 2197.

Shrivastava, M., M. Tiwari and A. Saraf. 2017. Pigment extraction methods from fungi for industrial applications: A review. International Journal of Advance Research in Science and Engineering 6(10): 575 - 581.

Singh, S., M. Taneja and D.K. Majumdar. 2007. Biological activities of *Ocimum sanctum* L. fixed oil – An overview. Indian Journal of Experimental Biology 45(5): 403 - 412.

Thanacharoenwat, N. 2019. The importance of proper consumption of chicken eggs in

each age group and people with congenital disease. (Online). Available: https://nutrition2.anamai.moph.go.th/th/dm-km/download?id=40507&mid=31943&mkey=m_document&lang=th&did=14345. (May 24, 2023). (in Thai)

Vibharam Hospital. 2016. Hyperlipidemia. (Online). Available: https://vibharam.com/medical-knowledge/ hyperlipidemia/ (May 24, 2023). (in Thai)

Yegenoglu, H., B. Aslim and F. Oke. 2011. Comparison of antioxidant capacities of *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst and *Funalia trogii* (Berk.) Bondartsev & Singer by using different *in vitro* methods. Journal of Medicinal Food 14(5): 512 - 516.

Zhu, Y., Guo, W., Zhao, J., Qin, K., Yan, J., Huang, X., Ren, Z., Yang, X., Liu, Y and Yang X. 2021. Alterations on vitamin C synthesis and transportation and egg deposition induced by dietary vitamin C supplementation in Hy-Line Brown layer model. Animal Nutrition 7(4): 973 - 980.

# ผลของสารสกัดรวมของกระเทียม ออริกาโน และอาติโชค ต่อการย่อยได้ของอาหาร และสมรรถภาพการเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)

# Effects of Garlic, Oregano, and Artichoke Blend Extract on Feed Digestibility and Growth Performance of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

**วัชรินทร์ สุทธิพงศ์[1] ศุภวิทย์ ไตรวุฒานนท์[2] ศรีน้อย ชุ่มคำ[3] และ อรพินท์ จินตสถาพร[1*]**

Watcharin Suttipong[1], Supawit Triwutanon[2], Srinoy Chumkam[3] and Orapint Jintasataporn[1*]

*[1]ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900*

*[1]Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand*

*[2]คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140*

*[2]Faculty of Veterinary Medicine, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand*

*[3]คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จ. ปทุมธานี 13180*

*[3]Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University, under the Royal Patronage, Pathum Thani 13180, Thailand*

*[*]Corresponding author. Email: ffisora@ku.ac.th*

*(Received: 2 October 2023; Accepted: 28 November 2023)*

**Abstract**: The study assessed the effectiveness of an herbal extract blend containing garlic 15%, oregano 10%, and artichoke 5% in enhancing the protein and carbohydrate digestibility of Pacific white shrimp fed. The results showed that Pacific white shrimp fed with herb extract blend supplemented at levels of 0.05, 0.15, and 0.25% significantly had higher carbohydrate digestibility than control diet ($P<0.05$). In addition, total reducing sugar of herb extract blend was greater than that of control. Furthermore, the study evaluated the effects of herb extract blend on the growth performance of Pacific white shrimp in a feeding experiment. Four diet treatments were tested with different concentrations of the herb extract blend were 0, 0.05, 0.15 and 0.25 %. Results showed that the herb extract blend significantly improved the shrimp growth performance ($P<0.05$) regarding final weight, specific growth rate, average daily gain, and protein efficiency ratio. Supplementation of the herb extract blend at least 0.05% in shrimp diets has the potential to enhance shrimp fed digestibility and improved growth performance of Pacific white shrimp.

**Keywords**: Pacific white shrimp, herb extract blend, *in vitro* digestibility, growth performance



Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรรวมที่ประกอบด้วยสารสกัดกระเทียม15 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดออริกาโน 10 เปอร์เซ็นต์ และสารสกัดอาติโชค 5 เปอร์เซ็นต์ ในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของอาหารกุ้งขาวแวนนาไม ผลการศึกษาพบว่าอาหารกุ้งที่เสริมสารสกัดจากสมุนไพรรวมดังกล่าวในระดับ 0.05, 0.15 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ ส่งเสริมการย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะที่การย่อยโปรตีนไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีการปลดปล่อยน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่าอาหารชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การศึกษาผลของสารสกัดจากสมุนไพรรวมต่อประสิทธิภาพการเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม โดยทำการศึกษาโดยใช้อาหาร 4 ชุดการทดลองของสารสกัดสมุนไพรรวมที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันในระดับ 0, 0.05, 0.15 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่า สารสกัดจากสมุนไพรรวมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะ น้ำหนักเฉลี่ยต่อวัน และประสิทธิภาพของโปรตีน ดังนั้นการเสริมสารสกัดจากสมุนไพรรวมที่ประกอบด้วยสารสกัดกระเทียม 15 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดออริกาโน 10 เปอร์เซ็นต์ และสารสกัดอาติโชค 5 เปอร์เซ็นต์ เพียง 0.05 เปอร์เซ็นต์ มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหารและส่งผลให้กุ้งขาวแวนนาไมเติบโตดีขึ้น

**คำสำคัญ**: กุ้งขาวแวนนาไม สารสกัดจากสมุนไพรรวม การย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ ประสิทธิภาพการเติบโต

## คำนำ

กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจสำคัญในการเพาะเลี้ยงในหลายประเทศทั่วโลก เช่น เอกวาดอร์ เวียดนาม อินเดีย มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ จีน และประเทศไทย สำหรับข้อมูลการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565 มีผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไม รวม 369,323 ตัน มูลค่า 58,760 ล้านบาท (Department of Fisheries, 2023) ทั้งนี้พบว่าปริมาณการผลิตกุ้งขาวแวนนาไมลดลง 2.43 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบจากผลผลิตในปี พ.ศ. 2562 ซึ่งหนึ่งในปัญหาอุปสรรคสำคัญของการสูญเสียทางเศษฐกิจที่ทำให้การผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมลดลง มาจากการระบาดของโรคกุ้ง โดยส่วนใหญ่พบการติดเชื้อ *Vibrio* spp. โดยพบการติดเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio parahaemolyticus* ร่วมกับ *Enterocytozoon hepatopenaei* หรือ EHP เป็นกลุ่มของปรสิตไมโครสปอริเดีย พบว่าเชื้อเข้าทำลายเซลล์ตับและตับอ่อนของกุ้ง (Sathish Kumar *et al*., 2022) จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของตับและตับอ่อนลดลง เกิดการย่อยอาหารที่ไม่สมบูรณ์ ส่งผลทำให้กุ้งกินอาหารลดน้อยลงและต้านทานต่อเชื้อก่อโรคลดลง การเลี้ยงกุ้งในปัจุบันเกษตรกรไม่สามารถใช้ยาปฏิชีวนะเกินจนทำให้สะสมในการผลิต เนื่องจากต้องห้ามตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : การปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดี สำหรับฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเล ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551 (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2008) การเลือกใช้พืชสมุนไพรจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ดีในการป้องกันและการรักษาทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ อีกทั้งยังช่วยเสริมการย่อยได้ของอาหารและการเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม เพราะพืชสมุนไพรหลายชนิดเป็นแหล่งของสารที่ออกฤทธิ์ทางยาและเสริมระบบภูมิคุ้มกันที่ดี เช่น กระเทียม (*Allium sativum* Linn.) สารสกัดกระเทียม มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ได้แก่ อัลลิซิน อัลลิอิน และ อะโจอีน (Dirsch *et al*., 1998) สารประกอบเหล่านี้สามารถปรับปรุงการทำงานของระบบย่อยอาหารในสัตว์น้ำโดยเพิ่มการหลั่งของเอนไซม์ในทางเดินอาหาร กระตุ้นการผลิตน้ำดีและส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในลำไส้ที่มีประโยชน์ จึงสามารถส่งเสริมการเติบโตและการใช้อาหารของสัตว์น้ำหลายชนิด (Rezaei *et al*., 2022) โดยทำหน้าที่เป็นพรีไบโอติก กระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในลำไส้และ

ปรับปรุงการใช้สารอาหาร (Hamed *et al*., 2021) กลไกการออกฤทธิ์ของพรีไบโอติกนั้นมาจากคุณสมบัติของอัลลิซิน ซึ่งส่งเสริมการเจริญเติบโตของกุ้งด้วยการปรับปรุงการย่อยอาหาร ทำให้ระบบย่อยอาหารมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพิ่มเอนไซม์ย่อยอาหารและลดระดับของแบคทีเรียที่เป็นอันตราย พืชสมุนไพรออริกาโน (oregano) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Origanum vulgare* มีสารประกอบออกฤทธิ์หลายชนิด เช่น คาร์วาครอล ไทมอล และกรดโรสมารินิก (Oreopoulou *et al*., 2020) มีคุณสมบัติต้านจุลชีพและเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยส่งเสริมจุลินทรีย์ในลำไส้ที่ดีต่อสุขภาพในปลาและสัตว์น้ำ อื่น ๆ (Guo *et al*., 2022) สารประกอบเหล่านี้สามารถช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและไวรัสที่เป็นอันตรายในสัตว์น้ำ สารสกัดจากออริกาโนยังมีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟีนอลและฟลาโวนอยด์ ซึ่งสามารถช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันในสัตว์น้ำ สารต้านอนุมูลอิสระช่วยต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถทำลายเซลล์และทำให้ระบบภูมิคุ้มกันเสียหายได้ และยังสามารถช่วยลดความเครียดในสัตว์น้ำส่งผลดีต่อการทำงานของระบบย่อยอาหารโดยรวม (Hou *et al*., 2022) พืชสมุนไพรอาติโชค (artichoke) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cynara cardunculus* ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่น ไซนาริน กรดคลอโรเจนิก และลูทีโอลิน ซึ่งมีประโยชน์ต่อการย่อยอาหารในสัตว์น้ำ สารประกอบเหล่านี้กระตุ้นการผลิตน้ำดีซึ่งช่วยสลายไขมันและเพิ่มการหลั่งของเอนไซม์ในทางเดินอาหาร เช่น อะไมเลส ไลเปส และโปรตีเอส ซึ่งช่วยย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนตามลำดับ ปรับปรุงประสิทธิภาพและช่วยให้การย่อยอาหารโดยรวมดีขึ้น (Matuschowski *et al*., 2005) นอกจากนี้ยังพบว่า สารสกัดจากอาติโชคมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถช่วยปกป้องเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารจากความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระด้วยการลดการเสียสภาพของเอนไซม์ (Carpentieri *et al*., 2022) ผลการศึกษาปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าการเสริมอาหารด้วยสารสกัดจากสมุนไพรช่วยเพิ่มการเติบโตและการใช้อาหารของกุ้งขาวอย่างมีนัยสำคัญ (Ghosh *et al*., 2021) ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารสกัดสมุนไพรรวมของกระเทียม ออริกาโน และอาติโชค ในระดับต่าง ๆ กันต่อการย่อยได้ของอาหาร และการเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม

## อุปกรณ์และวิธีการ

### สารสกัดสมุนไพรรวม

สารสกัดหยาบผ่านกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบต่อเนื่องโดยใช้ความร้อนและทำแห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) ประกอบด้วยสารสกัดกระเทียม 15 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดออริกาโน 10 เปอร์เซ็นต์ และสารสกัดอาติโชค 5 เปอร์เซ็นต์

### สัตว์ทดลอง

กุ้งที่ใช้ในการทดลอง เป็นกุ้งขนาด 1.25-1.50 กรัม จำนวน 5,000 ตัว จากฟาร์มเอกชนใน จังหวัดสมุทรสงคราม ประเทศไทย นำกุ้งมาพักไว้ในถังขนาด 1,000 ลิตร จำนวน 5 ถัง เป็นเวลา 7 วัน ก่อนคัดขนาดให้สม่ำเสมอ ที่น้ำหนัก 1.50 ± 0.05 กรัม แล้วย้ายไปใส่ในถังสำหรับทดลองก่อนเริ่มการทดลอง 5 วัน เพื่อปรับให้คุ้นเคยกับสภาวะการทดลองที่ความเค็ม 15 ส่วนในพันส่วน โดยใช้อาหารกุ้งสูตรควบคุมที่มีโปรตีน 35.58 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6.26 เปอร์เซ็นต์ และไฟเบอร์ 2.03 เปอร์เซ็นต์ (Table 1)

สัตว์ทดลองผ่านการรับรองอนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่เอกสาร ACKU 61-FIS-040

### อาหารทดลอง

จัดเตรียมอาหารทดลองตามความต้องการโภชนาการของกุ้งโดยจัดเตรียมวัตถุดิบตามสูตรที่กำหนด (Table 1) ทั้งหมด 4 สูตร สำหรับกุ้งในแต่ละชุดการทดลองจำนวน 30 กิโลกรัมต่อชุดการทดลอง จากนั้นทำการชั่งวัตถุดิบทุกชนิดตามสูตรที่กำหนด แล้วบดวัตถุดิบทั้งหมดที่เป็นของแข็งให้ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 มิลลิเมตร แล้วผสมวัตถุดิบตามสูตรอาหารให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปอัดเม็ดผ่านรูหน้าแว่นขนาด 1.5 มิลลิเมตร นำอาหารมานึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมาผึ่งให้เย็นลงในถาด

Table 1. Composition of the experimental feed

| Ingredient (kg) | T1(Control) | T2 | T3 | T4 |
|---|---|---|---|---|
| Fish meal | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 15.00 |
| Soybean meal | 37.50 | 37.50 | 37.50 | 37.50 |
| Wheat flour | 20.45 | 20.40 | 20.30 | 20.20 |
| Raw rice bran | 9.00 | 9.00 | 9.00 | 9.00 |
| Squid liver powder | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| Poultry meat | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| Fish oil and lecithin | 2.40 | 2.40 | 2.40 | 2.40 |
| Vitamin-mineral premix | 5.65 | 5.65 | 5.65 | 5.65 |
| Herb extract blend | - | 0.05 | 0.15 | 0.25 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

จากนั้นนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ตรวจสอบความชื้นให้เหลือใกล้เคียง 10 เปอร์เซ็นต์ (Hien *et al*., 2022) นำมาผึ่งให้อาหารเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำอาหารกุ้งเม็ดมาบี้ให้แตกเป็นเกล็ดเล็ก ๆ ขนาดตามต้องการ จากนั้นบรรจุใส่ถุงพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้นจากอากาศวิเคราะห์ค่าทางเคมี ความชื้น (AOAC (2019) 930.15) โปรตีน (AOAC (2019) 992.15) ไขมัน (AOCS (2017) AM 5-04) ไฟเบอร์ (AOCS (2017) Ba 6a-05) แคลเซียม (AOAC (2019) 985.01) และฟอสฟอรัส (AOAC (2019) 985.01)

**แผนการทดลอง**

วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 5 ซ้ำ

T1: ชุดการทดลอง 1 อาหารกุ้งไม่เสริมสารสกัดสมุนไพรรวม (0 เปอร์เซ็นต์)

T2: ชุดการทดลอง 2 อาหารกุ้งเสริมสารสกัดสมุนไพรรวม 0.5 กรัม ต่อกิโลกรัม (0.05 เปอร์เซ็นต์)

T3: ชุดการทดลอง 3 อาหารกุ้งเสริมสารสกัดสมุนไพรรวม 1.5 กรัม ต่อกิโลกรัม (0.15 เปอร์เซ็นต์)

T4: ชุดการทดลอง 4 อาหารกุ้งเสริมสารสกัดสมุนไพรรวม 2.5 กรัม ต่อกิโลกรัม (0.25 เปอร์เซ็นต์)

**สภาวะการทดลอง**

คัดแยกกุ้งขาวแวนนาไม น้ำหนัก 1.50 ± 0.05 กรัม ลงในถังขนาด 0.50 ลูกบาศก์เมตร ที่มีปริมาณน้ำ 0.40 ลูกบาศก์เมตร ถังละ 30 ตัว (75 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) จำนวน 20 ถัง โดยกุ้งขาวแวนนาไมได้รับอาหารชนิดเม็ด ขนาด 1.50 มิลลิเมตร ที่มีสารสกัดสมุนไพรรวมของกระเทียม ออริกาโน และอาติโชค ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.05, 0.15 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ โดยให้อาหารที่อัตรา 5-6 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว แบ่งการให้อาหารเป็น 4 มื้อ ตามช่วงเวลา 06.00, 10.00, 14.00, 18.00 น. (Hien *et al*., 2022) ระยะเวลา 28 วัน ในระหว่างการทดลองมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวัน วันละ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำภายในถังทดลอง เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้มีค่า ออกซิเจนละลายในน้ำ >4 พีพีเอ็ม อุณหภูมิน้ำ 28-31 องศาเซลเซียส ความเค็ม 15-25 พีพีที ความเป็นกรด-ด่าง 7.4-8.2 แคลเซียม 200-300 พีพีเอ็ม แมกนีเซียม >300 พีพีเอ็ม โพแทสเซียม >120 พีพีเอ็ม ความกระด้าง >2,000 พีพีเอ็ม อัลคาไลน์ 140-180 พีพีเอ็ม ไนไตรท์ <0.10 พีพีเอ็ม แอมโมเนีย <0.30 พีพีเอ็ม

**การศึกษาค่าการย่อยได้ของโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตในอาหารกุ้งขาวแวนนาไมที่เสริมสารสกัดสมุนไพรรวม ในห้องปฏิบัติการ** (*in vitro* digestibility)

**การสกัดเอนไซม์**

สกัดเอนไซม์จากกุ้งขาว ที่มีน้ำหนักกุ้งเฉลี่ย 8-10 กรัมต่อตัว โดยเก็บรวบรวมระบบย่อยอาหารของกุ้งขาวส่วนของตับและลำไส้รวมกัน จากนั้นทำ

การปั่นละเอียดให้เป็นเนื้อเดียวกันบนถาดน้ำแข็ง ผสมกับสารละลาย Tris-HCL 50 mM pH 7.0 ผสมให้เข้ากันโดยใช้ micro-homogenizer (THP-220,OMNI International, USA) และทำการเหวี่ยงแยกให้ตกตะกอนแล้วนำส่วนที่ใสไว้ทำการทดลองต่อไป โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 ºC นำไปใช้ในการศึกษาการย่อยได้ในหลอดทดลอง

**สภาวะการย่อยได้ในหลอดทดลองสำหรับการย่อยสารอาหาร**

นำอาหารกุ้งที่ใช้ในการทดลองมาบดให้ละเอียด เพื่อศึกษาการย่อยได้ในหลอดทดลอง จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างแล้วเติม phosphate buffer pH 8.0 เติมยาปฏิชีวนะเพื่อควบคุมจุลินทรีย์ แล้วนำส่วนผสมทั้งหมดผสมให้เข้ากันและบ่มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 ºC แล้วนำสารละลายส่วนหนึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 ºC เพื่อเป็นชุดควบคุม (0 ชั่วโมง) และแบ่งสารละลายที่เหลือเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกไม่มีการเติมเอนไซม์จากกุ้งขาวบ่มเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ส่วนที่เหลือนำสารละลายมาเติมเอนไซม์ที่สกัดได้จากทางเดินอาหารกุ้งขาวบ่มเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 ºC เมื่อครบกำหนดเวลา นำไปปั่นเหวี่ยงแล้วเก็บส่วนใสมาประเมินการย่อยได้ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต

**การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีน**

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนของอาหารกุ้งในหลอดทดลอง โดยวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนที่ถูกย่อยและปลดปล่อยจากอาหาร โดยวิธี ninhydrin assay โดยนำสารละลายทั้ง 3 ส่วนที่ปั่นเหวี่ยงแล้วมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย cd-ninhydrin แล้วบ่มที่ 84 ˚C จากนั้นทำให้เย็นในน้ำแข็งทันทีแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 507 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของกรดอะมิโนโดยใช้ tyrosine เป็นสารละลายมาตรฐาน ประสิทธิภาพในการย่อยได้ในหลอดทดลองของโปรตีนมีค่าเท่ากับปริมาณ tyrosine (กรัมต่อ100 กรัมตัวอย่าง)

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนโดยวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ถูกย่อยและละลายน้ำ (soluble protein; peptide) โดยวิธี biuret test โดยนำสารละลายทั้ง 3 ส่วนที่ปั่นเหวี่ยงแล้วมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย biuret แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 25 ºC แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของโปรตีนที่ละลายน้ำโดยใช้เซรั่มอัลบูมินเป็นสารละลายมาตรฐานประสิทธิภาพในการย่อยได้ของโปรตีนมีค่าเท่ากับ ปริมาณเซรั่มอัลบูมิน (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)

**การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรต**

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตของอาหารกุ้งในหลอดทดลอง โดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วย 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) ตามวิธีการของ Bedford and Classen (1993) และ Miller (1959) โดยนำสารละลายทั้ง 3 ส่วนที่ปั่นเหวี่ยงแล้ว มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย DNS จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 25 ˚C หยุดปฏิกิริยาที่ 100 ˚C แล้วทำให้เย็นลงด้วยน้ำเย็นจัดวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานมอลโตสและวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 550 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกลูโคสส่วนการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 480 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานไซโลสและวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 590 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานแมนโนสปริมาณรวมของน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้แสดงประสิทธิภาพย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำตาล (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)

**การศึกษาการเติบโต**

ทำการบันทึกน้ำหนักกุ้งทุกชุดการทดลองทุก 14 วัน การให้อาหารในแต่ละมื้อให้จดบันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้ในแต่ละถังในทุกชุดการทดลองจนสิ้นสุดการทดลองใน 28 วัน รวบรวมเป็นน้ำหนักรวมของแต่ละถัง

**การศึกษาการเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม**

เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 28 วัน ทำการบันทึกข้อมูลการเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม โดยศึกษาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น การเติบโตจำเพาะ น้ำหนักเฉลี่ยต่อวัน อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอด

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น; Percent weight gain, %PWG = 100 x (final weight – initial weight)/ initial weigh

น้ำหนักเฉลี่ยต่อวัน (Average daily gain); ADG (g/day) = (avg. final weight – avg. initial weight)/ number of days

การเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate); SGR (%/day) =100 x (ln final weight – ln initial weight)/ number of days

อัตราการแลกเนื้อ (Feed conversion ratio); FCR = feed intake / [final body weight (g) – initial body weight (g)]

อัตราการรอด (Survival rate); %SR = 100 x (final shrimp number / initial shrimp number)

**การวิเคราะห์ผลทางสถิติค่าเฉลี่ย**

ผลการศึกษา นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) แบบทางเดียว (one way ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลอง โดยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีของ Steel and Torrie (1980)

## ผลการศึกษา

**ผลของสมุนไพรวมต่อการย่อยได้ของอาหารในห้องปฏิบัติการ**

อาหารกุ้งขาวแวนนาไมที่เสริมสมุนไพรรวมที่ระดับ 0, 0.05, 0.15 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ นำมาย่อยโดยใช้เอนไซม์จากทางเดินอาหารของกุ้งขาว ผลการศึกษาการย่อยได้ของโปรตีน (Table 2) พบว่า การเสริมสารสกัดสมุนไพรรวมในปริมาณ 0.05-0.25 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้การปลดปล่อยโปรตีนที่ละลายน้ำได้และการปล่อยกรดอะมิโนเพิ่มขึ้นไม่มากนักเมื่อเทียบกับอาหารที่ไม่เสริมสารสกัดสมุนไพรรวม ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้ การทดสอบการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตในอาหารกุ้งผสมสารสกัดสมุนไพรรวมในปริมาณ 0.05 - 0.25 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) พบว่า การเสริมสารสกัดสมุนไพรรวมเพิ่มการปลดปล่อยน้ำตาลรีดิวซ์ มอลโตส กลูโคส และแมนโนส สูงขึ้นซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) และการปลดปล่อยไซโลสสูงขึ้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารที่ไม่มีส่วนผสมของสารสกัดจากสมุนไพรรวม

**ผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม**

การศึกษาการเสริมสารสกัดจากสมุนไพรรวมในระดับต่าง ๆ ในอาหารกุ้งเลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 28 วัน ผลการศึกษาการเติบโตของกุ้ง พบว่าการเติบโตของกุ้งขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมสารสกัดสมุนไพรรวมเมื่อเทียบกับกุ้งที่ได้รับอาหารควบคุมนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) กุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีสารสกัดสมุนไพรผสม 0.05, 0.15 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ มีการเติบโตดีกว่ากุ้งที่เลี้ยงด้วยอาหารควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) โดยพิจารณาจาก น้ำหนักสุดท้าย เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเติบโตจำเพาะ อัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และอัตราการแลกเนื้อ จากการศึกษาเมื่อระดับการเสริมสมุนไพรรวมเพิ่มขึ้นกุ้งมีการเติบโตเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดสมุนไพรรวมที่เพิ่มขึ้น (Table 4) โดยการใช้สารสกัดสมุนไพรรวมที่ความเข้มข้นของ

Table 2. In vitro digestibility of protein in shrimp feed supplemental herb extract blend

| Treatments | Protein digestibility (g/100 g sample) | |
|---|---|---|
| | Amino acid | Soluble protein |
| Shrimp feed (SF) without herb extracts **(control)** | 1.72±0.52 | 9.57±0.12 |
| SF + herb extracts 0.05% | 1.73±0.22 | 10.04±0.59 |
| SF + herb extracts 0.15% | 1.83±0.15 | 10.94±1.43 |
| SF + herb extracts 0.25% | 1.83±0.24 | 11.46±0.64 |
| *P*-value | 0.948$^{ns}$ | 0.088$^{ns}$ |

$^{ns}$ Not significant

**Table 3. In vitro digestibility of carbohydrate in shrimp feed supplemental herb extract blend**

| Treatments | Carbohydrate digestibility (g/100 g sample) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Total reducing sugar | Maltose | Xylose | Glucose | Mannose |
| SF without herb extracts (control) | 17.23±1.43[b] | 6.45±0.18[b] | 4.24±0.72[b] | 4.79±0.30[b] | 1.75±0.29 |
| SF + herb extracts 0.05% | 26.00±1.23[a] | 7.66±0.70[a] | 8.43±0.48[a] | 6.36±0.62[a] | 3.55±0.4[a] |
| SF + herb extracts 0.15% | 25.82±2.11[a] | 7.70±0.06[a] | 7.97±2.24[a] | 6.36±0.04[a] | 3.79±0.19[a] |
| SF + herb extracts 0.25% | 26.12±1.10[a] | 7.77±0.36[a] | 8.07±1.56[a] | 6.41±0.10[a] | 3.87±0.25[a] |
| *P*-value | 0.000 | 0.011 | 0.022 | 0.001 | 0.000 |

The average values with the letters [a, b] in the same column indicate a significant difference ($P<0.05$)

**Table 4. Growth performance of white shrimp fed a blended of herbal extracts for 28 days**

| Growth performance | Treatments | | | | *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0% (Control) | 0.05% | 0.15% | 0.25% | |
| Initial weight (g) | 1.46±0.03 | 1.46±0.02 | 1.46±0.02 | 1.46±0.03 | 0.997[ns] |
| Final weight (g) | 4.15±0.19[b] | 4.68±0.29[a] | 4.80±0.29[a] | 4.91±0.34[a] | 0.003 |
| Percent weight gain (%) | 184.56±14.75[b] | 219.91±21.44[a] | 228.05±17.11[a] | 236.54±26.64[a] | 0.005 |
| Specific growth ratio (%•day$^{-1}$) | 3.73±0.19[b] | 4.15±0.24[a] | 4.24±0.19[a] | 4.32±0.29[a] | 0.004 |
| Average daily gain (g•day$^{-1}$) | 0.10±0.01[b] | 0.11±0.01[a] | 0.12±0.01[a] | 0.12±0.01[a] | 0.004 |
| Feed conversion ratio | 1.51±0.07[a] | 1.16±0.07[b] | 1.14±0.05[b] | 1.10±0.11[b] | 0.000 |
| Survival rate (%) | 87.2±4.38 | 95.2±4.38 | 93.6±6.69 | 93.6±3.58 | 0.086[ns] |

The average values with the letters [a, b] in the same row indicate a highly significant difference ($P<0.01$)

[ns] Not significant

0.05-0.25 เปอร์เซ็นต์ มีการเติบโตใกล้เคียงกัน ในส่วนของอัตรารอด เมื่อระดับการเสริมสารสกัดสมุนไพรรวมเพิ่มขึ้นพบว่า อัตราการรอดมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้น การเสริมสารสกัดสมุนไพรรวมที่ระดับ 0.05% ถึง 0.25% มีผลให้ประสิทธิภาพการย่อยการใช้ประโยชน์อาหารดีขึ้นและกุ้งมีการเติบโตเพิ่มขึ้น

## วิจารณ์ผลการทดลอง

กระเทียม ออริกาโน และอาติโชคเป็นสมุนไพรที่ใช้กันมานานหลายศตวรรษ โดยมีคุณสมบัติในการป้องกันรักษาโรคเป็นสำคัญ สมุนไพรทั้งสามชนิดนี้อุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการ เช่น ต้านการอักเสบ ต้านจุลชีพ ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์กระตุ้นภูมิคุ้มกัน ในช่วงที่ผ่านมาผู้วิจัยในสาขาการเลี้ยงสัตว์มีความสนใจเพิ่มขึ้นในการใช้สารสกัดจากสมุนไพรในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ งานวิจัยจำนวนมากได้รายงานถึงประโยชน์ที่เป็นไปได้ของการใช้สารสกัดจากสมุนไพรเป็นสารเสริมอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหลายชนิด เช่น กุ้งขาว ปลานิล ปลาดุก ปลายี่สก ปลาจีน เป็นต้น (Irianto *et al*., 2015; Kasornchandra *et al*., 2005; Mariappan *et al*., 2023; Shalaby *et al*., 2006) ซึ่งสาร

สกัดจากพืชสมุนไพรหลายชนิดมีสารประกอบที่ช่วยในการย่อยอาหาร โดยเพิ่มการหลั่งของเอนไซม์ในทางเดินอาหารและปรับปรุงการทำงานของระบบย่อยอาหารโดยรวม นอกจากนี้สารเหล่านี้ยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งช่วยปกป้องเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารจากความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระ สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของการย่อยอาหาร (Majeed and Bhat, 2022)

สารสกัดสมุนไพรรวมที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยสารสกัดจากกระเทียม 15 เปอร์เซ็นต์ ออริกาโน 10 เปอร์เซ็นต์ และอาติโชค 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ทำหน้าที่ในการขจัดอนุมูลอิสระ รวมทั้งคุณสมบัติต้านจุลชีพในกลุ่มเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา เชื้อไวรัส และเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันในการเพิ่มเซลล์เม็ดเลือดขาวปลดปล่อย cytokine ในกระบวนการ phagocytosis เพื่อทำลายเซลล์ก่อโรค (Kumar and Berwal, 1998; Kyo *et al*., 1998) สารสกัดกระเทียมจึงช่วยปรับปรุงการทำงานของระบบย่อยอาหารโดยเพิ่มการหลั่งของเอนไซม์ในทางเดินอาหาร กระตุ้นการผลิตน้ำดีและส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในลำไส้ที่มีประโยชน์ จึงมีผลให้การเติบโตสูงขึ้น (Nohara *et al*., 2013; Swiderski *et al*., 2007) ออริกาโนมีโพลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารประกอบฟีนอล ช่วยกระตุ้นการหลั่งของเอนไซม์ย่อยอาหารในระบบทางเดินอาหารนำไปสู่การย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหารที่ดีขึ้น อีกทั้งยังมีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา ซึ่งช่วยลดอุบัติการณ์ของการติดเชื้อในทางเดินอาหารและช่วยลดความเครียดในกุ้ง ซึ่งส่งผลดีต่อการทำงานของระบบย่อยอาหารโดยรวม (Hou *et al*., 2022) คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของออริกาโนช่วยปกป้องเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารจากความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระช่วยลดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ สามารถปรับปรุงการทำงานของเอนไซม์ให้ดีขึ้นได้ (Gutierrez-Grijalva *et al*., 2019) อาติโชคมีสารโพลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์ในรูปไซนาริน กรดคลอโรเจนิก กรดแอฟโฟอิลควินิก ลูโธลิน เอพิเจนิน และเควอซิติน (Domínguez-Fernández *et al*., 2021) ช่วยการย่อยอาหารออกฤทธิ์กระตุ้นการผลิตน้ำดี ช่วยสลายและดูดซึมไขมันในอาหาร เพิ่มการหลั่งของเอนไซม์ในทางเดินอาหาร เช่น อะไมเลส ไลเปส และโปรตีเอส ช่วยย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ตามลำดับ (Matuschowski *et al*., 2005) และสารสกัดจากอาติโชคมีสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระที่สูง แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปกป้องโครงสร้างของเอนไซม์ย่อยอาหาร ลดการเสียสภาพของเอนไซม์ ส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ให้ออกฤทธิ์ได้นานขึ้น (Da Silva Carneiro *et al*., 2021; Carpentieri *et al*., 2022) สารสกัดสมุนไพรรวมในการศึกษาส่งเสริมการย่อยอาหารกุ้งขาวแวนนาไม ดังแสดงใน Table 2 และ 3 และส่งผลให้กุ้งเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Table 4 อย่างไรก็ตามผลของสารสกัดสมุนไพรต่อการย่อยอาหารในสัตว์น้ำแต่ละชนิดอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสัตว์น้ำที่กำลังศึกษาและปริมาณของสารสกัดสมุนไพรที่ใช้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อให้เข้าใจถึงประโยชน์ที่เป็นไปได้ของสารสกัดสมุนไพรต่อสุขภาพทางเดินอาหารในสัตว์น้ำแต่ละชนิด

ในส่วนของการเติบโตนั้น กระเทียม ออริกาโน และอาติโชคมีผลในการส่งเสริมการเติบโตของกุ้งขาว โดยสามารถเพิ่มความอยากอาหารและการย่อย ทำให้การใช้ประโยชน์จากอาหารดีขึ้นและการเติบโตเพิ่มขึ้น จากการปรับสมดุลระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่ก่อให้เกิดความเครียด ส่งผลต่อการย่อยการใช้ประโยชน์สารอาหารและกดภูมิคุ้มกันโรคมีผลให้การเติบโตลดลง ความสามารถในการต้านทานและขจัดอนุมูลอิสระของสมุนไพรรวม จะช่วยลดความเครียดและลดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ โดยที่กระเทียมมีสารอินทรีย์กลุ่มกำมะถัน เช่น อะลิซิน ที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์สามารถกำจัดอนุมูลอิสระและลดความเครียดในกุ้ง ออริกาโนมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ จากสารประกอบฟีนอล เช่น คาร์วาครอลและไทมอล สารต้านอนุมูลอิสระสามารถช่วยจัดการกับความเครียดทางออกซิเดชันในกุ้ง ทำให้สุขภาพกุ้งดีขึ้น อาติโชคเป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระ ซินาริน และกรดคลอโรเจนิก สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้

สามารถช่วยลดความเครียดทางออกซิเดชัน ส่งเสริมการเติบโตของกุ้งขาว นอกจากนี้สารสกัดสมุนไพรยังมีผลในการต้านจุลชีพ และเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน (Kumar and Berwal, 1998; Kyo *et al*., 1998) จึงส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันและควบคุมเชื้อก่อโรคในทางเดินอาหาร จึงมีผลให้การเติบโตของกุ้งเพิ่มขึ้น มีอัตราการแลกเนื้อดีขึ้นเมื่อกุ้งได้รับปริมาณอาหารที่เท่ากัน

ดังนั้นในการศึกษานี้ สมุนไพรรวมของกระเทียม ออริกาโน และอาติโชคในระดับต่าง ๆ กัน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อย ทำให้การใช้ประโยชน์จากอาหารของกุ้งขาวดีขึ้นจึงส่งผลต่อการเติบโตดีขึ้น อีกทั้งสมุนไพรรวมที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านจุลชีพ ช่วยลดออกซิเดชั่น ลดความเครียด ส่งเสริมภูมิคุ้มกันโรคของกุ้ง และควบคุมเชื้อก่อโรค จึงส่งผลต่อสุขภาพกุ้งในภาพรวมให้ดีขึ้น ผลกระทบจากการติดเชื้อก่อโรคลดลง ส่งผลดีต่อผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมที่เพิ่มขึ้นช่วยลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจที่เกิดจากปัญหาจากการระบาดของโรคกุ้ง

## สรุป

การเสริมอาหารกุ้งด้วยสารสกัดสมุนไพรรวมที่มีส่วนผสมของกระเทียม 15 เปอร์เซ็นต์ ออริกาโน 10 เปอร์เซ็นต์ และอาติโชค 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 0.05 เปอร์เซ็นต์ มีผลส่งเสริมการย่อยได้ของสารอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลต่อการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารกุ้ง ($P<0.05$) ทำให้การเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารของกุ้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์และอาหารสัตว์น้ำ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และได้รับความร่วมมือ ช่วยเหลือในการดูแลสัตว์ทดลอง ตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง การเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ตัวอย่างต่าง ๆ จากอาจารย์เจ้าหน้าที่ และนิสิตปริญญาโทและเอก ของห้องปฏิบัติการฯ ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง ในการสนับสนุนทุนวิจัยและความอนุเคราะห์ต่าง ๆ ตลอดการวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

AOAC, 2019. Official Methods of Analysis, 21st ed. Association of Official Analytical, In G. W. Latimer, Jr. (Ed.)

AOCS, 2017. Official Methods and Recommended Practices, 7th ed. The American Oil Chemists' Society, Crude fiber in feed by filter bag technique. Urbana, IL: Ba 6a-05.

AOCS, 2017. Official Methods and Recommended Practices, 7th ed. The American Oil Chemists' Society, Urbana, IL. Method Am 5-04.

Bedford, M.R. and H.L. Classen. 1993. An *in vitro* assay for prediction of broiler intestinal viscosity and growth when fed rye-based diets in the presence of exogenous enzymes. Poultry Science 72(1): 137-143.

Carpentieri, S., D. Larrea-Wachtendorff, F. Donsi and G. Ferrari. 2022. Functionalization of pasta through the incorporation of bioactive compounds from agri-food by-products: Fundamentals, opportunities, and drawbacks. Trends in Food Science & Technology 122: 49-65.

Da Silva Carneiro, C. L., C.E. de Assis, A.L.S. Modesto, J.F.R. Maciel, D.A.V. Campelo, R.K. Luz, J.A.S. Zuanon and A.L. Salaro. 2021. Oregano essential oil (*Origanum vulgare*) dietary supplementation improved growth performance, body protein retention and muscle hyperplasia of the Neotropical catfish *Lophiosilurus alexandri*. Aquaculture Nutrition 27(4): 1221-1231.

Department of Agriculture and Cooperatives, 2023, Statistics of marine shrimp culture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Fisheries Statistics Group, Fisheries Development Policy and Planning Divison, No.7/2023: 43 p. (in Thai)

Dirsch, V.M., A.K. Kiemer, H. Wagner and A.M. Vollmar. 1998. Effect of allicin and ajoene, two compounds of garlic, on inducible nitric oxide synthase. . Atherosclerosis 139(2): 333 -339.

Domínguez-Fernández, M., Á. Irigoyen, M. de los Angeles Vargas-Alvarez, Ludwig, M.-P. De Peña and C. Cid. 2021. Influence of culinary process on free and bound (poly) phenolic compounds and antioxidant capacity of artichokes. International Journal of Gastronomy and Food Science, 25: 100389, doi:10.1016/j.ijgfs.2021.100389.

Ghosh, A. K., S.K. Panda and W. Luyten. 2021. Anti-vibrio and immune-enhancing activity of medicinal plants in shrimp: A comprehensive review. Fish & Shellfish Immunology 117: 192-210.

Guo, G., K. Li, Q. Zhu, C. Zhao, C. Li, Z. He, S. Hu and Y. Ren. 2022. Improvements of immune genes and intestinal microbiota composition of turbot (*Scophthalmus maximus*) with dietary oregano oil and probiotics. Aquaculture 547: 737442, doi : 10.1016/j. aquaculture.2021.737442 .

Gutierrez-Grijalva, E. P., M. Antunes-Ricardo, B.A. Acosta-Estrada, J.A. Gutierrez-Uribe, and J. Basilio Heredia. 2019. Cellular antioxidant activity and *in vitro* inhibition of alpha-glucosidase, a-amylase and pancreatic lipase of oregano polyphenols under simulated gastrointestinal digestion. Food Research International 116: 676-686.

Hamed, H. S., S.M. Ismal and C. Faggio. 2021. Effect of allicin on antioxidant defense system, and immune response after carbofuran exposure in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology 240: 108919, doi: 10.1016/j. cbpc.2020.108919.

Hien, T. T. T., C.T. Tao, T.T.T. Hoa, T.G. Huynh, T.L.C. Tu, T.N. Hai, D.H. Nguyen, S.H. Kim, J.W. Song, H.T. Nhan and P.M. Duc. 2022. Effects of dietary supplementation with Pro-A on growth performance, feed utilization, immune responses, and intestinal microbiota of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Aquaculture Reports 24: 101125, doi: 10.1016/j.aqrep.2022.101125

Hou, T., S.S. Sana, H. Li, Y. Xing, A. Nanda, V.R. Netala and Z. Zhang. 2022. Essential oils and its antibacterial, antifungal and anti-oxidant activity applications: A review. Food Bioscience 47: 101716, doi: 10.1016/j.fbio. 2022.101716

Irianto, A., S. Nuryati, E.H. Purnawan, S.B. Prayitno and W. Suwinarti. 2015. Garlic (*Allium sativum*) feeding enhances immune responses and disease resistance of catfish (*Clarias gariepinus*). Journal of Aquatic Animal Health 27(1): 37-44.

Kasornchandra, J., W. Chutchawanchaipan, M. Thavornyutikarn and J. Puangkaew. 2005. Application of garlic (*Allium sativum*) as an alternate therapeutic for marine shrimp. pp. 114-119. *In*: Proceedings of the JSPS-NRCT International Symposium: Productivity Techniques and Effective Utilization of Aquatic Animal Resources into the New Century. Kasetsart university, Bangkok.

Kumar, M. and J.S. Berwal. 1998. Sensitivity of food pathogens to garlic (*Allium sativum*). Journal of Applied Microbiology 84(2): 213-215.

Kyo, E., N. Uda, A. Suzuki, M. Kakimoto, M. Ushijima, S. Kasuga and Y. Itakura. 1998. Immunomodulation and antitumor activities of aged garlic extract Phytomedicine 5(4): 259-267.

Majeed, T. and N.A. Bhat. 2022. Health benefits of plant extracts. pp. 269-294. *In*: S.A. Mir, A. Manickavasagan and M.A. Shah (eds.). Plant Extracts: Applications in the Food Industry. Academic Press, London.

Mariappan, B., V. Kaliyamurthi and A. Binesh. 2023. Medicinal plants or plant derived compounds used in aquaculture. pp. 153-207. *In*: J. Mathew, M.S. Jose, E.K. Radhakrishnan and A. Kumar (eds.). Recent Advances in Aquaculture Microbial Technology. Academic Press, London.

Matuschowski, P., A. Nahrstedt and H. Winterhoff. 2005. Pharmacological study of the choleretic efficacy of fresh plant extract from *Cynara scolymus*. Zeitschrift für Phytotherapie 26(5): 216-221.

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

Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2022, Regulation on the standardization of agricultural products: Good Aquaculture Practices for shrimp in accordance with the Agricultural Product Standards Act of 2008, Royal Gazette, Announces the Ministry of Agriculture and Cooperatives, June 6, 2022: 9 p. (in Thai)

Nohara, T., Y. Fujiwara, T. Ikeda, K. Murakami, M. Ono, D. Nakano and J. Kinjo. 2013. Cyclic sulfoxides garlicnins $B_2$, $B_3$, $B_4$, $C_2$, and $C_3$ from *Allium sativum*. Chemical and Pharmaceutical Bulletin 61(7): 695-699.

Oreopoulou, A., G. Goussias, D. Tsimogiannis and V. Oreopoulou. 2020. Hydro-alcoholic extraction kinetics of phenolics from oregano: Optimization of the extraction parameters. Food and Bioproducts Processing, 123, 378-389.

Rezaei, O., M.S. Mehrgan and H. Paknejad. 2022. Dietary garlic (*Allium sativum*) powder improved zootechnical performance, digestive enzymes activity, and innate immunity in narrow-clawed crayfish (*Postantacus leptodactylus*). Aquaculture Reports, 24: 101129, doi: 10.1016/j.aqrep.2022.101129.

Sathish Kumar, T., P. Ezhil Praveena, M. Makesh, M. Poornima and K.P. Jithendran. 2022. Artificial germination of *Enterocytozoon hepatopenaei* (EHP) spores induced by ions under the scanning electron microscope. Journal of Invertebrate Pathology 194: 107820. doi: 10.1016/j.jip.2022.107820.

Shalaby, A. M., Y. A. Khattab and A.M. Abdel Rahman. 2006. Effects of garlic (*Allium sativum*) and chloramphenicol on growth performance, physiological parameters and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases 12(2): 172-201.

Steel, R. G. D. and J.H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometric Approach. 2nd ed. McGraw-Hill Book Company, New York.

Swiderski, F., M. Dabrowska, A. Rusaczonek and B. Waszkiewicz-Robak. 2007. Bioactive substances of garlic and their role in dietoprophylaxis and dietotherapy. Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny 58(1): 41-46.

# การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่นกกระทาต้มด้วยสมุนไพรไทย 9 ชนิด

# Product Development of Quail Eggs Boiled with 9 Thai Herbs

**ปฐมา แทนนาค[1*] ภาวิณี จำปาคำ[2] นริศรา ยิ่งกำแหง[2] ศศิธร นาคทอง[2]**
**ใยไหม ช่วยหนู[1] ธรรมธวัช แสงงาม[1] และ วันวิสาข์ วัฒนะพันธ์ศักดิ์[1]**
Pathama Thannark[1*], Phawinee Jampakam[2], Naritsara Yingkamhaeng[2], Sasitorn Nakthong[2],
Yaimai Chuaynoo[1], Thamthawat Seangngam[1] and Wanwisa Wattanapunsak[1]

*[1]ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140*

*[1]Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen,*
*Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand*

*[2]โครงการจัดตั้งภาควิชานวัตกรรมอาหารปลอดภัย คณะเกษตร กำแพงแสน*
*มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140*

*[2]Department of Agricultural Bio-resources and Food, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen,*
*Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand*

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

*(Received: 29 June 2023; Accepted: 26 October 2023)*

**Abstract:** This study aimed to investigate the development of boiled quail eggs using 9 Thai herbs, consisting of ginger, galangal, lemongrass, red shallot, onion, holy basil, kitchen mint, and turmeric, based on different methods of herbal extraction. A completely randomized design experiment was performed. The experiments were divided into 4 groups. Each group had 200 eggs with 2 replications. The 1st experimental group was the control group for boiled quail eggs (CON), the 2nd experimental group was the group for boiled quail eggs in 9 Thai herbs based on infusion extraction method (INF), the 3rd experimental group was the group for boiled quail eggs in 9 Thai herbs based on digestion extraction method (DIG), and the 4th experimental group was the group for boiled quail eggs in 9 Thai herbs based on decoction extraction method (DEC). The experimental results indicated that chemical characteristics, i.e. protein, fat, moisture and energy were different without a statistical significance ($P>0.05$), but carbohydrate, cholesterol, ash, color, total phenolic, and antioxidant were different with a statistical significance ($P<0.05$). The 4th experimental group (DEC) had higher cholesterol, total phenolic, and antioxidant contents than other experimental groups. Hardness, gumminess, chewiness were different without a statistical difference ($P>0.05$) but adhesiveness was different with a statistical significance ($P<0.05$). Adhesiveness in the 3rd experimental group (DIG) was higher than in other experimental groups. The experimental results in sensory quality indicated that characteristics of hardness, flavor, and overall preference were different without a statistical significance ($P>0.05$) but color, mouthfeel and odor were different with a statistical significance ($P<0.05$) in the 1st experimental group (CON).


Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

Keywords: Quail eggs, Thai herbs, total phenolic, antioxidant

**บทคัดย่อ**: การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิด โดยใช้ ขิง ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด หอมแดง หอมใหญ่ กะเพรา สาระแหน่ และขมิ้นชัน ด้วยกรรมวิธีการสกัดสมุนไพรที่แตกต่างกัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 2 ซ้ำ ๆ ละ 200 ฟอง คือ กลุ่มการทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุมไข่นกกระทาต้ม (CON) กลุ่มการทดลองที่ 2 กลุ่มไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิดจากกรรมวิธีการสกัดสมุนไพรด้วยวิธีการชง (INF) กลุ่มการทดลองที่ 3 กลุ่มไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิดจากกรรมวิธีการสกัดสมุนไพรด้วยวิธีการตุ๋น (DIG) และกลุ่มการทดลองที่ 4 กลุ่มไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิดจากกรรมวิธีการสกัดสมุนไพรด้วยวิธีการต้ม (DEC) ผลการทดลองพบว่า ลักษณะทางกายภาพเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ความชื้น และพลังงาน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05) แต่คาร์โบไฮเดรต คอเลสเตอรอล เถ้า ค่าสี ปริมาณฟีนอลิก และสารต้านออกซิเดชัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$<0.05) โดยกลุมการทดลองที่ 4 DEC มีปริมาณคอเลสเตอรอล ปริมาณฟีนอลิก และสารต้านออกซิเดชัน สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่น คุณภาพเนื้อสัมผัส ค่าความแข็ง ค่าการแตกตัวพร้อมกลืน ค่าความเคี้ยวได้ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05) แต่ค่าการเกาะติด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$<0.05) ในกลุ่มการทดลองที่ 3 DIG ค่าการเกาะติดสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่น ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ความแข็ง รสชาติ และความชอบโดยรวม แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05) แต่ลักษณะปรากฏ (สี) ความรู้สึกขณะกลืน และกลิ่น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$<0.05) ในกลุ่มการทดลองที่ 1 CON

**คำสำคัญ**: ไข่นกกระทา สมุนไพรไทย ปริมาณสารฟีนอลิก และสารต้านออกซิเดชัน

## คำนำ

ไข่นกกระทาเป็นอาหารที่นิยมบริโภคของคนทั่วไปไม่ว่าจะเป็นเด็กหรือผู้ใหญ่ โดยการบริโภคไข่นกกระทาตามคำแนะนำของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตร และอาหารแห่งชาติ (มกอช.) ให้บริโภคครั้งละประมาณ 4 ฟองต่อคน (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2006) โดยไข่นกกระทาจะให้พลังงาน และโปรตีนน้อยกว่าไข่เป็ด และไข่ไก่เล็กน้อย แต่อุดมไปด้วยวิตามินเอและโฟเลต (คิดเป็นร้อยละ 20-25 ของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน) (Tanjor et al., 2015) แต่ก็ยังมีความกังวลเรื่องระดับคอเลสเตอรอลสูง จากการศึกษาของ Tanjor et al. (2015) พบว่า ปริมาณของคอเลสเตอรอลในไข่ต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของไข่แดงในไข่แต่ละชนิด เนื่องจากพบคอเลสเตอรอลเฉพาะในไข่แดงเท่านั้น และเมื่อเทียบสัดส่วนไข่แดงในไข่แต่ละชนิด ไข่แดงจากไข่นกกระทามีสัดส่วนน้อยที่สุด ทำให้มีคอเลสเตอรอลน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไข่เป็ดและไข่ไก่

ไข่ไก่ต้มสมุนไพรเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สร้างความแตกต่างจากเดิมที่มีการใช้ เกลือ ซีอิ๊ว และเครื่องเทศด้วยวิธีการเคี่ยว หรือ การดอง (Zhang *et al*., 2012) โดยไข่ไก่ต้มสมุนไพรได้รับความนิยมในจีน และไต้หวันเป็นอย่างมาก มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมออกจำหน่ายตามท้องตลาด โดยสมุนไพรที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ ชา อบเชย โป๊ยก๊ก ฮวาเจียว(หมาล่า) ขิง เป็นต้น จากการศึกษาของ Xue *et al*., (2022) ผลของชาและโป๊ยก๊กต่อลักษณะทางเคมีกายภาพโครงสร้างจุลภาคและโครงสร้างโมเลกุลของไข่ขาวที่เกิดจากความร้อนและเจลโปรตีน พบว่า การใช้ชา และโป๊ยก๊กส่งผลให้โปรตีนในไข่ขาวมีความแข็งแรงขึ้น การใช้โป๊ยก๊กให้โปรตีนเจลได้ดีกว่าใบชา ซึ่งไข่ไกต้มสมุนไพรจีน และไข่ต้มพะโล้ได้รับความนิยมอย่างมากทั้งในประเทศ และต่างประเทศ แต่ยังไม่มีการประยุกต์ใช้สมุนไพรไทยในการปรุงไข่สมุนไพร โดยสมุนไพรที่ใช้ในการทดลองทั้ง 9 ชนิด เป็นสมุนไพรที่นิยมใช้อยู่ในชีวิตประจำวัน และเป็นพืชหลักในการปรุงอาหาร เช่น ขิง ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด หอมใหญ่ หอมแดง กะเพรา สาระแหน่ และ

ขมิ้นชัน ซึ่งสมุนไพรแต่ละชนิดถูกปรุงในอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติและมีสรรพคุณทางยา โดยการเลือกสมุนไพรไทยทั้ง 9 ชนิด เนื่องด้วยมีสารสำคัญที่สามารถช่วยลดคอเลสเตอรอล จึงนำพืชสมุนไพรทั้ง 9 ชนิด มาทำการทดลองสกัดด้วยกรรมวิธีแบบดั้งเดิมที่สามารถทำได้ง่าย และปลอดภัย เพราะผู้บริโภคมีความกังวลในการบริโภคไข่นกกระทาเพราะมีคอเลสเตอรอลสูง ผู้วิจัยจึงใช้สมุนไพรไทยเพื่อลดคอเลสเตอรอล เป็นการเพิ่มคุณค่าผลิตอาหารเป็นยา เพื่อเพิ่มสารต้านออกซิเดชันในอาหาร และมุ่งหวังในการรวมกันของพืชสมุนไพรไทยทั้ง 9 ชนิด เพื่อใช้ในการตุ๋นอาหารแบบเครื่องพะโล้ เพื่อใช้ปรุงในทุกครัวเรือน

การสกัดพืชสมุนไพรทำได้หลายวิธีซึ่งวิธีการสกัดที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อสารที่มีประโยชน์ที่มีฤทธิ์ของการต้านออกซิเดชัน วิธีการสกัดสารแบบดั้งเดิม (conventional extraction methods) มีด้วยกันหลายวิธี เช่น การฝน (sanding), การหมัก (maceration), การสกัดด้วย Soxhlet แต่วิธีการสกัดแบบดั้งเดิมที่นิยมใช้และคุ้นเคยกับวิถีชีวิตคนไทย คือการสกัดด้วยกรรมวิธีการ การชง (infusion) การตุ๋น (digestion) และการต้ม (decoction) ซึ่งมีความแตกต่างในกระบวนการ (Thipayarat, 2019) ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี คุณภาพเนื้อสัมผัส ลักษณะทางประสาทสัมผัส ปริมาณฟีนอลิก และสารต้านออกซิเดชันของไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิด เพื่อดึงคุณประโยชน์จากสมุนไพรไทยร่วมกับไข่นกกระทา ด้วยวิธีการสกัดสมุนไพรที่แตกต่างกัน เพื่อเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่นกกระทาสมุนไพรไทย

## อุปกรณ์และวิธีการ

**1. การเตรียมตัวอย่าง**

ไข่นกกระทาดิบจากนกกระทาอายุ 30 สัปดาห์ เก็บไข่นกกระทาทดลองช่วงเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2566 จากฟาร์มของศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จำนวน 1,600 ฟอง (แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 2 ซ้ำ ๆ ละ 200 ฟอง) ต้มเป็นเวลา 4 นาที แล้วแช่ด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 4 -10 องศาเซลเซียส ปอกเปลือก

สมุนไพรไทยทั้ง 9 ชนิด ได้แก่ ขิง ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด หอมใหญ่ หอมแดง กะเพรา สาระแหน่ และขมิ้นชัน โดยกะเพรา สาระแหน่ และตะไคร้จากแปลงอินทรีย์คณะเกษตร กำแพงแสน และตลาดกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยผลผลิตถูกเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2566

**2. วิธีการทำการทดลอง**

2.1 ล้างทำความสะอาดสมุนไพร ผึ่งให้แห้ง และหั่นเป็นชิ้นเล็กขนาด 2-3 เซนติเมตร (ขิง ตะไคร้ ใบมะกรูด หอมใหญ่ และหอมแดง) กะเพรา และสาระแหน่เด็ดเฉพาะใบ ขมิ้นชันและข่าปั่นหยาบใช้เครื่องปั่นยี่ห้อ Philips รุ่น HR222 ที่ระดับเบอร์ 2 ปั่นพร้อมเกลี่ยโถเป็นเวลา 2 นาที

2.2 ใช้สัดส่วนสมุนไพรต่อน้ำที่ระดับ 1: 4 (Neelapong *et al*. (2019) โดยใช้สมุนไพรอย่างละ 1 ส่วน น้ำ 4 ส่วน (ขิง ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด หอมแดง หอมใหญ่ กะเพรา โหระพา สาระแหน่ และขมิ้นชัน อย่างละ 100 กรัม รวมเป็น 900 กรัม และ น้ำ 3,600 กรัม) ด้วยกรรมวิธีการสกัดสมุนไพรแบบดั้งเดิม

วิธีที่ 1 การชง เป็นการสกัดสมุนไพรโดยแช่สมุนไพรในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้หม้อสแตนเลสใส่น้ำตั้งไฟให้อุณหภูมิน้ำอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส ปิดการให้ความร้อน ใส่สมุนไพรไทยทั้ง 9 ชนิดในหม้อสแตนเลส ปิดฝาหม้อตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง

วิธีที่ 2 การตุ๋น เป็นวิธีการสกัดโดยใช้ความร้อนอ่อน ๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้หม้อสแตนเลสใส่น้ำตั้งไฟให้อุณหภูมิน้ำอยู่ที่ 40-60 องศาเซลเซียส ใส่สมุนไพรไทยทั้ง 9 ชนิดในหม้อสแตนเลส ปิดฝาหม้อ ควบคุมการให้ความร้อนที่ 40-60 องศาเซลเซียส ตลอดกระบวนการสกัด เป็นเวลา 30 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง

วิธีที่ 3 การต้ม เป็นการต้มสมุนไพรในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วต้มต่อไปอีก 15 นาที โดยใช้หม้อสแตนเลสใส่น้ำตั้งไฟให้อุณหภูมิน้ำอยู่ที่ 100

องศาเซลเซียส ใส่สมุนไพรไทยทั้ง 9 ชนิดในหม้อสแตนเลส ปิดฝาหม้อควบคุมการให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ตลอดกระบวนการสกัด เป็นเวลา 15 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง (Thipayarat, 2019) ชั่งน้ำหนักปริมาณน้ำสมุนไพร และกากสมุนไพร โดยนำน้ำสมุนไพรไปใช้ในการทดลอง

2.3 นำไข่นกกระทาต้ม จำนวน 200 ฟอง กับน้ำสมุนไพรที่สกัดด้วยวิธีต่าง ๆ ในข้อ 2.2 จำนวน 2,000 กรัม และเติมเกลือ 1% ต้มที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 15 นาที หลังจากนั้นแช่ไข่นกกระทาในน้ำสมุนไพรประมาณ 15 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิตู้เย็นประมาณ 4 องศาเซลเซียส ตักไข่นกกระทาออกจากน้ำสมุนไพร บรรจุถุงสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อส่งตรวจวิเคราะห์ตามกลุ่มการทดลอง ดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุมไข่นกกระทาต้ม (CON) ไข่นกกระทาต้ม 200 ฟอง น้ำเปล่า 2,000 กรัม เติมเกลือ 1% ต้มที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 15 นาที หลังจากนั้นแช่ไข่นกกระทาในน้ำเกลือประมาณ 15 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิตู้เย็นประมาณ 4 องศาเซลเซียส

กลุ่มการทดลองที่ 2 กลุ่มไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิดจากกรรมวิธีการสกัดสมุนไพรด้วยวิธีการชง (INF)

กลุ่มการทดลองที่ 3 กลุ่มไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิดจากกรรมวิธีการสกัดสมุนไพรด้วยวิธีการตุ๋น (DIG)

กลุ่มการทดลองที่ 4 กลุ่มไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิดจากกรรมวิธีการสกัดสมุนไพรด้วยวิธีการต้ม (DEC)

**3. วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ เคมีของไข่นกกระทา ได้แก่**

3.1 โปรตีนตามวิธี in-house method TE-CH-042 based on AOAC (2019) 981.10. จำนวน 2 ซ้ำการทดลอง ซ้ำ ละ 2 ตัวอย่าง/กลุ่มการทดลอง โดยวิธีการวิเคราะห์ใช้ตาม AOAC (2019) ต่างกันที่การชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

3.2 ปริมาณไขมันตามวิธี AOAC (2019) 922.06. จำนวน 2 ซ้ำการทดลอง ซ้ำ ละ 2 ตัวอย่าง/กลุ่มการทดลอง

3.3 คาร์โบไฮเดรต และพลังงานตามวิธี in-house method TE-CH-0169 based on Method of Analysis for Nutrition Labeling (1993) จำนวน 2 ซ้ำการทดลอง ซ้ำละ 2 ตัวอย่าง/กลุ่มการทดลอง โดยวิธีการวิเคราะห์ใช้ตาม AOAC (2019) ต่างกันที่การชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

3.4 ความชื้นตามวิธี AOAC (2019) 950.46 (B) จำนวน 2 ซ้ำการทดลอง ซ้ำ ละ 2 ตัวอย่าง/กลุ่มการทดลอง

3.5 คอเลสเตอรอลตามวิธี วิธี in-house method TE-CH-143 based on AOAC (2019) 944.10. จำนวน 2 ซ้ำการทดลอง ซ้ำ ละ 2 ตัวอย่าง/กลุ่มการทดลอง

3.6 เถ้าตามวิธี AOAC (2019) 920.153 จำนวน 2 ซ้ำการทดลอง ซ้ำ ละ 2 ตัวอย่าง/กลุ่มการทดลอง

3.7 ค่าสี CIE L* a* b* วัดผิวด้านนอกของไข่นกกระทา ด้วยเครื่อง MiniScan by Hunter Lab, USA จำนวน 2 ซ้ำการทดลอง ซ้ำ ละ 10 ตัวอย่าง/กลุ่มการทดลอง

3.8 วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกรวม ใช้วิธี Folin-Ciocalteu ดัดแปลงจากวิธีของ Mohd-Esa *et al.* (2010) และอ่านค่าสัญญาณด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย 10% Folin-ciocalteu reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย $Na_2CO_3$ 7.5% ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันในหลอดทดลอง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารฟีนอลิกรวมเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิค (ความเข้มข้น 0, 6.25, 12.5, 25, 50, 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัม (mgGAE/g) จำนวน 2 ซ้ำการทดลอง ซ้ำ ละ 3 ตัวอย่าง/กลุ่มการทดลอง

3.9 วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ใช้วิธี DPPH ดัดแปลงจากวิธีของ Sittisart *et al.* (2020) และอ่านค่าสัญญาณด้วยเครื่อง microplate reader โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH (ความเข้มข้น 0.2 mM ละลายในเมทานอล) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันในหลุมไมโครเวลเพลท ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืด แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

คำนวณค่า % DPPH inhibition จากเปอร์เซ็นต์สีม่วงที่หายไป เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ (ความเข้มข้น 0-50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) คำนวณค่าการต้านอนุมูลอิสระในรูปมิลลิกรัมสมมูลโทรลอกซ์ต่อกรัม (mg Trolox equivalent/g) จำนวน 2 ซ้ำ การทดลอง ซ้ำ ละ 3 ตัวอย่าง/กลุ่มการทดลอง

**4. คุณภาพเนื้อสัมผัส**

วิเคราะห์การเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ด้วยเครื่อง texture analyzer Lloyd Instruments LR 5K, USA สุ่มตัวอย่างไข่นกกระทาตามกลุ่มการทดลองเพื่อทดสอบแรงกด (compression test) โดยใช้หัวโพรบแบบ cylinder probes ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตร/วินาที มีโหลดเซลล์ขนาด 5 กิโลกรัม และควบคุมด้วยโปรแกรม XT.RA (Texture Technologies Corp., USA) จำนวน 2 ซ้ำ การทดลอง ซ้ำ ละ 10 ตัวอย่าง/กลุ่มการทดลอง

**5. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส**

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไข่นกกระทาสมุนไพรไทย 9 ชนิด ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน แบ่งเป็นผู้ชาย จำนวน 14 คน ผู้หญิง จำนวน 36 คน อายุเฉลี่ย 24 ปี ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้บริโภคทั่วไป ทำการทดสอบทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง และประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้งหมด 5 ด้าน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยการให้คะแนนจาก 1 (ไม่ชอบมากที่สุด) ถึง 9 (ชอบมากที่สุด) การเตรียมตัวอย่างก่อนการตรวจชิม ตัวอย่างไข่นกกระทาต้มสมุนไพรบรรจุในถุงสุญญากาศ ขนาด 9×13 เซนติเมตร จำนวน 4 ฟอง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสวางไข่นกกระทาตามกลุ่มการทดลองในจานระบุรหัสเป็นตัวเลข 3 ตัวแบบสุ่ม และเสิร์ฟให้กับผู้ชิมร่วมกับน้ำเปล่าที่อุณหภูมิห้อง ก่อนการตรวจชิม ผู้ตรวจชิมต้องดื่มน้ำเปล่า เพื่อล้างช่องปาก ทำการตรวจชิมในช่วง 10.00 น. (Lawless and Heymann, 2010) โดยผู้วิจัยได้ผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์สำหรับนักศึกษา/นักวิจัย จัดโดย สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ร่วมกับ NECAST | สำนักงานจริยธรรมการวิจัย (Office of Research Ethics) เมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ 2563

**6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

นำข้อมูลลักษณะทางกายภาพ เคมี ปริมาณ total phenolic และ antioxidant คุณภาพเนื้อสัมผัส และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป R 2.10.1 (Jompuk, 2012)

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

**ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี**

ลักษณะทางกายภาพของไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิด ด้วยกรรมวิธีการสกัดสมุนไพรที่แตกต่างกัน (Figure 1) เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าเห็นความแตกต่างของสีไข่นกกระทาระหว่างกลุ่มการทดลอง โดยไข่นกกระทากลุ่มการทดลองที่ 4 DEC ให้สีเข้มที่สุด และไข่นกกระทากลุ่มการทดลองที่ 2 INF สีอ่อนที่สุด โดยปริมาณเริ่มต้นทั้ง 3 กระบวนการสกัดสมุนไพรไทยรวมกับน้ำ จำนวน 4,500 กรัม ซึ่งวิธีการสกัดแบบชงให้ปริมาณน้ำสมุนไพรมากที่สุด ตามด้วยแบบตุ๋นและแบบต้ม ตามลำดับ (Table 1) ซึ่งกระบวนการสกัดแบบต้มให้ปริมาณน้ำสมุนไพรน้อยสุด เนื่องจากความร้อนในระดับสูงส่งผลต่อการระเหยของน้ำถึงแม้จะอยู่ในหม้อสแตนเลสแบบปิดฝาแต่มีแรงดันไอน้ำพุ่งออกจากหม้อตลอดเวลาการให้ความร้อน ส่งผลให้น้ำสมุนไพรที่สกัดด้วยการต้มมีสีเข้ม และเข้มข้นกว่าวิธีอื่น ๆ

ผลของการศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี ของไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิด ด้วยกรรมวิธีการสกัดสมุนไพรที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณโปรตีน ไขมัน ความชื้น และพลังงาน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่คาร์โบไฮเดรต คอเลสเตอรอล เถ้า ค่าสี ฟีนอลิกและสารต้านออกซิเดชันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ด้วยวิธีการ

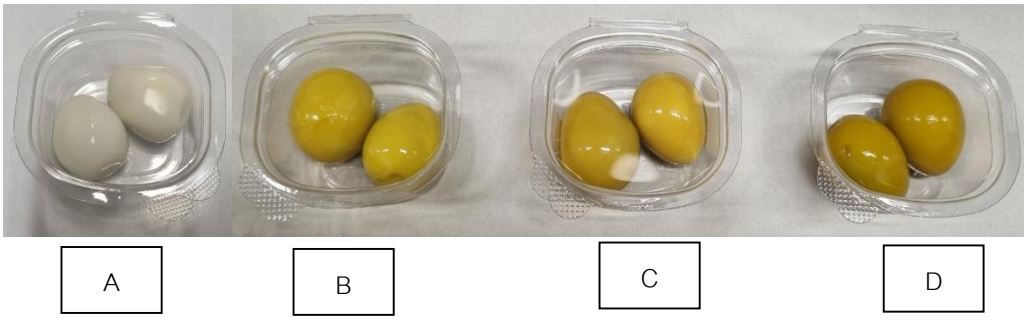



Figure 1 Physical characteristics of quail eggs stewed with Thai herbs (A) quail eggs boiled (CON), (B) quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by infusion method (INF), (C) quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by digestion method (DIG), (D) quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by decoction method (DEC)

Table 1 Quantitation analysis of Thai herbs from the extraction process in different cooking method

| Quantitation | INF | DIG | DEC |
|---|---|---|---|
| Initial (g) | 4,500 (100%) | 4,500 (100%) | 4,500 (100%) |
| Thai Herbs juice (g) | 3,350 (74.44%) | 2,700 (60%) | 2,550 (56.67%) |
| Thai herbs waste (g) | 1,023.70 (22.75%) | 1,065.70 (23.68%) | 1,052.60 (23.39%) |
| Loss (g) | 126.30 (2.90%) | 734.30 (16.32%) | 897.40 (19.94%) |

*Note: INF (quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by infusion method), DIG (quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by digestion method) and DEC (quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by decoction method)

สกัดสมุนไพรมีระดับของความร้อนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ทำให้มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต คอเลสเตอรอล เถ้า ค่าสี ฟีนอลิกและสารต้านออกซิเดชัน โดยกลุ่มการทดลองที่ 4 DEC มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต และคอเลสเตอรอลสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่น (Table 2) เนื่องจากการต้มสมุนไพรสดให้ความเข้มข้นของน้ำสมุนไพรมากกว่าการตุ๋นและการชง (Figure 2) ทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสด้วยการเคลื่อนที่ผ่านของน้ำสมุนไพรจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของน้ำมากผ่านเยื่อเลือกผ่านไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของน้ำน้อย โดยการแทรกซึมของสารเข้าสู่ไข่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการสูญเสียน้ำภายในไข่ออกสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้ปริมาณไขมันอิสระเพิ่มขึ้นบริเวณผิวด้านนอกของไข่แดง (Laokuldilok *et al*., 2022) และการสกัดสมุนไพรไทยด้วยการต้มให้สารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด ซึ่งสารประกอบฟีนอลิก มีคุณสมบัติทางกายภาพเป็นกรดอ่อน ซึ่งอาจส่งผลต่อโครงสร้างของโปรตีนในไข่แดง โดยในไข่แดงส่วนพลาสม่ามีอนุภาคเล็ก ๆ แพร่กระจายอย่างอิสระ จากการศึกษาของ Oloyede (2005) พบว่า ลิปิดทั้งหมดของไข่แดงอยู่ร่วมกับโปรตีน เรียกว่า lipoproteins โดย lipoproteins ประกอบด้วยแกนกลางที่เป็นลิพิดไม่ชอบน้ำ (รวมทั้ง triglyceride และ cholesteryl ester) หุ้มด้วยเปลือกฟอสโฟลิพิดที่แบ่งขั้ว ด้วยคอเลสเตอรอลอิสระ และด้วย apolipoprotein เป็นโปรตีนที่ยึดกับไขมัน (Wikipedia contributors, 2023) เมื่อ apolipoprotein เสียสภาพส่งผลต่อปริมาณคอเลสเตอรอลอิสระ ทำให้กลุ่มการทดลองที่ 4 DEC มีปริมาณคอเลสเตอรอลสูงกว่า

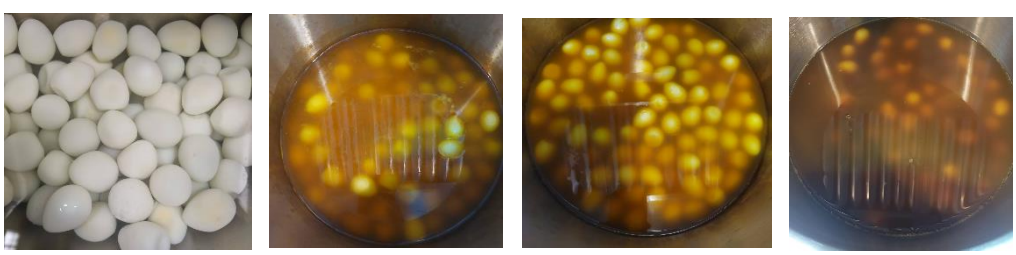
Table 2 Physio-chemical characteristics of quail eggs with Thai herbs in different cooking method

| Quail eggs | CON | INF | DIG | DEC |
|---|---|---|---|---|
| Protein (g/100g)$^{ns}$ | 11.57 ± 1.41 | 11.51 ± 1.42 | 11.50 ± 1.41 | 11.94 ± 1.41 |
| Fat (g/100g)$^{ns}$ | 11.59 ± 0.74 | 11.77 ± 0.48 | 11.26 ± 0.01 | 11.80 ± 0.45 |
| Carbohydrate (g/100g) | 1.54 ± 0.05$^{a}$ | 1.33 ± 0.04$^{b}$ | 1.28 ± 0.00$^{b}$ | 1.18 ± 0.00$^{c}$ |
| Moisture (g/100g)$^{ns}$ | 73.04 ± 1.41 | 72.74 ± 1.41 | 73.41 ± 0.71 | 72.39 ± 1.41 |
| Calories (Kcal/100g)$^{ns}$ | 157.77 ± 1.54 | 157.10 ± 1.43 | 155.50 ± 1.43 | 158.75 ± 1.43 |
| Cholesterol (mg/100g) | 517.44 ± 1.42$^{b}$ | 507.20 ± 3.11$^{c}$ | 515.72 ± 1.44$^{b}$ | 533.86 ± 2.16$^{a}$ |
| Ash (g/100g) | 0.81 ± 0.01$^{b}$ | 1.01 ± 0.01$^{a}$ | 1.04 ± 0.01$^{a}$ | 1.01 ± 0.01$^{a}$ |
| Color | | | | |
| L* | 83.81 ± 2.16$^{a}$ | 65.80 ± 3.02$^{b}$ | 66.34 ± 3.20$^{b}$ | 60.62 ± 3.00$^{c}$ |
| a* | -2.61 ± 1.31$^{a}$ | -6.94 ± 1.50$^{c}$ | -7.75 ± 0.59$^{c}$ | -3.87 ± 0.73$^{b}$ |
| b* | 6.30 ± 1.68$^{d}$ | 64.88 ± 3.24$^{a}$ | 60.07 ±2.11$^{b}$ | 54.03 ± 3.11$^{c}$ |
| Total phenolics (mg GAE/g) | 3.41 ± 0.20$^{d}$ | 25.83 ± 1.13$^{b}$ | 21.83 ± 0.39$^{c}$ | 31.89 ± 0.86$^{a}$ |
| Antioxidant (mg Trolox equivalent/g) | 1.72 ± 0.02$^{d}$ | 30.37 ± 2.88$^{b}$ | 23.48 ± 1.13$^{c}$ | 41.02 ±0.17$^{a}$ |

*Note: CON (Control), INF (quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by infusion method), DIG (quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by digestion method) and DEC (quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by decoction method)

Mean ± standard deviation with different letters within the same row are significantly different at $P < 0.05$

ns (not significant) = mean ± standard deviation within the same row are insignificantly different at $P > 0.05$



A B C D

Figure 2 Quail eggs soak in stewed with Thai herbs (A) quail eggs boiled (CON), (B) quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by infusion method (INF), (C) quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by digestion method (DIG), (D) quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by decoction method (DEC)

กลุ่มการทดลองอื่น และในกระบวนการให้ความร้อนกับสมุนไพร ทำให้สูญเสียสารประกอบ ได้แก่ น้ำตาล ไฟเบอร์ที่ละลายน้ำได้ เถ้า กรดแอสคอร์บิก และสารประกอบฟีนอล ส่งผลต่อสี คุณสมบัติในการให้น้ำ และความสมบูรณ์ของเซลล์ (Arias-Rico *et al*., 2020) การลดลงของคาร์โบไฮเดรตในกลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เนื่องจากคาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน พบได้ทั่วไป เช่น น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส ไกลโคเจน เป็นต้น ซึ่งในพืชมีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบ เมื่อให้ความร้อนเพิ่มสูงขึ้นพันธะไฮโดรเจนถูกทำลายทำให้โมเลกุลของน้ำเชื่อมต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลอย่างอิสระ เม็ดแป้งจึงพองตัวและละลายน้ำได้ (Sampao, 2020) ทำให้แป้งละลายน้ำไปจากการให้ความร้อนสูง และด้วยสารฟีนอลิกมีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 1 โมเลกุลขึ้นไปรวมกับหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) โดยน้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก คือ กลูโคส (Glucose) และพบการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกกับสารอื่น ซึ่งสารประกอบฟีนอลิก ทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของไขมัน และโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว (Srisawat, 2012) ดังนั้นสารประกอบ phenolics จึงรวมกับน้ำตาลที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน ส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในกลุ่มการทดลองที่ 4 DEC น้อยกว่ากลุ่มการทดลองอื่น ๆ

ปริมาณเถ้าในกลุ่มการทดลองที่ 2 INF กลุ่มการทดลองที่ 3 DIG และกลุ่มการทดลองที่ 4 DEC ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการทดลองที่ 1 CON แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยทุกกลุ่มการทดลองได้รับการปรุงรสด้วยเกลือ 1% โดยเกลือ ประกอบด้วยโซเดียม ร้อยละ 40 และคลอไรด์ร้อยละ 60 ซึ่งในกลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 เป็นไข่นกกระทาต้มสมุนไพรทั้ง 9 ชนิด สมุนไพรแต่ละชนิดมีโซเดียมอยู่เป็นส่วนประกอบ เช่น ขิง 13 มิลลิกรัม/100 กรัม ตะไคร้ 6 มิลลิกรัม/100 กรัม หอมแดง 12 มิลลิกรัม/100 กรัม หอมใหญ่ 11 มิลลิกรัม/100 กรัม กะเพรา 4 มิลลิกรัม/100 กรัม สะระแหน่ 31 มิลลิกรัม/100 กรัม และ 1 มิลลิกรัม/100 กรัม (calforlife, 2023) ดังนั้นจึงส่งผลต่อปริมาณเถ้าที่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มไข่นกกระทาต้มสมุนไพร

ค่าสี L* เป็นค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 60.60 ถึง 83.81 ซึ่งในกลุ่มการทดลองที่ 1 CON ให้สีขาวสว่างที่สุด, ค่า a* ค่าบ่งบอกความเป็นสีเขียวและสีแดง อยู่ในช่วง -2.61 ถึง -7.75 กลุ่มการทดลองที่ 2 INF และกลุ่มการทดลองที่ 3 DIG ให้ค่าความเป็นสีเขียวสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่น และค่าความเป็นสีเหลือง b* กลุ่มการทดลองที่ 2 INF ให้ค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุด โดยค่าสีในแต่ละกลุ่มการทดลองเกิดจากรงควัตถุสีเหลือง (curcumin) จากขิง และขมิ้นชัน รงควัตถุสีเขียว (chlorophyll) จากใบมะกรูด กะเพรา สะระแหน่ และรงควัตถุสีแดง ม่วง และน้ำเงิน (anthocyanin) จากหอมแดง หอมใหญ่ ที่เกิดจากการออกซิเดชันของสารกลุ่มพอลิฟีนอลที่มีอยู่ในพืชสมุนไพร (Shoji 2007) แทรกซึมเข้าไปในไข่ขาวจึงทำให้ค่า L* a* และ b* แตกต่างกัน โดยจากผลการทดลองพบว่า กลุ่มการทดลองที่ 2 INF ค่า a* (ค่าความเป็นสีเขียวสีแดง) และ b* (ค่าความเป็นสีเหลือง) สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่น ๆ เนื่องจากกรรมวิธีการให้ความร้อนไม่ส่งผลต่อรงควัตถุสารสีในสมุนไพรไทยทั้ง 9 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธีการตุ๋น และต้ม โดยการต้มให้สีของสมุนไพรที่มีความเข้มมาก เนื่องจากคลอโรฟิลล์ไม่คงตัวต่อความร้อน เมื่อได้รับความร้อนเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ทำให้สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเขียวน้ำตาล (Phonchalermphong & Rattanapanon n.d.)

ปริมาณฟีนอลิกและสารต้านออกซิเดชัน ของไข่นกกระทาตุ๋นสมุนไพรไทย 9 ชนิดด้วยกรรมวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งกลุ่มการทดลองที่ 4 DEC มีปริมาณฟีนอลิก และปริมาณสารต้านออกซิเดชันสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่น โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 INF และ กลุ่มการทดลองที่ 3 DIG เป็นการใช้อุณหภูมิต่ำและระยะเวลาสั้นในการสกัดสมุนไพรทั้ง 9 ชนิด ส่งผลให้ปริมาณสารฟีนอลิกและสารต้านออกซิเดชันน้อยกว่า

การสกัดด้วยการต้ม เนื่องจาก กระบวนการให้ความร้อนไปทำลายผนังเซลล์ของโครงสร้างพืชและส่วนผสมของน้ำตาลซูโครส ซึ่งถูกย่อยสลายด้วยความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารพฤกษเคมีที่ซับซ้อนให้กลายเป็นโครงสร้างในรูปอนุพันธ์ต่าง ๆ หรือการรวมตัวกันเกิดโครงสร้างอนุพันธ์ของสารพฤกษเคมีที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้มากขึ้น (Potisate & Wutthinithisanand., 2021) สอดคล้องกับการศึกษาของ Settharaksa *et al*. (2012) ที่ศึกษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในพืชสมุนไพรที่เป็นส่วนผสมของเครื่องแกงสำหรับทำคั่วกลิ้งที่ให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารฟีนอลิกมากกว่าที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ในทุกระยะเวลา แต่ในส่วนของปริมาณสารต้านออกซิเดชัน พบว่า ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารต้านออกซิเดชันมากกว่าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และ Tomaino *et al*. (2005) ศึกษาอิทธิพลของความร้อนต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากเครื่องเทศบางชนิด พบว่า กะเพรามีสารต้านออกซิเดชันสูงในระดับความร้อนที่ 120 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับที่ระดับ 80 และ 100 องศาเซลเซียส

**คุณภาพเนื้อสัมผัส**

ผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิด ด้วยกรรมวิธีการสกัดสมุนไพรที่แตกต่างกัน (Table 2) พบว่า ค่าความแข็ง คือ ค่าแสดงแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดด้วยหัววัดเนื้อสัมผัส หรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก (Wu *et al*., 2017) สมบัติการยึดเกาะกับภายในเนื้ออาหารแสดงถึงความสามารถขององค์ประกอบในเนื้ออาหารในการต้านการเสียสภาพจากการกดครั้งที่สอง (Gupta *et al*., 2007) ค่าการแตกตัวพร้อมกลืนแสดงถึงพลังงานที่ทำให้อาหารกึ่งแข็งซึ่งมีค่าความแข็งน้อยแต่มีพลังงานยึดเกาะ กันภายในสูงแตกออกจนสามารถกลืนได้ค่าความเคี้ยวได้ คือ แรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือบดตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูป โดยเป็นตัวอย่างที่มีลักษณะผสมของ Hardness Cohesiveness และ Springiness (Civille & Szczesniak 1973) แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05) แต่ค่าการเกาะติด คือ งานที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดเนื้อสัมผัสออกจากตัวอย่าง หรือเทียบได้กับความเหนียวของตัวอย่างและค่าการเกาะติดที่มีค่าเป็นลบมากหมายถึงต้องใช้แรงดึงหัววัดออกจากตัวอย่างมากแสดงถึงตัวอย่างมีความเหนียวมากเปรียบได้กับตัวอย่างที่เกาะติดฟันมากหลังจากการเคี้ยว แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$<0.05) ซึ่งในกลุ่มการทดลองที่ 4 DEC มีแนวโน้มค่าความแข็ง และค่าการแตกตัวพร้อมกลืนมากกว่ากลุ่มการทดลองอื่น เนื่องจาก ความเข้มข้นของน้ำสมุนไพรส่งผลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของไข่ขาวจากการคายน้ำแบบออสโมติกส่งผลต่อโครงสร้างโปรตีน (Kaewmanee *et al*., 2013) แต่ไม่ส่งผลต่อความชื้นในอาหาร (Table 1) โดยความชื้นวัดจากปริมาณน้ำที่ถูกยึดเกาะ (Bond water) บวกกับปริมาณน้ำอิสระ ซึ่งปริมาณน้ำที่คายออกมาแบบออสโมติกส่งผลต่อโครงสร้าง แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณความชื้น (Thanonkaew & Ruangklay, 2016) เพราะไม่ได้มีการสูญเสียปริมาณน้ำ และปริมาณโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในพืชสมุนไพรส่งผลต่อเกิดการตกตะกอนและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโปรตีน (Siebert *et al*., 1996) โดยพอลิฟีนอล (polyphenol) เป็นสารในกลุ่มสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนแอโรแมติก (aromatic ring) ที่มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ที่รวมกับกลุ่มเปปไทด์ของโปรตีน NH-CO ซึ่งเป็นสายโซ่หลักของโครงสร้างโปรตีน และ -OH, -NH และ -COOH สามารถจับกับพันธะไฮโดรเจนด้านข้างของโครงสร้างโปรตีน ดังนั้นโครงสร้างโปรตีนยิ่งหน่าแน่นขึ้น (Zhou et al., 2018) และมีการการศึกษาสารสำคัญ Shikimic acid ในพืชสมุนไพรไทย พบว่า ในใบโหระพาพบกรดชิคิมิค (Ratanadachanakin, 2015) ซึ่งมีข้อสันนิษฐานว่ากรดชิคิมิคอาจเชื่อมต่อกับโปรตีนหลายชนิดเพื่อเพิ่มมวลรวมโปรตีน เมื่อส่องด้วยกล้อง ESEM พบการรวมตัวกันเป็น granular ตามธรรมชาติของโพลีฟีนอล หรือ กรดชิคิมิก และโปรตีน (Xue *et al*. 2022) ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่นกกระทาสมุนไพรเปลี่ยนแปลงไป สอดคล้องกับการทดลองของ Xue *et al*. (2022) ศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพ โครงสร้างจุลภาคและโครงสร้างโมเลกุลของไข่ขาวจากการต้มชาและโป๊ยกั๊กต่อเจลโปรตีน พบว่า กลุ่ม

การทดลองที่ใช้ชาและโป๊ยกั๊กช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเจลไข่ขาวต้มส่งผลให้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และสารประกอบที่สำคัญของใบชา คือ โพลีฟีนอล (Chen *et al*., 2015; Hou *et al*., 2009) มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในไข่ขาวส่งผลต่อโครงสร้างเจลของโปรตีนมีความหนาแน่นขึ้น (Zhou *et al*., 2019)

**คุณภาพทางประสาทสัมผัส**

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิด ด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (Table 4) พบว่า ความแข็ง รสชาติ และความชอบโดยรวมแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ลักษณะปรากฏ (สี) ความรู้สึกขณะกลืน และกลิ่นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยลักษณะปรากฏ (สี) ของไข่นกกระทาสมุนไพรไทย 9 ชนิด มีสีเหลืองจากขมิ้นชัน (curcuminoids) และสีเขียว จากใบกะเพรา โหระพา (chlorophyll) ซึ่งสีของไข่นกกระทาสมุนไพรหากมองด้วยตาเปล่าเป็นสีเหลืองปนสีเขียว ความเข้มและอ่อนของสีแตกต่างตามวิธีการสกัด โดยผู้ทดสอบให้คะแนนลักษณะปรากฏ (สี) ไข่นกกระทากลุ่มการทดลองที่ 1 CON สูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 เนื่องจากผู้ตรวจชิมให้เหตุผล สีไม่คุ้นเคยและแปลกตา แต่หากเปรียบเทียบในกลุ่มไข่นกกระทาสมุนไพรจากการสกัดทั้ง 3 วิธี พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนลักษณะปรากฏ (สี) กลุ่มการทดลองที่ 2 INF, กลุ่มการทดลองที่ 3 DIG แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และกลุ่มที่ได้คะแนนน้อยที่สุดได้แก่ กลุ่มการทดลองที่ 4 DEC ($P<0.05$) เนื่องจากการต้มเป็นวิธีการสกัดสมุนไพรโดยใช้ความร้อนสูงส่งผลให้มีปริมาณความเข้มข้นของสีมาก สอดคล้องกับค่าสี a* และ b* (Table 2) โดยการสกัดน้ำสมุนไพรด้วยการต้ม DEC ส่งผลต่อการคงตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้ไข่นกกระทามีสีเข้มจนเกือบเป็นสีเขียวน้ำตาล (Figure 1) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ ความรู้สึกขณะกลืน และกลิ่น ผู้ทดสอบให้คะแนนกลุ่มการทดลองที่ 1 CON สูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่น เนื่องจาก กลุ่มการทดลองไข่นกกระทาต้มสมุนไพรทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง มีการยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหารแน่นกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 CON (Table 3) จึงทำให้ผู้ทดสอบต้องออกแรงในการเคี้ยวเพิ่มมากขึ้น จากโครงสร้างโปรตีนไข่ขาวที่หนาแน่นขึ้น และ กลิ่นของสมุนไพรที่แต่ละระดับความชอบของแต่ละบุคคลไม่เท่ากัน โดยส่วนใหญ่ไม่ชอบกลิ่นสมุนไพรเนื่องจากกลิ่นแรงเกินไป แต่รสชาติและการยอมรับโดยรวมผู้ทดสอบให้คะแนนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

**Table 3 Texture properties of quail eggs with Thai herbs in different cooking method**

| Quail eggs | CON | INF | DIG | DEC |
|---|---|---|---|---|
| Hardness (g) $^{ns}$ | 6.33 ± 1.41 | 6.51 ± 1.01 | 6.82 ± 1.60 | 7.41 ± 2.04 |
| Adhesiveness (g.sec) | 0.05 ± 0.02$^{b}$ | 0.08 ± 0.03$^{ab}$ | 0.29 ± 0.24$^{a}$ | 0.20 ± 0.17$^{ab}$ |
| Cohesiveness $^{ns}$ | 0.43 ± 0.10 | 0.36 ± 0.02 | 0.35 ± 0.03 | 0.37 ± 0.08 |
| Gumminess $^{ns}$ | 2.68 ± 0.23 | 2.38 ± 0.41 | 2.35 ± 0.49 | 2.72 ± 0.75 |
| Chewiness $^{ns}$ | 0.02 ± 0.00 | 0.02 ± 0.00 | 0.01 ± 0.00 | 0.02 ± 0.00 |

*Note: CON (Control), INF (quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by infusion method), DIG (quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by digestion method) and DEC (quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by decoction method)

Mean ± standard deviation with different letters within the same row are significantly different at $P < 0.05$

ns (not significant) = mean ± standard deviation within the same row are insignificantly different at $P > 0.05$

Table 4 Sensory of quail eggs with Thai herbs in different cooking method

| Quail eggs | CON | INF | DIG | DEC |
|---|---|---|---|---|
| Appearance | | | | |
| Color | 7.71 ± 1.70[a] | 6.00 ± 2.38[b] | 6.12 ± 2.31[b] | 4.43 ± 2.34[c] |
| Body and Texture | | | | |
| Hardness[ns] | 7.02 ± 1.65 | 6.21 ± 2.07 | 6.55a ± 1.73 | 6.27 ± 1.78 |
| Mouthfeel | 7.33 ± 1.76[a] | 6.00 ± 2.49[b] | 5.90 ± 2.13[b] | 6.02 ± 1.90[b] |
| Odor | 6.38 ± 2.19[a] | 5.21 ± 2.62[b] | 5.31 ± 2.64[ab] | 5.93 ± 2.25[ab] |
| Flavor[ns] | 7.02 ± 1.94 | 6.07 ± 2.50 | 6.33 ± 2.13 | 6.24 ± 2.10 |
| Overall[ns] | 6.90 ± 1.92 | 5.93 ± 2.48 | 6.09 ± 2.38 | 5.97 ± 2.05 |

*Note: CON (Control), INF (quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by infusion method), DIG (quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by digestion method) and DEC (quail eggs boiled with Thai herbs from extraction process by decoction method)

Mean ± standard deviation with different letters within the same row are significantly different at $P < 0.05$

ns (not significant) = mean ± standard deviation within the same row are insignificantly different at $P > 0.05$

## สรุป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่นนกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิด ด้วยการสกัดสมุนไพรทั้ง 3 วิธี พบว่าผลิตภัณฑ์กลุ่มไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทย 9 ชนิด ด้วยกรรมวิธีการสกัดสมุนไพรจากการต้ม (DEC) เป็นวิธีที่เหมาะสม เนื่องจากคุณภาพทางกายภาพ เคมี และลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่นกกระทาไม่แตกต่างจากกระบวนการสกัดด้วยวิธีการชง (INF) และการตุ๋น (DIG) แต่มีปริมาณฟีนอลิกและสารต้านออกซิเดชันสูงที่สุด โดยไม่ส่งผลต่อรสชาติ และความชอบโดยรวม โดยไข่นกกระทาต้มสมุนไพรไทยมีปริมาณฟีนอลิกและสารต้านออกซิเดชันสูง ช่วยในเรื่องสุขภาพของผู้บริโภค เนื่องจาก ฟีนอลิกและสารต้านออกซิเดชัน เป็นโภชนเภสัชมีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพสามารถยับยั้ง หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ช่วยป้องกันการทำลายของผนังเซลล์ ป้องกันมะเร็ง ป้องกันการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดโรคหัวใจ และป้องกันโรคความจำเสื่อม เป็นต้น

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการ Business Unit โดยศูนย์บ่มเพาะธุรกิจ งานพัฒนาธุรกิจ สำนักงานบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัย และคณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

กรรมวิธีการผลิตไข่นกระทาสมุนไพรไทย 9 ชนิด อยู่ในขั้นตอนการยื่นขอรับความคุ้มครองอนุสิทธิบัตร ในนามมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2019. Official Methods 981.10 Crude Protein in Meat, 65, 1339(1982), Washington, DC.

AOAC. 2019. Official Methods 922.06 Fat in flour acid Hydrolysis method, 6, 508(1922); 9, 41 429(1926). Washington, DC.

AOAC. 2019. Official Methods 950.46 Loss on Drying (Moisture) in Meat, 33, 749(1950); 36, 279(1953). Washington, DC.

AOAC. 2019. Official Methods 994.10 Cholesterol in Foods, *Int*. 78, 75(1995). Washington, DC.

AOAC. 2019. Official Methods 920.153 Ash of Meat, Washington, DC.

Arias-Rico, J., F.J. Macías-León, E. Alanís-García, N. del Socorro Cruz-Cansino, O.A. Jaramillo-Morales, R. Barrera-Gálvez and E. Ramírez-Moreno. 2020. Study of edible plants: Effects of boiling on nutritional, antioxidant, and physicochemical properties. Foods 9(5): 599.

Calforlife. 2023. Calforlife. (online). Available: https://www.calforlife.com. (September 29, 2023) (in Thai)

Civille, G.V. and S. Szczesniak. 1973. Guidelines to training a texture profile panel. Journal of Texture Studies. 4(2): 204-223.

Chen, Z., J. Chen and J. Kan. 2015. Comparative study on effective components in star anise extracted by different methods. China Condiment 40(12): 9-12, 17.

Gupta, R.K., A. Sharma and R. Sharma. 2007. Instrumental texture profile analysis (TPA) of shelled sunflower seed caramel snack using response surface methodology. Food Science and Technology International 13(6): 455-460.

Hou, Y., W. Shao, R. Xiao, K. Xu, Z. Ma, B.H. Johnstone and Y. Du 2009. Pu-erh tea aqueous extracts lower atherosclerotic risk factors in a rat hyperlipidemia model. Experimental Gerontology 44(6-7): 434 - 439.

Jompuk, C. 2012. Statistics: Experimental design and Data Analysis in Plant Research with "R". 2nd ed. Kasetsart University Press, Bangkok. 350 p. (in Thai)

Kaewmanee, T., S. Benjakul, W. Visessanguan and C. Gamonpilas. 2013. Effect of sodium chloride and osmotic dehydration on viscoelastic properties and thermal-induced transitions of duck egg yolk. Food and Bioprocess Technology 6(2): 367-376.

Laokuldilok, N., R. Manochai and K. Ruttanateerawichien. 2022. The quality changes of coating salted eggs with turmeric to partially replace soil from termite mound during storage. RMUTP Research Journal 16(1): 13-27. (in Thai)

Lawless, H.T. and H. Heymann. 2010. Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices. 2nd ed.: Springer, New York

Methods of Analysis for Nutrition Labeling. 1993. Total and Other Carbohydrates and Calories.

Mohd-Esa N, Hern F.S, Ismail A., Yee C.L. (2010) Antioxidant activity in different parts of roselle (Hibiscus sabdariffa L.) extracts and potential exploitation of the seeds. Food Chemistry 122(4): 1055-1060.

National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (ACFS). 2006. Food Consumption Data of Thailand. ACFS, Bangkok 248 p. (in Thai)

Neelapong, W., B. Phonyotin and W. Sittikijyothin. 2019. Extraction of active compounds from Thai herbs: Powder and extract. The Journal of KMUTNB 29(1): 157-166. (in Thai)

Oloyede, O.I. 2005. A Comparative Study on The Cholesterol Content of Products Fractionated from Egg Yolk of Some Birds. Pakistan Journal of Nutrition. 4(5): 310-312.

Phonchalermphong P. and N. Rattanapanon. No date of publication. Chlorophyll. (Online). Available:http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1341/chlorophyll.( September 29, 2023) (in Thai)

Potisate, Y. and N. Wutthinithisanand, 2021. Type and sucrose content on antioxidant activity of mulberry jam. King Mongkut's Agricultural Journal. 39(2): 165-171.

Ratanadachanakin T. 2015. Study on Shikimic Acid in Thai medicinal Plants. Research report. Maejo University, Chaingmai (in Thai)

Sampao N. 2020. Type on sorption isotherm of starch. ( Online) . Available: http://www.nana-bio.com/image%20web2/nana%20story/starch/starch05.html. ( September 29, 2023) (in Thai)

Settharaksa, S., A. Jongjareonrak, P. Hmadhlu, W. Chansuwan and S. Siripongvutikorn. 2012. Flavonoid, phenolic contents and antioxidant properties of Thai hot curry paste extract and its ingredients as affected of pH, solvent types and high temperature. International Food Research Journal 19(4): 1581-1587.

Shoji T. 2007. Polyphenols as natural food pigments: changes during food processing. American Journal of Food Technology. 2(7): 570-581.

Siebert, K.J., N.V. Troukhanova and P.Y Lynn. 1996. Nature of polyphenol-protein interactions. Journal of Agricultural and Food Chemistry 44(1): 80-85.

Sittisart, P. B, Dunkhunthod and C, Chueanongthon. 2020. Antioxidant and anti-inflammatory activities of ethanolic extract from Hoya kerrii Craib. Chiang Mai Journal Science 47 (5), 912-925.

Srisawat R. 2012. Effects of some medicinal plant extracts in the area of Suranaree University of Technology on the activities of lipase, amylase and glucosidase enzymes. Suranaree University. Nakhon Ratchasima. (in Thai)

Tanjor, S., T. Saiwan, P. Puwastien, A. Deeaum and K. Judprasong. 2015. Nutritive value of commonly consumed eggs and effects of cooking. Thai Science and Technology Journal 23(4): 651 - 666. (in Thai)

Thanonkaew A. and P, Ruangklay. 2016. Effect of frying oil on quality changes of khanomla during storage at room temperature. RMUTSV Research Journal 8(2): 203-218.

Thipayarat, A. 2019. Pharmaceutical-grade, high-throughput, continuous medicinal herbs extraction combining liquefied butane and supercritical carbon dioxide technologies. Research Report. Burapha University, Chonburi (in Thai)

Tomaino, A., F. Cimino, V. Zimbalatti, V. Venuti, V. Sulfaro, A. De. Pasquale and A. Saija. 2005. Influence of heating on antioxidant activity activity and the chemical composition of some spice essential oils. Food Chemistry 89 (A): 549-554.

Wikipedia contributors. 2023. High-density lipoprotein. (online). Available: https://th.wikipedia.org/wiki/ไลโพโปรตีนหนาแน่นสูง. (September 29, 2023) (in Thai)

Wu, G., C.F. Morris and K.M. Murphy. 2017. Quinoa starch characteristics and their correlations with the texture profile analysis (TPA) of cooked quinoa. Journal of Food Science 82(10) : 2387-2395.

Xue H., M. Xu, M. Liao, W. Luo, G. Zhang, Y. Tu and Y. Zhao. 2022. Effects of tea and *Illicium verum* braise on physicochemical characteristics, microstructure, and molecular structure of heat-induced egg white protein gel. Food Hydrocolloids 110: 106181doi:10.1016/j.foodhyd.2020.106181.

Zhang, Q., L. Huang, W. Liu, F. Wang, W. Zhao, Z. Han and X. Lu. 2012. Review of traditional egg products processing methods. Academic Periodical of Farm Products Processing 2012 (9): 79-81, 90

Zhou, X., T. Chen, H. Lin, H. Chen, J. Liu, F. Lyu. and Y. Ding. 2019. Physicochemical properties and microstructure of surimi treated with egg white modified by tea polyphenols. Food Hydrocolloids 90: 82-89.

Zhou, X., T. Chen , F. Lv, S. Gu, J. Liu and Y. Ding. 2018. Effect and mechanism of modification with tea polyphenols on the gel properties of egg white protein. Food Science, 39(16), 13-18.

# ผลของอัตราการใช้ปุ๋ยและการให้น้ำต่อการเติบโตของต้นซากุระ

# Effects of Fertilizer Rates and Watering on Growth of Sakura (*Prunus serrulata*)

**นวรัตน์ ก่อเจดีย์[1] ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ[2] และ โสระยา ร่วมรังษี[1,3*]**

Nawarat Kochedee[1], Chaiartid Inkham[2] and Soraya Ruamrungsri[1,3*]

*[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*

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

*[2]สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*

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

*[3]ศูนย์บริการการพัฒนาขยายพันธุ์ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ. เชียงใหม่ 50200*

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

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

*(Received: 23 October 2022; Accepted: 3 November 2023)*

**Abstract:** Sakura (*Prunus serrulata*) is an important perennial plant in Japan. Currently, Thailand has imported Sakura trees for planting in the highlands to promote agrotourism. However, the basic information on Sakura cultivation in Thailand was limited. The objective of this research was to study the fertilizer rates and watering on the growth and physiological changes of cherry blossoms. The experimental design was factorial in CRD with 4x3 factorial treatments, 5 replications using one year old of plant as plant material. First factor 1 was, four watering frequency i.e., 1) every day 2) every 2 days 3) every 4 days and 4) once a week. Each plant was supplied with 1 liter of water per time. Second factor was three fertilization rates i.e.,1) no fertilizer 2) 5 g of 15-15-15 ($N$-$P_2O$-$K_2O$) /pot and 3) 10 g of 15-15-15 ($N$-$P_2O$-$K_2O$) /pot. Plant height (cm), number of branches per plant, branch length (cm), photosynthetic rate (μmol $m^{-2}s^{-1}$), stomatal conductance (mol $m^{-2}s^{-1}$), and transpiration rate (mmol $m^{-2}s^{-1}$) were measured. The results showed that in 4 months after starting treatment, fertilizer rates and watering frequency did not affect growth of Sakura in terms of plant height, number of branches per plant and branch length and there was no interaction between factors. In case of physiological changes, the result found that watering once a week gave the highest of transpiration rate at 1.99 mmol $m^{-2}s^{-1}$. In addition, interaction between factors was found on stomatal conductance and transpiration rates.

**Keywords:** Sakura, fertilizer rates, watering

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: ซากุระ (*Prunus serrulata*) เป็นไม้ยืนต้นที่มีความสำคัญในประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันประเทศไทยมีการนำเข้าต้นซากุระจากต่างประเทศมาปลูกในพื้นที่สูงเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตร อย่างไรก็ตามข้อมูลเกี่ยวกับการปลูกซากุระในประเทศไทยยังมีจำกัด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการให้ปุ๋ย และการให้น้ำที่เหมาะสมต่อการเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของต้นซากุระ วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลในสุ่มสมบูรณ์ขนาด 4x3 กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ ประกอบด้วยปัจจัยที่ 1 คือ ความถี่การให้น้ำ จำนวน 4 แบบ ได้แก่ 1) ให้น้ำทุกวัน 2) ให้น้ำทุก 2 วัน 3) ให้น้ำทุก 4 วัน และ 4) ให้น้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยให้พืชได้รับน้ำ 1 ลิตรต่อครั้งต่อต้น และ ปัจจัยที่ 2 คือ อัตราการให้ปุ๋ย จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย 2) ใส่ปุ๋ย 15-15-15 (N-$P_2O$-$K_2O$) อัตรา 5 กรัม/กระถาง และ 3) ใส่ปุ๋ย 15-15-15 (N-$P_2O$-$K_2O$) อัตรา 10 กรัม/กระถาง บันทึกข้อมูล ด้านความสูงของต้น (เซนติเมตร) จำนวนกิ่งต่อต้น (กิ่ง) ความยาวกิ่ง (เซนติเมตร) อัตราการสังเคราะห์แสง (μmol $m^{-2}s^{-1}$) การเปิดปากใบ (mol $m^{-2}s^{-1}$) และการคายน้ำของพืช (mmol $m^{-2}s^{-1}$) ผลการทดลองพบว่า เดือนที่ 4 หลังให้กรรมวิธีทดลอง อัตราการให้ปุ๋ย และความถี่การให้น้ำ ไม่มีผลต่อการเติบโตของซากุระ ในด้านความสูงของต้น จำนวนกิ่งต่อต้น และความยาวกิ่ง นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยอีกด้วย ส่วนผลด้านการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาพบว่า การให้น้ำสัปดาห์ละครั้งมีผลต่อค่าเฉลี่ยการคายน้ำสูงสุดคือ 1.99 mmol $m^{-2}s^{-1}$ อย่างไรก็ตามพบว่าปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยมีผลต่อค่าเฉลี่ยของการเปิดปากใบ และการคายน้ำของพืช

**คำสำคัญ**: ซากุระ อัตราการให้ปุ๋ย การให้น้ำ

## คำนำ

ซากุระ (cherry blossom) หรือเป็นที่รู้จักกันในนาม Japanese cherry blossom เป็นไม้ยืนต้นที่มีความสำคัญในประเทศญี่ปุ่น โดยเป็นต้นไม้เก่าแก่ที่อยู่คู่กับวัฒนธรรมของประเทศญี่ปุ่น ถือได้ว่าเป็นตัวแทนของดอกไม้ญี่ปุ่นที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ ดอกซากุระมีความสวยงามมีสีชมพูเด่น เมื่อออกดอกจะออกดอกพร้อมกันทั้งต้น ทำให้เป็นไม้ดอกประดับสถานที่ต่างๆ สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในสวนสาธารณะของประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากความสวยงามนี้จึงได้รับความนิยมในการท่องเที่ยวเทศกาลซากุระในฤดูใบไม้ผลิ (Kuitert and Peterse, 1999)

ประเทศไทยมีการนำเข้าต้นซากุระจากต่างประเทศ โดยปลูกในพื้นที่สูงเพื่อการท่องเที่ยว เนื่องจากพื้นที่สูงทางภาคเหนือมีสภาพอากาศหนาวเย็นเพียงพอสำหรับการปลูกพืชเขตหนาวบางชนิดได้ นอกจากนี้บางพื้นที่ยังสามารถปลูกพืชในตระกูลใกล้เคียงกับซากุระได้ ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการปลูกซากุระบนพื้นที่สูงในประเทศไทย นอกจากการปลูกบนพื้นที่สูงแล้ว หากสามารถปลูกเลี้ยงซากุระในโรงเรือนที่ควบคุมสภาพแวดล้อมอาจเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการผลิตซากุระกระถางจำหน่ายได้อีกทางหนึ่ง แต่เนื่องจากยังขาดข้อมูลพื้นฐานด้านการปลูกเลี้ยงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดนี้ จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของซากุระ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาเกี่ยวกับการให้น้ำและอัตราปุ๋ยเบื้องต้น เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช Inoti and Cherop (2022) ทดลองการให้น้ำในต้นกล้า *Prunus africana* ในประเทศเคนยา โดยแบ่งความถี่การให้น้ำออกเป็น 4 กรรมวิธีได้แก่ 1) ให้น้ำ 2 ครั้ง/1วัน 2) ให้น้ำ 1 ครั้ง/1วัน 3) ให้น้ำ 1 ครั้ง/2วัน และ 4) 1 ครั้ง/4วัน ผลการทดลองพบว่า การให้น้ำ 2 ครั้ง/1วัน ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตดีที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการให้น้ำ 1 ครั้ง/2วัน เนื่องจากมีค่าการอัตราการรอดชีวิตไม่แตกต่างกัน ซึ่งการให้น้ำ 1 รอบ/2 วัน ในการใช้งานสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า สอดคล้องกับรายงานของ Banon *et al*. (2004) พบว่าในพืชที่ไม่ได้รับน้ำเพียงพอส่งผลให้การเจริญเติบโตของรากและส่วนเหนือดินลดลง ในทางกลับกัน Ky-Dembele *et al*. (2010) กล่าวว่า พืชที่ได้รับน้ำเพียงพอ

ต่อความต้องการส่งเสริมการเจริญเติบโตทางชีวมวลของใบ ราก และพื้นที่ใบ (Rutkowski and Lysiak (2023) รายงานว่าการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในต้นเชอร์รีอายุ 2 ปี จำนวน 3 ระดับคือ 0 60 และ 120 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ พบว่า การให้ปุ๋ยที่ระดับ 60 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นเชอร์รี เช่นเดียวกับการทดลองของ Asma (2007) ศึกษาการอัตราการให้ปุ๋ยในต้น Apricot cv. Hacihaliloglu อายุ 15 ปี พบว่า อัตราการให้ปุ๋ยที่ ไนโตรเจน (N)-96 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ฟอสฟอรัส ($P_2O_5$)-64 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โพแทสเซียม ($K_2O$)-256 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้การเติบโต ผลผลิตและผลมีคุณภาพที่ดี

ปัจจุบันไม่มีรายงานการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการเติบโตของซากุระที่ปลูกในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการให้ปุ๋ยและการให้น้ำที่เหมาะสมต่อการเติบโตของต้นซากุระ ผลการวิจัยนี้จะได้ข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นที่เป็นประโยชน์ต่อการปลูกซากุระในสภาพแวดล้อมในประเทศต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองปัจจัยการให้น้ำและการให้ปุ๋ยต่อการเติบโตของต้นซากุระ เริ่มการทดลองเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2564 ที่ศูนย์บริการพัฒนาขยายพันธุ์ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ.หางดง จ.เชียงใหม่

คัดเลือกต้นซากุระที่ได้จากกิ่งชำอายุ 1 ปี นำต้นซากุระมาปลูกลงกระถางพลาสติกขนาด 10 นิ้ว ความจุกระถาง 4.8 ลิตร บรรจุวัสดุน้ำหนักเฉลี่ย 3.98 กิโลกรัม มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 5.3 โดยใช้วัสดุผสม ได้แก่ ดิน : ถ่านแกลบ : ทราย : ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ ในอัตราส่วน 2 : 1 : 1 : 2 : 2 โดยปริมาตร ภายใต้โรงเรือนพลาสติกพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มแสงเฉลี่ย 240.46 มิลลิโมลต่อลิตรต่อวินาที ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 71 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิเฉลี่ย 29.5 องศาเซลเซียส ทดลองเป็นเวลา 4 เดือน โดยทำการศึกษาปัจจัยจำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่

ปัจจัยที่ 1 คือความถี่การให้น้ำ จำนวน 4 แบบ ได้แก่ 1) ให้น้ำทุกวัน 2) ให้น้ำทุก 2 วัน 3) ให้น้ำทุก 4 วัน และ 4) ให้น้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยทำการรดน้ำในกระถางปริมาตร 1 ลิตรต่อต้นต่อครั้ง

ปัจจัยที่ 2 คือ อัตราการให้ปุ๋ย จำนวน 3 แบบ ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย 2) ใส่ปุ๋ย 5 กรัม/กระถาง และ 3) ใส่ปุ๋ย 10 กรัม/กระถาง ใช้ปุ๋ยสูตรเสมออัตรา 15-15-15 ($N:P_2O_5:K_2O$) ทุก 30 วัน เริ่มใส่ครั้งแรกของวันที่เริ่มทำการทดลองร่วมกับการให้น้ำ

วางแผนการทดลองแบบแฟตทอเรียลในสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4x3 กรรมวิธีๆ ละ 5 ซ้ำ (ต้น) จำนวน 12 กรรมวิธี

บันทึกข้อมูลการเติบโตทุกเดือน ได้แก่ ความสูงของต้น (วัดจากโคนต้นถึงปลายยอดที่สูงที่สุด) ความยาวกิ่ง (วัดกิ่งแรกตำแหน่งโคนต้น) และ จำนวนกิ่ง วัดค่าการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปากใบ การคายน้ำของพืช เมื่อเวลา 10.00 น. โดยสุ่มวัดใบจากกิ่งด้านบนต้นลำดับที่ 1-3 กิ่งของทุกกรรมวิธี ด้วยเครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสง (รุ่น LCpro-SD Portable บริษัท ADC Bio Scientific) ใช้โปรแกรม IBM SPSS statistics version 26 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

## ผลการทดลอง

### การเติบโต

ผลของความถี่การให้น้ำต่อการเติบโตของต้นซากุระในด้านความสูงต้น ความยาวกิ่ง และจำนวนกิ่ง พบว่า เดือนที่ 4 ปัจจัยด้านการให้น้ำทุกกรรมวิธีไม่มีผลต่อความสูงของต้น ความยาวกิ่ง และจำนวนกิ่ง โดยมีค่าเฉลี่ยของความสูงต้นอยู่ในช่วง 103.83-123.31 เซนติเมตร ความยาวกิ่งอยู่ในช่วง 31.53-37.57 เซนติเมตร และจำนวนกิ่งอยู่ในช่วง 6-8 กิ่ง (Table 1) ส่วนปัจจัยอัตราปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของต้นซากุระพบว่า อัตราการให้ปุ๋ยไม่มีผลต่อความสูงต้น ความยาวกิ่ง และจำนวนกิ่ง โดยมีค่าเฉลี่ยของความสูงต้นอยู่ในช่วง 108.63-119.68 เซนติเมตร ความยาวกิ่งอยู่ในช่วง 30.20-36.97 เซนติเมตร และจำนวนกิ่งอยู่ในช่วง 6-7 กิ่ง (Table 2)

ผลวิเคราะห์ทางสถิติผลของวิธีการให้น้ำต่อการเติบโตของต้นซากุระในด้านความสูงต้นพบว่าการให้น้ำทุกกรรมวิธีไม่มีผลต่อความสูงของต้น โดยมีค่าเฉลี่ยของความสูงต้นเริ่มต้นการทดลองอยู่ในช่วง 60-67.65 เซนติเมตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองกรรมวิธีการให้น้ำทุก 2 วัน มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยของความสูงที่ดีคือ 123.31 เซนติเมตร (Figure 1) ผลของอัตราการให้ปุ๋ยต่อการเติบโตของต้นซากุระในด้านความสูงต้น พบว่าทุกกรรมวิธีไม่มีผลต่อความสูงของต้น เริ่มต้นการทดลองมีค่าเฉลี่ยความสูงอยู่ในช่วง 63.06-67.09 เซนติเมตร สิ้นสุดการทดลองกรรมวิธีที่ให้ปุ๋ย 5 มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยความสูงต้นที่ดีคือ 119.68 เซนติเมตร (Figure 2)

จากการวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย วิธีการให้น้ำร่วมกับอัตราการให้ปุ๋ย พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความสูง ความยาวกิ่ง และจำนวนกิ่งของต้นซากุระ อย่างไรก็ตามในกรรมวิธีให้ปุ๋ย 5 และ 10 กรัม ร่วมกับการให้น้ำในแต่ละกรรมวิธีมีแนวโน้มที่ดีต่อความสูง ความยาวกิ่งและจำนวนกิ่ง (Table 3)

**อัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปากใบ และอัตราการคายน้ำ**

ผลของความถี่การให้น้ำต่ออัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปากใบและอัตราการคายน้ำของต้นซากุระ พบว่า ผลของปัจจัยด้านความถี่การให้น้ำต่ออัตราการสังเคราะห์แสงและการเปิดปากใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีผลต่ออัตราการคายน้ำของพืช โดยกรรมวิธีการให้น้ำสัปดาห์ละครั้งส่งผลให้มีอัตราการคายน้ำเฉลี่ย 1.99 mmol $m^{-2}s^{-1}$ แตกต่างกับกรรมวิธีการให้น้ำแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4)

ผลของอัตราปุ๋ยต่ออัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปากใบ การคายน้ำ ของต้นซากุระในเดือนที่ 4 พบว่า ปัจจัยอัตราการให้ปุ๋ยทุกกรรมวิธีไม่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปากใบ และอัตราการคายน้ำ โดยพบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงอยู่ในช่วง 2.64 -2.80 µmol $m^{-2}s^{-1}$ ส่วนค่าเฉลี่ยการเปิดปิดปากใบอยู่ในช่วง 0.06 - 0.08 mol $m^{-2}s^{-1}$และการคายน้ำ 1.44-1.80 mmol $m^{-2}s^{-1}$ (Table 5)

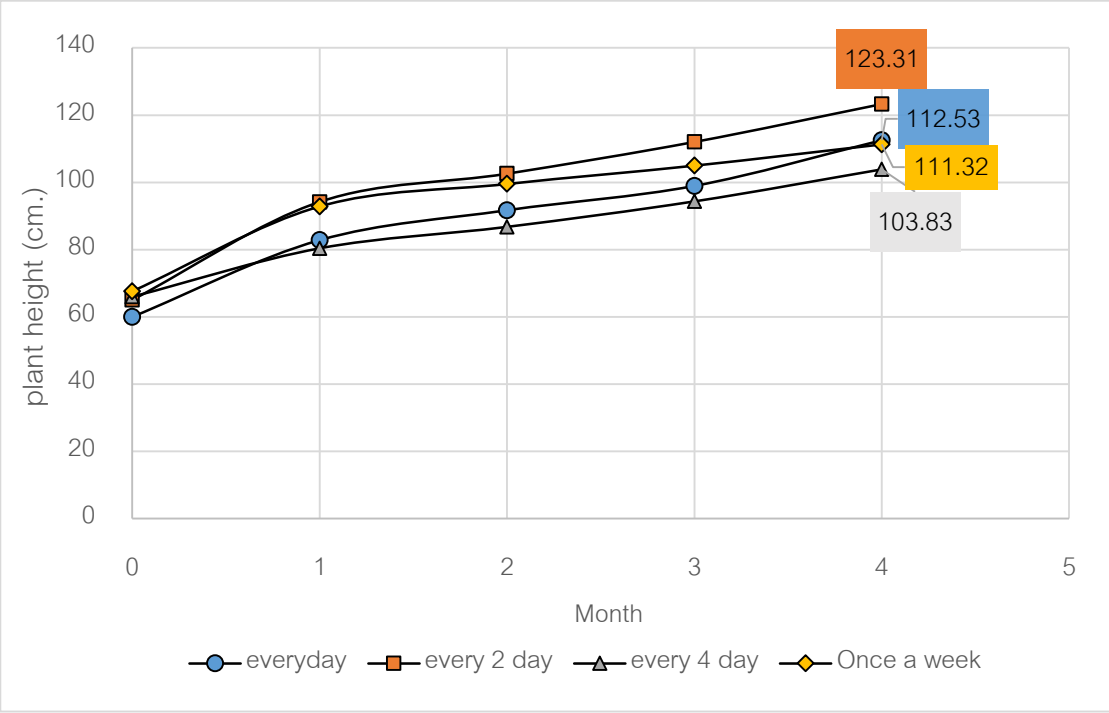



**Figure 1.** Effect of watering on height of plant at the beginning to the end of the experiment

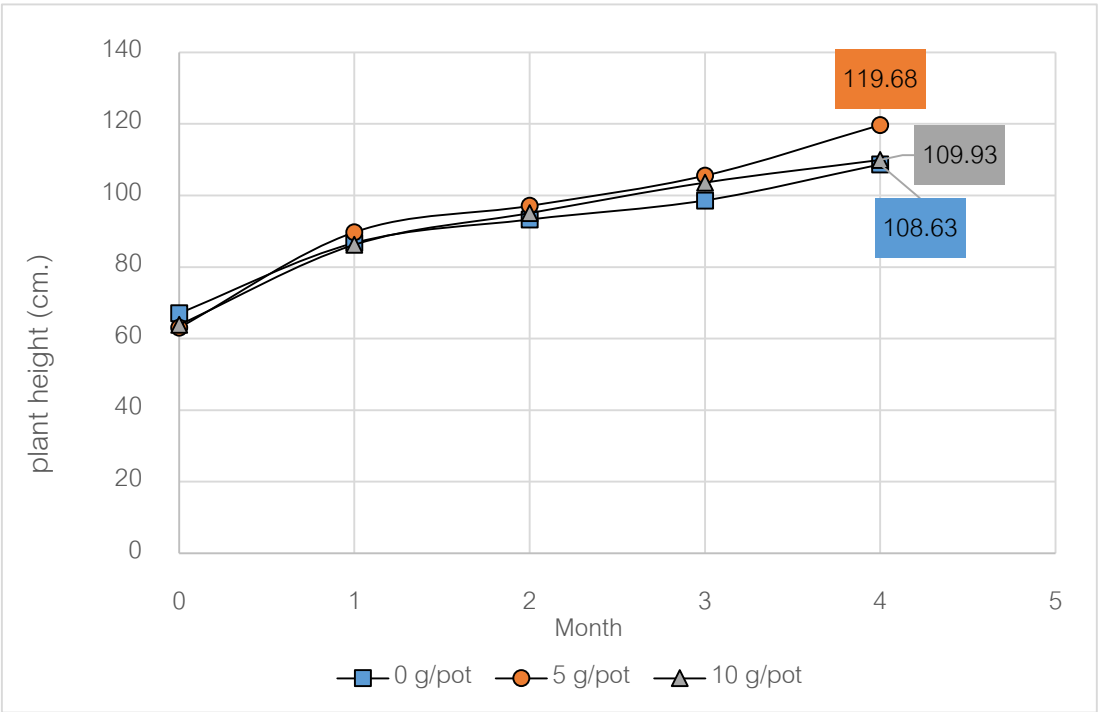



**Figure 2.** Effect of fertilizer on height of plant at the beginning to the end of the experiment

**Table 1.** Effect of watering on plant height, branch length and number of branches in 4 months after treatments

| Watering | Plant height (cm.) | Branch length (cm.) | Number of branches |
|---|---|---|---|
| Everyday | 112.53 | 34.57 | 6.80 |
| Every 2 days | 123.31 | 37.57 | 8.06 |
| Every 4 days | 103.83 | 31.53 | 6.00 |
| Once a week | 111.32 | 31.81 | 7.53 |
| $LSD_{0.05}$ | ns | ns | ns |

ns; not significantly different ($P > 0.05$)

**Table 2.** Effect of fertilizer rates on plant height, branch length and number of branches in 4 months after treatments

| Fertilizer rate | Plant height (cm.) | Branch length (cm.) | Number of branches |
|---|---|---|---|
| 0 g / pot | 108.63 | 30.20 | 6.75 |
| 5 g / pot | 119.68 | 34.43 | 7.85 |
| 10 g / pot | 109.93 | 36.97 | 6.70 |
| $LSD_{0.05}$ | ns | ns | ns |

ns; not significantly different ($P > 0.05$)

Table 3. Interaction of watering and fertilizer rates on plant height, branch length and number of branches in 4 months after treatments

| Watering | Fertilizer rate (g / pot) | Plant height (cm) | Branch length (cm) | Number of branches |
|---|---|---|---|---|
| Everyday | 0 g | 104.20 | 37.44 | 4.60 |
| | 5 g | 109.64 | 29.23 | 8.00 |
| | 10 g | 123.76 | 37.04 | 7.80 |
| Every 2 days | 0 g | 116.00 | 32.03 | 7.00 |
| | 5 g | 127.36 | 41.60 | 8.20 |
| | 10 g | 126.56 | 39.08 | 9.00 |
| Every 4 days | 0 g | 98.52 | 24.81 | 6.40 |
| | 5 g | 115.82 | 36.24 | 5.80 |
| | 10 g | 97.16 | 33.53 | 5.80 |
| Once a week | 0 g | 92.24 | 26.52 | 6.20 |
| | 5 g | 125.90 | 30.66 | 9.40 |
| | 10 g | 115.82 | 38.26 | 7.00 |
| $LSD_{0.05}$ | | ns | ns | ns |

ns; not significantly different ($P > 0.05$)

Table 4. Effect of watering on photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate in 4 months after treatments

| Watering | Photosynthetic rate ($\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$) | Stomatal conductance ($mol\ m^{-2}s^{-1}$) | Transpiration rate ($mmol\ m^{-2}s^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| Everyday | 2.48 | 0.07 | 1.29b |
| Every 2 days | 2.69 | 0.07 | 1.52b |
| Every 4 days | 2.61 | 0.06 | 1.53b |
| Once a week | 3.07 | 0.08 | 1.99a |
| $LSD_{0.05}$ | ns | ns | * |

Means in same column followed by the different letters are significantly different by LSD ($P < 0.05$, *)

ns; not significantly different ($P > 0.05$)

Table 5. Effect of fertilizer rates on photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate in 4 months after treatments

| Fertilizer rate | Photosynthetic rate ($\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$) | Stomatal conductance ($mol\ m^{-2}s^{-1}$) | Transpiration rate ($mmol\ m^{-2}s^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| 0 g / pot | 2.80 | 0.06 | 1.51 |
| 5 g / pot | 2.64 | 0.07 | 1.44 |
| 10 g / pot | 2.69 | 0.08 | 1.80 |
| $LSD_{0.05}$ | ns | ns | ns |

ns; not significantly different ($P > 0.05$)

สำหรับปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่ออัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปากใบ และ อัตราการคายน้ำ พบว่า ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยไม่มีผลอัตราการสังเคราะห์แสง โดยพบว่า ซากุระมีอัตราการสังเคราะห์แสงอยู่ในช่วง 2.16-3.39 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (Table 6) แต่การให้น้ำร่วมกับอัตราปุ๋ยส่งผลให้ค่าการเปิดปากใบและอัตราการคายน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในกรรมวิธีการให้น้ำทุกกรรมวิธีร่วมกับการไม่ได้รับปุ๋ยมีแนวโน้มทำให้พืชมีค่าการเปิดปากใบต่ำกว่ากรรมวิธีอื่น ส่วนผลของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัยต่ออัตราการคายน้ำพบว่า กรรมวิธีการให้น้ำสัปดาห์ละครั้งร่วมกับอัตราการให้ปุ๋ย 10 กรัม ส่งผลต่ออัตราการคายน้ำมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.53 mmol $m^{-2}s^{-1}$ แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีการให้สัปดาห์ละครั้งร่วมกับให้ปุ๋ย 5 กรัม กรรมวิธีการให้น้ำทุก 4 วัน ร่วมกับการให้ปุ๋ย 5 และ 10 กรัม (Table 6)

Table 6. Interaction of watering and fertilizer rates on photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rates in 4 months after treatments

| Watering | Fertilizer rate (g / pot) | Photosynthetic rate (μmol $m^{-2}s^{-1}$) | Stomatal conductance (mol $m^{-2}s^{-1}$) | Transpiration rate (mmol $m^{-2}s^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|
| Everyday | 0 g | 2.16 | 0.04c | 1.17c |
| | 5 g | 2.75 | 0.05bc | 1.48bc |
| | 10 g | 2.51 | 0.07bc | 1.21c |
| Every 2 days | 0 g | 2.72 | 0.04c | 1.12c |
| | 5 g | 2.82 | 0.07bc | 1.42bc |
| | 10 g | 2.52 | 0.11a | 2.01ab |
| Every 4 days | 0 g | 2.34 | 0.04c | 1.13c |
| | 5 g | 2.52 | 0.08ab | 1.38ab |
| | 10 g | 2.95 | 0.09ab | 2.09ab |
| Once a week | 0 g | 2.46 | 0.05bc | 1.43bc |
| | 5 g | 3.36 | 0.08ab | 2.31a |
| | 10 g | 3.39 | 0.10a | 2.53a |
| $LSD_{0.05}$ | | ns | * | * |

Means in same column followed by the different letters are significantly different by LSD ($P < 0.05$, *)

ns; not significantly different ($P > 0.05$)

## วิจารณ์

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า ปัจจัยด้านการให้น้ำไม่ส่งผลต่อการเติบโตของต้นซากุระทั้งด้านความสูงต้น จำนวนกิ่ง และ ความยาวกิ่ง ซึ่งเมื่อพืชได้รับการให้น้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ยังคงมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีชุดควบคุมที่ให้น้ำทุกวัน อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้พบว่า การให้น้ำส่งผลกระทบต่ออัตราการคายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีการให้น้ำสัปดาห์ละครั้งมีค่าเฉลี่ยการคายน้ำสูงสุดเท่ากับ 1.99 $mmolm^{-2}s^{-1}$ แตกต่างกับทุกกรรมวิธี ซึ่งผลดังกล่าวต่างจากงานทดลองของ Martínez-García *et al*. (2020) รายงานว่าการคัดเลือกต้นตอทนแล้งในแอปริคอตสายพันธุ์ Real Fino และพีชสายพันธุ์ Montclar โดยทำการทดลองในต้นกล้ากระถาง 3.5 ลิตร ดำเนินการให้น้ำ 3 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีควบคุม (ให้น้ำทุกวัน) ให้น้ำทุก 14 วัน และให้น้ำทุก 21 วัน การทดลองพบว่า ค่าการคายน้ำ การเปิดปิดปากใบ และการสังเคราะห์แสงในกรรมวิธีให้น้ำทุก 14 วัน และให้น้ำทุก 21 วัน มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการทดลองในแอปริคอตแสดงให้เห็นว่าต้นพืชเริ่มตอบสนองโดยการลดอัตราการคายน้ำ การเปิดปิดปากใบที่ระยะเวลาขาดน้ำที่ 14 วันเป็นต้นไป ในขณะที่การทดลองในซากุระมีระยะเวลาขาดน้ำเพียง 7 วัน พืชยังคงมีน้ำเพียงพอต่อการเจริญเติบโตไม่แสดงอาการที่ตอบสนองต่อการขาดน้ำ การศึกษาต่อไปอาจควรเพิ่มระยะเวลาในการทดลอง เพื่อหาระยะเวลาขาดน้ำที่พืชตอบสนองเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดการให้น้ำที่เหมาะสมต่อไป ซึ่ง Kaweeta *et al*. (2009) รายงานว่า โดยทั่วไปแล้วเมื่อพืชได้รับน้ำลดลงพืชมีการปรับตัวให้มีการสูญเสียน้ำออกจากพืชให้ได้น้อยที่สุด โดยการลดการเปิดปากใบ ทำให้มีค่าการคายน้ำและการสังเคราะห์แสงลดลง โดยปัจจัยที่ส่งเสริมการ-คายน้ำของพืช ได้แก่ ความเข้มข้นของไอน้ำบริเวณรอบใบพืช, แสงสว่างมาก, อุณหภูมิบรรยากาศสูง, อุณหภูมิกลางวันและกลางคืน ความชื้นในบรรยากาศน้อย (ความชื้นสัมพัทธ์), ความเร็วลม, ความชื้นของดิน (ดินแฉะ , ดินแห้ง,), ความกดอากาศต่ำ และชนิดของพืช

ผลของปัจจัยการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการเติบโต อัตราการสังเคราะห์แสง การเปิดปากใบ และ อัตราการคายน้ำของซากุระ โดยทั่วไปซากุระเป็นพืชที่มีความต้องการปุ๋ยน้อย เช่นเดียวกับรายงานของ Jiang *et al*. (2022) มีการให้ปุ๋ยต้นเชอร์รีผลิตดอก *Prunus conradinae* 'Luoshifener' เพียง 2 ครั้งต่อปี โดยให้ปุ๋ย (10N-4.4P-8.3K) ในช่วงหลังออกดอก (ฤดูใบไม้ผลิ ช่วงเดือน มีนาคม - พฤษภาคม) และให้ปุ๋ยละลายช้า (16N-7P-13.3K) ก่อนเข้าฤดูหนาว (ช่วงเดือนกันยายน - พฤศจิกายน) ก็เพียงพอต่อการเจริญเติบโตครบวงจรของต้นซากุระ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งการให้น้ำและอัตราการให้ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตในแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างกัน แต่การให้น้ำทุก 2 วัน และการให้ปุ๋ยที่ 5 กรัม (Figure 1 และ Figure 2) มีแนวโน้มอัตราการเติบโตที่ดี สอดคล้องกับการรายงานของ Shober *et al*. (2009) ทดลองการให้น้ำความถี่คือ ให้น้ำทุก 2, 4, และ 8 วัน รดน้ำ 3 ลิตรต่อครั้ง ในต้น sweet viburnum พบว่าสัปดาห์ที่ 12 - 22 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการอยู่รอดหรือคุณภาพความสวยงาม อย่างไรก็ตามต้นพืชที่ได้รับน้ำทุกๆ 2 วัน มีดัชนีการเจริญเติบโตของทรงพุ่มที่ 28 และ 104 สัปดาห์หลังปลูก มากกว่าการให้น้ำทุกๆ 4 หรือ 8 วัน สำหรับการศึกษาครั้งนี้หากมีระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้นอาจแสดงผลที่แตกต่างดังการทดลองที่กล่าวข้างต้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Scheiber *et al*. (2007) ซึ่งรายงานว่าต้น sweet viburnum ที่ปลูกในที่หลบฝนในแอพอพคา (Apopka) และมีการ-ให้น้ำทุกๆ 2 วัน โดยใช้น้ำ 9 ลิตรต่อการให้น้ำแต่ละครั้ง นั้นมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าพืชที่ให้น้ำทุกๆ 4 หรือ 7 วัน โดยใช้น้ำ 9 ลิตรต่อการให้น้ำแต่ละครั้ง

ส่วนผลของสรีรวิทยาด้านการคายน้ำ กรรมวิธีให้น้ำสัปดาห์ละครั้งมีค่าเฉลี่ยสูงสุด สอดคล้องกับ Scagel *et al*. (2011) รายงานว่าการให้ปุ๋ยไม่มีผลต่อการเปิดปากใบของกุหลาบพันธุ์ปี (Rhododendron) ค่าการเปิดปิดปากใบของพืชตอบสนองต่อการขาดน้ำมากกว่าการให้ปุ๋ยไนโตรเจน เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย การให้น้ำและอัตราการให้ปุ๋ย พบว่า มีผลต่ออัตราการเปิดปากใบและอัตราการคายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ การให้น้ำสัปดาห์ละครั้งร่วมกับการให้ปุ๋ยที่ 5 และ 10 กรัมต่อกระถาง ทำให้ค่าการเปิดปากใบและการคายน้ำมากกว่ากรรมวิธีอื่นที่ไม่ได้รับปุ๋ย ซึ่งต้นซากุระที่ไม่ได้รับปุ๋ยและมีการให้น้ำในอัตราที่ต่างกันมีแนวโน้มทำให้ค่าการเปิดปากใบและการคายน้ำต่ำกว่ากรรมวิธีที่ได้ปุ๋ย Pascual *et al*. (2013) ผลของการให้น้ำและปุ๋ยแอมโมเนียในพืชพบว่า การให้ปุ๋ยที่ 120 กิโลกรัม/ไร่ พืชมีการคายน้ำมากกว่า 60 กิโลกรัม/ไร่ ในสภาวะได้รับน้ำเพียง 30 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับอัตราการเปิดปิดปากใบเพิ่มขึ้นในกรรมวิธีที่ได้รับ ปุ๋ยที่ 120 กิโลกรัม/ไร่ มากกว่าปุ๋ย 60 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งธาตุไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช มีรายงานของ Shaw *et al*. (2002) พบว่า การให้ปุ๋ยไนโตรเจนมากขึ้นส่งเสริมการคายน้ำของพืช เนื่องจากไนเทรตควบคุมการแสดงออกของยีน *AtNRT1.1(CHL1)* ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งไนเทรตภายในพืชซึ่งมีอิทธิพลต่อการเปิดปากใบ ทั้งนี้ Zhang *et al*. (2017) รายงานว่าในข้าวสาลีพบว่า การให้ปุ๋ยเพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้น พืชมีอัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้นและมีแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นพลังงานใช้ในการเจริญเติบโตของพืช การให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช โดยส่งเสริมการพัฒนาของใบและราก เพิ่มการสังเคราะห์แสงของใบ และการผลิตทางชีวมวลเพิ่มขึ้น (Hatfield *et al*., 2001; Wang *et al*., 2018) นอกจากนี้ปุ๋ยที่ให้ในซากุระมีธาตุโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบซึ่งโพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีบทบาทในการเปิดปิดปากใบของพืช เมื่อพืชได้รับ ($K^+$) มากขึ้นส่งเสริมให้มีการเปิดปากใบมากขึ้นเช่นเดียวกัน (Sruamsiri, 2011) ในพืชที่ไม่ได้รับ ($K^+$) ส่งผลมีค่าการเปิดปากใบลดลงในข้าวสาลี ถั่วลันเตา และมะกอก (Benlloch-González *et al*. 2008; Brag, 1972) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ดังที่Kaweeta *et al*. (2009) ได้กล่าวรายงานไว้ข้างต้น

## สรุป

ความถี่การให้น้ำและอัตราการให้ปุ๋ยในต้นซากุระอายุ 1 ปี ไม่มีผลต่อการเติบโตในด้านความสูงต้น จำนวนกิ่ง และความยาวกิ่งซึ่งในกรรมวิธีที่ให้น้ำทุก 2 วัน และการให้ปุ๋ย 5 กรัม มีแนวโน้มการเติบโตด้านความสูง ความยาวกิ่งและจำนวนกิ่งที่ดี อย่างไรก็ตามการให้น้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ส่งให้ซากุระมีการคายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย มีผลต่อการเปิดปากใบและการคายน้ำของพืช แต่ไม่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง ดังนั้นควรมีการเพิ่มระยะเวลาศึกษาเกี่ยวกับการให้น้ำร่วมกับการให้ปุ๋ยเพื่อบันทึกข้อมูลการตอบสนองในแต่ละระยะการเติบโตของต้นซากุระเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปลูกซากุระในประเทศไทยต่อไป

## เอกสารอ้างอิง


Asma, B.M., S. Colak, Y. Akca and C. Genc. 2007. Effect of fertilizer rate on the growth, yield and fruit characteristics of dried apricot (cv. Hacihaliloglu). Asian Journal of Plant Sciences 6(2): 294 - 297.

Banon, S., J.A. Fernandez, J.A Franco, A. Torrecillas, J.J. Alarcón and M.J. Sánchez-Blanco. 2004. Effects of water stress and night temperature preconditioning on water relations and morphological and anatomical changes of *Lotus creticus* plants. Scientia Horticulturae 101(3): 333-342.

Benlloch-González, M., O. Arquero, J.M. Fournier, D. Barranco and M. Benlloch. 2008. $K^+$ starvation inhibits water stress induced stomatal closure. Journal of plant physiology 165(6): 623-630.

Brag, H. 1972. The Influence of Potassium on the Transpiration Rate and Stomatal Opening in *Triticum aestivum* and *Pisum sativum*. Physiologia Plantarum 26(2): 250-257.

Hatfield, J.L., T.J. Sauer and J.H. Prueger. 2001. Managing soils to achieve greater water

use efficiency: a review. Agronomy Journal. 93(2): 271-280.

Inoti, S.K. and D. Cherop. 2022. Appropriate watering interval for *Prunus africana* nursery seedlings in Egerton University, Njoro, Kenya. International Journal of Science and Research Update 3(01): 034-039.

Jiang, D., X. Shen and B. Shen. 2022. *Prunus conradinae* ' Luoshifener' , a Flowering Cherry Cultivar with a Strong Aroma. HortScience 57(11): 1473-1474.

Kaweeta, L., M. Na-Nakhon, S. Suwanwong and S. Tantiwiwat. 2009. Plant Physiology. 2nd ed. Kasetsart University, Bangkok. 261 p. (in Thai)

Kuitert, W. and A.H. Peterse. 1999. Japanese Flowering Cherries. Timber Press, Portland, Oregon. 436 p.

Ky-Dembele, C., J. Bayala, P. Savadogo, M. Tigabu, P.C. Odén, I.J. Boussim, B. Ky-Dembele, C. Bayala, P. Tiguba and P.C Boussim. 2010. Comparison of growth responses of *Khaya senegalensis* seedlings and stecklings to four irrigation regimes. Silva Fennica 44(5): 787-798.

Wang, L.L., J.A. Palta, W. Chen, Y.L. Chen and X.P. Deng. 2018. Nitrogen fertilization improved water-use efficiency of winter wheat through increasing water use during vegetative rather than grain filling. Agricultural Water Management 197: 41-53.

Martínez-García, P.J., J. Hartung, F. Pérez de los Cobos, P. Martinez-Garcia, S. Jalili, J.M. Sanchez-Roldan, M. Rubio, F. Dicenta and P. Martinez-Gomez. 2020. Temporal response to drought stress in several prunus rootstocks and wild species. Agronomy 10(9): 1383, doi.org/10.3390/agronomy10091383.

Pascual, M., J. Lordan, J.M. Villar, F. Fonseca and J. Rufat. 2013. Stable carbon and nitrogen isotope ratios as indicators of water status and nitrogen effects on peach trees. Scientia Horticulturae 157(7): 99-107.

Rutkowski, K. and G.P. Lysiak. 2023. Effect of nitrogen fertilization on tree growth and nutrient content in soil and cherry leaves (*Prunus cerasus* L.). Agriculture 13(3): 578, doi: 10.3390/agriculture13030578.

Scagel, C.F., G. Bi, L.H. Fuchigami and R.P. Regan. 2011. Effects of irrigation frequency and nitrogen fertilizer rate on water stress, nitrogen uptake, and plant growth of container-grown rhododendron. Hort Science 46(12): 1598-1603.

Scheiber, S.M., E.F. Gilman, M. Paz, and K.A. Moore. 2007. Irrigation affects landscape establishment of Burford holly, pittosporum, and sweet viburnum. HortScience 42(2): 344-348.

Shaw, B., T.H. Thomas and D.T. Cooke. 2002. Responses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to drought and nutrient deficiency stress. Plant Growth Regulation 37: 77-83.

Shober, A.L., K.A. Moore, C. Wiese, S.M. Scheiber, E.F. Gilman, M. Paz and S. Vyapari. 2009. Posttransplant irrigation frequency affects growth of container-grown sweet viburnum in three hardiness zones. HortScience 44(6): 1683-1687.

Sruamsiri, P. 2011. Mineral Nutrient for horticulture crop production. Wanida Karnpim, Chiang Mai. 326 p. (in Thai)

Zhang, Y.Q., J.D. Wang, S.H. Gong, D. Xu and J. Sui. 2017. Nitrogen fertigation effect on photosynthesis, grain yield and water use efficiency of winter wheat. Agric Water Manage 179: 277-287.

# อัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 บนพื้นที่สูง จังหวัดเชียงใหม่

# Appropriate Fertilizer Rate for Strawberry cv. Pharatchatan 80 Production on Highland, Chiang Mai Province

**สุรีย์พร วงษ์พูล ฟ้าไพลิน ไชยวรรณ พิมพ์ใจ สีหะนาม และ ชูชาติ สันธทรัพย์***

Sureeporn Wongpoon, Fapailin Chaiwan, Pimjai Seehanam and Choochad Santasup*

*ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*

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

**Corresponding author: santasup@gmail.com*

*(Received: 20 January 2023; Accepted: 2 November 2023)*

**Abstract:** This study aimed to determine the appropriate fertilizer rate for strawberry cv. Pharatchatan 80 grown in highland areas. The experiment was conducted in a strawberry field at Fang district, Chiang Mai province. The experimental design was a randomized complete block design with four replications and four fertilizer managements. The fertilizer rates were estimated by 1) recommended fertilizer rate for strawberry cultivation; (F-RS, N=68.48 $P_2O_5$=185.09 and $K_2O$=120.57 kg/rai) 2) primary nutrients requirements (F-NR, N=25.02 $P_2O_5$=8.25 and $K_2O$=41.89 kg/rai) 3) site-specific nutrient management; SSNM (N=25.02 kg/rai) and no fertilizer application as the control treatment. The results showed that all fertilizer application treatments were not significantly different in plant growth (plant height and canopy width) and nutrient concentration in the shoot, yield, and fruit quality (fruit weight, titratable acidity (TA), total soluble solid (TSS), ascorbic acid). However, fertilization by treatment 3 (SSNM) gave the highest average yield of 3,015.90 kg/rai, fruit weight 8.53 g/fruit, titratable acidity (TA) 1.14%, total soluble solid (TSS) 11.49 °Brix and ascorbic acid content 1.72 mg/100 g. This study's results suggested growing strawberries in soil containing a high level of available phosphorous (329 mg/kg) and exchangeable potassium (574 mg/kg) which both nutrients were sufficient for the strawberry's requirement. Therefore, nitrogen fertilization at 25.02 kg/rai was a reasonable rate for highland strawberry cv. Pharatchatan 80 cultivation.

**Keywords:** Appropriate fertilizer rate, strawberry cv. Pharatchatan 80

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ในการประเมินอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสตรอว์เบอร์รี พันธุ์พระราชทาน 80 บนพื้นที่สูง การทดลองได้ดำเนินการในพื้นที่ปลูกสตรอว์เบอร์รี อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ภายในบล็อก จำนวน 4 ซ้ำ และมีกรรมวิธีการจัดการปุ๋ย 4 กรรมวิธี ซึ่งประกอบไปด้วย 1) ใส่ปุ๋ยในอัตราแนะนำที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติในพื้นที่ (F-RS; N=68.48 $P_2O_5$=185.09 และ $K_2O$=120.57 กก./ไร่) 2) ใส่ปุ๋ยตามความต้องการธาตุอาหารหลักของสตรอว์เบอร์รี (F-NR; N=25.02 $P_2O_5$=8.25 และ$K_2O$=41.89 กก./ไร่) 3) ใส่ปุ๋ยแบบเจาะจงเฉพาะพื้นที่ (SSNM; N=25.02 กก./ไร่) และ 4) ไม่ใส่ปุ๋ยเป็นกรรมวิธีควบคุม (control) ผลการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยกรรมวิธี 1-3 ไม่ทำให้การเจริญเติบโต (ความสูงและความกว้างทรงพุ่ม) ความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในส่วนเหนือดิน ปริมาณผลผลิต และคุณภาพผลผลิตของสตรอว์เบอร์รี (น้ำหนักผลสด, กรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA), ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดแอสคอร์บิก) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSNM)ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 3,015.90 กก./ไร่, น้ำหนักผลสด 8.53 กรัม, ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ 1.14%, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 11.49 °Brix และปริมาณกรดแอสคอร์บิก 1.72 มก./100 ก. ข้อมูลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การปลูกสตรอว์เบอร์รี ในดินที่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (329 มก./กก.) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (574 มก./กก.) ในระดับสูง ธาตุอาหารทั้งสองมีปริมาณเพียงพอสำหรับความต้องการของสตรอว์เบอร์รี การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 25.02 กก./ไร่ เป็นอัตราที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสตรอว์เบอร์รี พันธุ์พระราชทาน 80 บนพื้นที่สูง

**คำสำคัญ**: อัตราปุ๋ยที่เหมาะสม สตรอว์เบอร์รี พันธุ์พระราชทาน 80

## บทนำ

สตรอว์เบอร์รี (*Fragaria* x *annanasa* Dutch) เป็นไม้ผลขนาดเล็กอยู่ในวงศ์ Rosaceae ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องมาจากเอกลักษณ์สำคัญของสตรอว์เบอร์รี คือ ความหอม (Hancock *et al*., 2008) ในประเทศไทยพันธุ์สตรอว์เบอร์รีที่ได้รับความนิยมในการเพาะปลูกและบริโภค คือพันธุ์พระราชทาน 80 เนื่องจากให้ผลขนาดใหญ่รสชาติดีหวานและมีกลิ่นหอม ซึ่งรสชาติเป็นปัจจัยบ่งบอกคุณภาพของสตรอว์เบอร์รี สามารถประเมินได้จาก อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA) โดยสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 มีอัตราส่วนระหว่าง TSS/TA เท่ากับ 8.39 (Sirijan *et al*., 2018) ทำให้สตรอว์เบอร์รีมีรสชาติอมเปรี้ยวอมหวาน ปัจจุบันพื้นที่ปลูกสตอร์เบอร์รีส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่สูงในจังหวัดเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2562 ทั้งประเทศมีพื้นที่ปลูกสตรอว์เบอร์รีรวมประมาณ 903 ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 3,140 กก./ไร่ (Department of Agricultural Extension, 2020) อย่างไรก็ตาม ความต้องการสตรอว์เบอร์รีมีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีการส่งเสริมการปลูกสตรอว์เบอร์รีบนพื้นที่สูง ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศเหมาะสม เพื่อให้ได้ปริมาณและคุณภาพผลผลิตตามมาตรฐาน

สตรอว์เบอร์รีเป็นพืชที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและต้องการธาตุอาหารที่เพียงพอสำหรับสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโตจนให้ผลผลิต (Li *et al*., 2010) ซึ่งธาตุอาหารที่ต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (primary macronutrients) (Roy *et al*., 2006) จากการศึกษา Santos and Chandler (2009) พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในช่วงอัตรา 12-21.6 กก./ไร่ ส่งผลให้น้ำหนักผลผลิตของสตรอว์เบอร์รีพันธุ์ Festival เพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น และยังพบอีกว่าการตอบสนองของสตรอว์เบอร์รีสายพันธุ์ต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับช่วงอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสม สอดคล้องกับ Agehara (2021) พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่เหมาะสมในช่วงต้นฤดูสามารถเพิ่มผลผลิตได้ ไม่เพียงแต่ในช่วงต้นฤดูแต่ยังเพิ่มผลผลิตถึงปลายฤดูปลูกด้วย ซึ่งการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในช่วงต้นฤดูอัตรา 0.25

กก./ไร่/วัน (26.83 กก./ไร่/ฤดู) สามารถให้ผลผลิตในปริมาณสูงสุดได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลผลิต และนอกจากนี้ปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่เหมาะสมยังมีอิทธิพลต่อคุณภาพผลผลิต ได้แก่ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA), ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และสีผลของสตรอว์เบอร์รีอีกด้วย (Lazaro Rodas *et al.*, 2013) ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช โดยฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ซึ่งส่งผลต่อรสชาติของสตรอว์-เบอร์รี (Cao *et al.*, 2015) และโพแทสเซียม มีผลอย่างมากต่อคุณภาพของผลผลิต เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และกรดแอสคอร์บิก และยังช่วยส่งเสริมรสชาติ สี และความแน่นของเนื้อผลให้ดีขึ้น (Pettigrew, 2008) ซึ่งจากการศึกษา Rezowana *et al*. (2018) พบว่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวก โดยปริมาณฟอสฟอรัส 8 กก./ไร่ และโพแทสเซียม 16 กก./ไร่ เหมาะสมต่อการผลิตสตรอว์เบอร์รี

จากการสัมภาษณ์เกษตรผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รีในสถานีเกษตรหลวงอ่างขางพบว่า เกษตรกรแต่ละรายมีการให้ปุ๋ยกับสตรอว์เบอร์รีในแต่ละระยะที่แตกต่างกัน เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ปุ๋ยในปริมาณมากและขาดความรู้ด้านการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยลดลงและมีต้นทุนปุ๋ยสูง สอดคล้องกับรายงานของ Santasup *et al.* (2018) ที่พบว่า เกษตรกรผู้ปลูกสตรอว์เบอรีบนพื้นที่สูงใช้ปุ๋ยในปริมาณที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปเกษตรกรใช้ปุ๋ยเกรด 15-15-15 อัตรา 29.84 กก./ไร่ 12-24-12 อัตรา 100 กก./ไร่ และ 13-13-21 อัตรา 400 กก./ไร่ ซึ่งคิดเป็นธาตุอาหารไนโตรเจน 68.48 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส 185.09 กก.$P_2O_5$/ไร่ และโพแทสเซียม 120.57 กก.$K_2O$/ไร่ ถึงแม้มีคำแนะนำในการใส่ปุ๋ยในแต่ละระยะ เช่น ระยะเจริญเติบโตทางลำต้น ใส่ปุ๋ยเกรด 12-24-12 อัตรา 10-12 ก./ต้น 1 ครั้ง, ระยะพัฒนาดอก ใส่ปุ๋ยเกรด 12-6-18 อัตรา 10-12 ก./ต้น 2 ครั้ง และระยะพัฒนาผล ใส่ปุ๋ยเกรด 12-6-18 อัตรา 12-18 ก./ต้น 2 สัปดาห์/ครั้ง ตลอดจนถึงระยะเก็บเกี่ยว (Maitrawattana, 2014) แต่การนำไปปฏิบัติอย่างถูกต้องของเกษตรกรยังมีน้อย

การจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมโดยใช้หลักการจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่ (site-specific nutrient management; SSNM) เพื่อเป็นแนวทางในการจัดสรรธาตุอาหารให้ตรงตามความต้องการของพืชให้เหมาะสำหรับเฉพาะพื้นที่และช่วงเวลานั้น ๆ อย่างเหมาะสมที่สุด โดยการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่สามารถแก้ไขปัญหาการใส่ปุ๋ยในปริมาณมากหรือน้อย (Verma *et al.*, 2020) โดยต้องพิจารณาปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการและปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน จากการศึกษาของ Lieten and Misotten (1993) พบว่าสตรอว์เบอร์รีมีความต้องการธาตุอาหารไนโตรเจน 20 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส 6.40 กก.$P_2O_5$/ไร่ และ โพแทสเซียม 30.40 กก.$K_2O$/ไร่ (ผลผลิต 9.51 ตัน/ไร่) ซึ่งข้อมูลดังกล่าว สามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมให้แก่สตรอว์เบอร์รีได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาความต้องการธาตุอาหารและการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับสตอร์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 ที่ปลูกบนพื้นที่สูง ยังมีข้อมูลจำกัด ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอัตราการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสตรอว์เบอร์รี พันธุ์พระราชทาน 80 บนพื้นที่สูงจังหวัดเชียงใหม่ เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ และลดต้นทุนการผลิต

## อุปกรณ์และวิธีการ

**วิธีการศึกษา**: การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการทดลองในพื้นที่แปลงปลูกสตรอว์เบอร์รีของเกษตรกรบ้านขอบด้ง ต.แม่งอน อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ (พิกัดทางภูมิศาสตร์: ละติจูด 19.92 °N และ ลองติจูด 99.05 °E สูงจากระดับน้ำทะเล 1,490 เมตร) ระหว่างเดือนกันยายน 2561 ถึงมีนาคม 2562 พื้นที่การทดลองจัดอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 62 ชุดดินพื้นที่ลาดชั้นเชิงซ้อน (SC; slop complex) (Land Development Department, 2012) และสมบัติดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินเหนียว (34% sand, 23% silt และ 43% clay) ความเป็นกรด-ด่างของดิน 6.78, ค่าการนำไฟฟ้า 31.90 ไมโครซีเมนต์/ซม., ปริมาณอินทรียวัตถุ 6.78%, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 329 มก./กก. และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยน

ได้ 574 มก./กก. สตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 ถูกปลูกในแปลงทดลอง โดยยกร่องปลูก สูงจากหน้าดิน 0.30 ม. ฐานแปลงมีขนาดกว้าง 0.80 ม. และมีระยะห่างระหว่างแปลง 0.30 ม. ปลูกสตรอว์เบอร์รี 2 แถวคู่ โดยมีระยะปลูก 30 X 25 ซม. (จำนวน 9,696 ต้น/ไร่) และใช้ใบตองตึงและฟางข้าวเป็นวัสดุคลุมแปลง เพื่อรักษาความชื้นในดิน และก่อนปลูกสตรอว์เบอร์รี มีการปรับปรุงดินโดยการใส่ปุ๋ยมูลไก่ (N=2.31%, $P_2O_5$=3.13% และ $K_2O$=2.85) อัตรา 400 กก./ไร่ รองพื้นทุกกรรมวิธีทดลอง สำหรับการให้น้ำสตอรว์เบอร์รี เป็นการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด ซึ่งวางระบบการให้น้ำแยกกันทั้ง 4 กรรมวิธี เพื่อรองรับการให้ปุ๋ยในระบบน้ำ โดยวางเทปน้ำหยด (ระยะหัวจ่ายน้ำห่างกัน 20 เซนติเมตร, อัตราการไหล 2 ลิตร/ชั่วโมง) ตามแนวแถวต้นสตรอว์เบอร์รี 1 เส้นน้ำ ต่อ 1 แถวสตรอว์เบอร์รี ให้น้ำสตรอว์เบอร์รีทุกวัน ในช่วงเวลา 8.00 - 9.00 น. เป็นเวลาประมาณ 35 นาที

การวางแผนการทดลองเป็นแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design; RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ และมีกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 4 กรรมวิธี ดังนี้ 1) ใส่ปุ๋ยตามที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมปฏิบัติในการปลูกสตรอว์เบอร์รี (recommended fertilizer rate for strawberry cultivation, F-RS) (N=68.48, $P_2O_5$=185.09 และ $K_2O$=120.57 กก./ไร่) 2) ใส่ปุ๋ยในอัตราที่ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารหลักของสตรอว์เบอร์รี (primary nutrients requirements, F-NR) (N=25.02, $P_2O_5$=8.25 และ $K_2O$=41.89 กก./ไร่) 3) ใส่ปุ๋ยโดยประเมินอัตราการปุ๋ยจากความต้องการธาตุอาหารหลักของสตรอว์เบอร์รีและปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน หรือแบบเจาะจงเฉพาะพื้นที่ (site-specific nutrient management, SSNM) (N=25.02 กก./ไร่) และ 4) ไม่ใส่ปุ๋ยเป็นกรรมวิธีควบคุม (control) การใส่ปุ๋ยแบ่งใส่ทั้งหมด 12 ครั้ง ตลอดระยะเวลาการปลูก เริ่มใส่ครั้งแรกเมื่อสตรอว์เบอร์รีอายุ 15 วันหลังปลูกและครั้งสุดท้ายเมื่อสตรอว์เบอร์รีอายุ 180 วันหลังปลูก โดยใส่ปุ๋ยทุก ๆ 15 วัน วิธีการใส่ปุ๋ยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ 1) ในระยะพัฒนาทางลำต้นและใบ (15 และ 30 วันหลังปลูก) ใส่ปุ๋ยทางดินโดยโรยปุ๋ยตามแถวปลูก และ 2) ในระยะออกดอกถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (45 ถึง 180 วันหลังปลูก) ให้ปุ๋ยทางระบบน้ำหยด โดยผสมปุ๋ยตามอัตราที่กำหนดในแต่ละกรรมวิธี (ถังผสมปุ๋ยแยกกันในแต่ละกรรมวิธี) และให้พร้อมกับการให้น้ำ ซึ่งระยะเวลา, เกรดปุ๋ย และอัตราการใส่ปุ๋ย แสดงไว้ใน Table 1

การประเมินความต้องการธาตุอาหารหลักของสตรอว์เบอร์รีเบื้องต้นได้ดำเนินการก่อนการทดลอง โดยทำการสุ่มเก็บต้นสตรอว์เบอร์รี จำนวน 10 ต้น จาก พื้นที่ปลูก 2 พื้นที่ ประกอบไปด้วย 1 ) ต้นสตรอว์เบอร์รีของเกษตรกรที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง โดยนำต้นสตรอว์เบอร์รีที่เก็บมาอยู่ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (4 เดือนหลังปลูก) และ 2) ต้นสตรอว์เบอร์รีของเกษตรกรในสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง ซึ่งต้นสตรอว์เบอร์รีอยู่ในระยะก่อนออกดอก (1 เดือนหลังปลูก) พบว่า ต้นสตรอว์เบอร์รี 1 ต้น ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 500 ก./ต้น มีการดูดใช้ ธาตุอาหารไนโตรเจนจำนวน 2.58 ก./ต้น ฟอสฟอรัสจำนวน 0.37 ก./ต้น และโพแทสเซียมจำนวน 3.60 ก./ต้น หรือคิดเป็นไนโตรเจน 25.02 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส 3.59 กก./ไร่ หรือ 8.25 กก.$P_2O_5$/ไร่ และโพแทสเซียม 34.91 กก./ไร่ หรือ 41.89 กก.$K_2O$/ไร่ อัตราดังกล่าวจึงถูกนำไปกำหนดเป็นอัตราการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 ในขณะที่ กรรมวิธีที่ 3 ซึ่งเป็นการใส่ปุ๋ยแบบเจาะจงเฉพาะพื้นที่ (SSNM) พิจารณาอัตราการใส่ปุ๋ยจากความต้องการธาตุอาหารของสตรอว์เบอร์รี และปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน จึงใส่เพียงปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียวในอัตรา 25.02 กก./ไร่ ทั้งนี้เนื่องจาก ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (329 มก./กก.) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (574 มก./กก.) อยู่ในระดับที่สูงมาก เพียงพอต่อการดูดใช้ของสตรอว์เบอร์รี

**การเก็บบันทึกข้อมูล**: บันทึกการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative stage) ที่ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังย้ายปลูก (days after transplanting; DAT) โดยการวัดความสูงของลำต้น (plant height) วัดจากพื้นดินถึงใบที่สูงที่สุด และความกว้างของทรงพุ่ม (canopy width) สุ่มเก็บตัวอย่างส่วนเหนือดิน (ก้านใบและใบย่อย) ที่ระยะออกดอก 60 วันหลังย้ายปลูก นำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารหลักโดย

Table 1. Application time, fertilizer grade and fertilizer rate in F-RS, F-NR and SSNM treatments

| DAT | Fertilizer grade | | | Fertilizer rate, N : $P_2O_5$ : $K_2O$ (kg/rai) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | F-RS | F-NR | SSNM | F-RS | F-NR | SSNM |
| 15 | 15-15-15 | 46-0-0 : 18-46-0 : 0-0-60 | 46-0-0 | 2.24 : 5.14 : 2.68 | 1.39 : 0.46 : 2.33 | 1.39 : 0 : 0 |
| 30 | 15-15-15 | 46-0-0 : 18-46-0 : 0-0-60 | 46-0-0 | 2.24 : 5.15 : 2.69 | 1.40 : 0.46 : 2.33 | 1.40 : 0 : 0 |
| 45 | 12-24-12 | 46-0-0 : 18-46-0 : 0-0-60 | 46-0-0 | 6.00 : 27.60 : 7.20 | 1.39 : 0.46 : 2.33 | 1.39 : 0 : 0 |
| 60 | 12-24-12 | 46-0-0 : 18-46-0 : 0-0-60 | 46-0-0 | 6.00 : 27.60 : 7.20 | 1.40 : 0.46 : 2.33 | 1.40 : 0 : 0 |
| 75 | 13-13-21 | 13-0-46 : 0-52-34 : 15-0-0 | 15-0-0 | 6.50 : 14.95 : 12.60 | 2.78 : 0.91 : 4.65 | 2.78 : 0 : 0 |
| 90 | 13-13-21 | 13-0-46 : 0-52-34 : 15-0-0 | 15-0-0 | 6.50 : 14.95 : 12.60 | 2.78 : 0.92 : 4.66 | 2.78 : 0 : 0 |
| 105 | 13-13-21 | 13-0-46 : 0-52-34 : 15-0-0 | 15-0-0 | 6.50 : 14.95 : 12.60 | 2.78 : 0.91 : 4.65 | 2.78 : 0 : 0 |
| 120 | 13-13-21 | 13-0-46 : 0-52-34 : 15-0-0 | 15-0-0 | 6.50 : 14.95 : 12.60 | 2.78 : 0.92 : 4.66 | 2.78 : 0 : 0 |
| 135 | 13-13-21 | 13-0-46 : 0-52-34 : 15-0-0 | 15-0-0 | 6.50 : 14.95 : 12.60 | 2.78 : 0.91 : 4.65 | 2.78 : 0 : 0 |
| 150 | 13-13-21 | 13-0-46 : 0-52-34 : 15-0-0 | 15-0-0 | 6.50 : 14.95 : 12.60 | 2.78 : 0.92 : 4.66 | 2.78 : 0 : 0 |
| 165 | 13-13-21 | 13-0-46 : 0-52-34 : 15-0-0 | 15-0-0 | 6.50 : 14.95 : 12.60 | 1.38 : 0.46 : 2.32 | 1.38 : 0 : 0 |
| 180 | 13-13-21 | 13-0-46 : 0-52-34 : 15-0-0 | 15-0-0 | 6.50 : 14.95 : 12.60 | 1.38 : 0.46 : 2.32 | 1.38 : 0 : 0 |

**หมายเหตุ** DAT = Days after transplanting

วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Novozamsky *et al*., 1974), ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Suwanwong, 2001) และโพแทสเซียมทั้งหมด (Kalra, 1998) บันทึกน้ำหนักสดของผลผลิตสตรอว์เบอร์รีที่ถูกเก็บเกี่ยวออกจากแปลงทั้งหมดตั้งแต่เริ่มเก็บเกี่ยว (3 เดือนหลังย้ายปลูก) และวิเคราะห์คุณภาพผลผลิต ประกอบไปด้วย 1) ความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในผลสตรอว์-เบอร์รี (วิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับในส่วนเหนือดิน) 2) น้ำหนักผลสดเฉลี่ยต่อผล 3) ขนาดของผลสตรอว์-เบอร์รี 4) คัดแยกผลผลิตตามเกรดสตรอว์เบอร์รี (Maitrawattana, 2014) 5) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) (AOAC, 2000) 6) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยน้ำ (total soluble solid, TSS) โดยใช้เครื่อง digital refractometer 7) กรดแอสคอร์บิก (Ranganna, 1986)

**การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**: การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ข้อมูลที่เก็บบันทึกได้นำมาวิเคราะห์ความ-แปรปรวน analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีการทดลองโดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม Statistix version 8.0

## ผลการศึกษา

**การเจริญเติบโต**: จากข้อมูล (Table 2) พบว่าหลังจากย้ายปลูกสตรอว์เบอร์รีได้ 30 วัน การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธี F-NR มีความสูงเฉลี่ยสูงสุด 17.82 ซม. ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี F-RS ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 16.98 ซม. แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี SSNM และกรรมวิธีควบคุม ที่มีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 15.76-16.08 ซม. ที่ระยะ 45 และ 60 วัน ทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 17.48-18.46 และ 18.36-20.77 ซม. ตามลำดับ และที่ระยะ 75 และ 90 วัน กรรมวิธี 1-3 มีความสูงเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 23.52-24.38 และ 24.28-25.68 ซม. ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 21.42 และ 20.98 ซม. ตามลำดับ สำหรับความกว้างทรงพุ่ม พบว่าในทุกระยะการเจริญเติบโต กรรมวิธี 1-3 ไม่ส่งผลให้มีความกว้างทรงพุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 21.14-21.95, 29.81-30.86, 32.36-34.50, 32.86-35.11 และ 34.40-37.47 ซม. ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (Table 3)

Table 2. Effect of fertilizer management on plant height of strawberry cv. Pharatchatan 80

| Treatment | 30 DAT | 45 DAT | 60 DAT | 75 DAT | 90 DAT |
|---|---|---|---|---|---|
| | Plant height (cm) | | | | |
| 1. F-RS | 16.98 [ab] | 18.46 | 20.63 | 24.38 [a] | 25.68 [a] |
| 2. F-NR | 17.82 [a] | 18.25 | 19.96 | 23.52 [ab] | 24.28 [ab] |
| 3. SSNM | 16.08 [b] | 17.52 | 20.77 | 24.36 [a] | 24.39 [ab] |
| 4. Control | 15.76 [b] | 17.48 | 18.46 | 21.42 [b] | 20.98 [b] |
| F-test $_{(0.05)}$ | * | ns | ns | * | 1.68 |
| CV (%) | 6.46 | 8.79 | 8.06 | 6.13 | 9.94 |

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level, ns= non-significant

Table 3. Effect of fertilizer management on canopy width of strawberry cv. Pharatchatan 80

| Treatment | 30 DAT | 45 DAT | 60 DAT | 75 DAT | 90 DAT |
|---|---|---|---|---|---|
| | Canopy width (cm) | | | | |
| 1. F-RS | 21.14 [ab] | 29.81 [a] | 32.36 [a] | 32.86 [a] | 36.56 [ab] |
| 2. F-NR | 21.95 [a] | 30.02 [a] | 34.50 [a] | 35.11 [a] | 37.47 [a] |
| 3. SSNM | 21.43 [ab] | 30.86 [a] | 34.00 [a] | 34.27 [a] | 34.40 [ab] |
| 4. Control | 18.82 [b] | 24.75 [b] | 29.04 [b] | 28.58 [b] | 31.32 [b] |
| F-test $_{(0.05)}$ | * | * | * | * | * |
| CV (%) | 9.24 | 10.48 | 5.77 | 5.63 | 9.77 |

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level, ns= non-significant

**ความเข้มข้นธาตุอาหาร**: ผลการศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในส่วนเหนือดิน (Table 4) พบว่า การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1-3 ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าอยู่ในช่วง 2.31-2.45% ซึ่งกรรมวิธีที่ 2 ความเข้มข้นไนโตรเจนสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่มีความเข้มข้นไนโตรเจนเพียง 2.09% สำหรับความเข้มข้นฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม พบว่าทุกกรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินอยู่ในช่วง 0.31-0.33 และ 2.54-2.73% ตามลำดับ

**ปริมาณ และความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในผลผลิต**: ผลของการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อปริมาณและความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในผลผลิต (Table 5) พบว่า การใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันกรรมวิธี 1-3 ไม่ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของสตรอว์เบอร์รีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีผลผลิตอยู่ในช่วง

Table 4. Effect of fertilizer management on nutrient concentration in shoot at 60 DAT

| Treatment | N | P | K |
|---|---|---|---|
| | Percentage (%) | | |
| 1. F-RS | 2.39 [ab] | 0.33 | 2.73 |
| 2. F-NR | 2.45 [a] | 0.31 | 2.63 |
| 3. SSNM | 2.31 [ab] | 0.31 | 2.54 |
| 4. Control | 2.09 [b] | 0.33 | 2.57 |
| F-test $_{(0.05)}$ | * | ns | ns |
| CV (%) | 8.86 | 6.74 | 6.00 |

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level, ns= non-significant

Table 5. Effect of fertilizer management on yield and nutrient concentrations in fruit of strawberry cv. Pharatchatan 80

| Treatment | Yield | N | P | K |
|---|---|---|---|---|
| | (kg/rai) | Percentage (%) | | |
| 1. F-RS | 2,967.00 [a] | 1.10 [a] | 0.23 [a] | 1.98 [a] |
| 2. F-NR | 2,957.70 [a] | 1.03 [a] | 0.21 [b] | 1.82 [a] |
| 3. SSNM | 3,015.90 [a] | 1.01 [a] | 0.21 [b] | 1.86 [a] |
| 4. Control | 809.50 [b] | 0.87 [b] | 0.20 [c] | 1.65 [b] |
| F-test $_{(0.05)}$ | * | * | * | * |
| CV (%) | 4.37 | 5.80 | 2.84 | 5.53 |

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level (*), ns= non-significant

2,957.70 - 3,015.90 กก./ไร่ แต่มีผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ให้ผลผลิตเพียง 809.50 กก./ไร่ สำหรับความเข้มข้นธาตุอาหารไนโตรเจนและโพแทสเซียม พบว่า การใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีความคุม โดยมีความเข้มข้นธาตุอาหารไนโตรเจนและโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 1.01-1.10% และ 1.82-1.98% ตามลำดับ ในส่วนของความเข้มข้นธาตุอาหารฟอสฟอรัส พบว่า การใส่ปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลให้ความเข้มข้นธาตุอาหารฟอสฟอรัสในผลต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธี F-RS มีความเข้มข้นของธาตุอาหารฟอสฟอรัสสูงสุด 0.23%

**คุณภาพผลผลิต**: ผลของการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อคุณภาพผลผลิต พบว่า การใส่ปุ๋ยในกรรมวิธี 1-3 ไม่ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตสตรอว์เบอร์รีเกรด 1 (16-24 ก./ผล), เกรด 2 (13-15 ก./ผล), เกรด 3 (10-12 ก./ผล), เกรด 4 (7-9 ก./ผล) และตกเกรด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสตรอว์เบอร์รีเกรด 1 มีปริมาณผลผลิตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 459.26 - 516.44 กก./ไร่ เกรด 2 452.45 - 484.72 กก./ไร่ เกรด 3 467.08 - 498.73

กก./ไร่ เกรด 4 522.46 - 546.92 ตกเกรด 990.60 - 1025.20 กก./ไร่ (Table 6) และพบว่า การใส่ปุ๋ยในกรรมวิธี 1 - 3 ไม่ส่งผลให้น้ำหนักผลสดเฉลี่ยต่อผล ความกว้าง และความหนาของผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 7) โดยมีน้ำหนักผลสดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.53 - 9.16 ก. ความกว้างและความหนาของผลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 24.50 - 26.39 มม. และ 23.00 - 24.81 มม. ตามลำดับ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม สำหรับความยาวของผลสตรอว์เบอร์รี พบว่า กรรมวิธี F-RS และ F-NR มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี SSNM และกรรมวิธีความคุม โดยกรรมวิธี F-NR มีความยาวเฉลี่ยของผลสตรอว์เบอร์รีสูงสุดที่ 29.79 มม. และยังพบอีกว่าทุกกรรมวิธีทดลอง ไม่ส่งผลให้ให้ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA), ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดแอสคอร์บิก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.13-1.14%, 11.47-11.67 °Brix และ 58.65-64.16 มก./100 ก. ตามลำดับ

**Table 6. Effect of fertilizer management on fruit size of strawberry cv. Pharatchatan 80**

| Treatment | Grade 1 (kg/rai) | Grade 2 (kg/rai) | Grade 3 (kg/rai) | Grade 4 (kg/rai) | Under grade (kg/rai) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. F-RS | 459.26 [a] | 452.45 [a] | 498.73 [a] | 535.46 [a] | 1021.10 [a] |
| 2. F-NR | 459.83 [a] | 463.16 [a] | 497.21 [a] | 546.92 [a] | 990.60 [a] |
| 3. SSNM | 516.44 [a] | 484.72 [a] | 467.08 [a] | 522.46 [a] | 1025.20 [a] |
| 4. Control | 26.66 [b] | 53.67 [b] | 44.48 [b] | 195.44 [b] | 489.30 [b] |
| F-test $_{(0.05)}$ | * | * | * | * | * |
| CV (%) | 16.56 | 10.88 | 8.27 | 11.7 | 6.48 |

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level (*), ns= non-significant

**Table 7. Effect of fertilizer management on fruit weight, fruit width, fruit length, fruit thickness, titratable acidity (TA), total soluble solid (TSS) and Ascorbic acid of strawberry cv. Pharatchatan 80**

| Treatment | Fruit weight (g/fruit) | Fruit width (mm) | Fruit length (mm) | Fruit thickness (mm) | TA (%) | TSS (°Brix) | Ascorbic acid (mg/100g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. F-RS | 9.16 [a] | 25.84 | 27.51 [ab] | 23.97 | 1.14 | 11.47 | 59.09 |
| 2. F-NR | 8.63 [ab] | 26.39 | 29.79 [a] | 24.81 | 1.13 | 11.54 | 62.82 |
| 3. SSNM | 8.53 [ab] | 25.17 | 26.89 [b] | 23.00 | 1.14 | 11.49 | 64.16 |
| 4. Control | 7.46 [b] | 24.50 | 25.83 [b] | 23.11 | 1.14 | 11.67 | 58.65 |
| F-test $_{(0.05)}$ | * | ns | * | ns | ns | ns | ns |
| CV (%) | 19.11 | 11.31 | 12.49 | 11.00 | 6.04 | 14.73 | 28.63 |

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level (*), ns= non-significant

**ต้นทุนด้านการจัดการปุ๋ย**: ต้นทุนค่าปุ๋ยสำหรับการผลิตสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 (Table 8) ตามกรรมวิธีการทดลองอัตราปุ๋ยที่แตกต่างกัน สำหรับการปลูกสตรอว์เบอร์รี 1 ไร่ แตกต่างกันไปตามชนิด ราคา และปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในแต่ละกรรมวิธี โดยรายละเอียดแสดงไว้ใน Table 7 ซึ่งพบว่า ต้นทุนการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่เกษตรกรใช้ (F-RS) มีต้นทุนสูงสุดที่ 11,665.18 บาท/ไร่ รองลงมาคือกรรมวิธีใส่ปุ๋ยในอัตราที่ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารหลักของสตรอว์เบอร์รี (F-NR) ใช้ต้นทุน 5,533.67 บาท/ไร่ และกรรมวิธีใส่ปุ๋ยแบบเจาะจงเฉพาะพื้นที่ (SSFM) ใช้ต้นทุน 2,704.40 บาท/ไร่ ซึ่งน้อยกว่ากรรมวิธี F-RS ถึง 4.31 เท่า

Table 8. Cost of fertilizer in each treatment

| Treatment | Fertilizer grade | Fertilizer price[1] (Baht/50 kg) | Fertilizer used (kg/rai) | Fertilizer's cost (Baht/ria) | Total fertilizer's cost (Baht/rai) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. F-RS | 15-15-15 | 880 | 29.84 | 525.18 | 11,665.18 |
| | 12-24-12 | 1,410 | 100.00 | 2,820.00 | |
| | 13-13-21 | 1,040 | 400.00 | 8,320.00 | |
| 2. F-NR | 46-0-0 | 680 | 15.44 | 209.98 | 5,533.67 |
| | 18-46-0 | 1,000 | 1.92 | 38.40 | |
| | 0-0-60 | 760 | 19.20 | 291.84 | |
| | 13-0-46 | 1,050 | 124.80 | 5,241.60 | |
| | 0-52-34 | 1,375 | 10.56 | 580.80 | |
| | 15-0-0 (25) | 490 | 29.92 | 586.43 | |
| 3. SSFM | 46-0-0 | 680 | 16.21 | 220.46 | 2,704.40 |
| | 15-0-0 (25) | 490 | 108.06 | 2,117.98 | |
| 4. Control | - | - | - | - | - |

Note: [1]October 2018 fertilizer prices

## วิจารณ์

จากการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกันในกรรมวิธี 1-3 ไม่ส่งผลให้การเจริญเติบโตของสตรอว์เบอร์รี (ความสูงและความกว้างทรงพุ่ม) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และชี้ให้เห็นว่าปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีความสูงและความกว้างทรงพุ่มของสตรอว์เบอร์รีเพิ่มขึ้นด้วยเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม เนื่องจากไนโตรเจนมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมและการเจริญเติบโตของพืช การได้รับไนโตรเจนในปริมาณที่เพียงพอช่วยเพิ่มดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช (Bassi *et al*., 2018, Torres-Olivar *et a*l., 2014) สอดคล้องกับการศึกษาของ Changotra *et al*. (2017) พบว่าการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีส่งผลให้ความสูงและพื้นที่ใบของสตรอว์เบอร์รีมากกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ย (กรรมวิธีควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและการได้รับไนโตรเจนในปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ความสูงของสตรอว์เบอร์รีเพิ่มขึ้น จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตของสตรอว์เบอร์รีไม่ตอบสนองต่อปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินของกรรมวิธีใส่ปุ๋ยแต่ก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม เนื่องจากดินที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 329 มก./กก.(คิดเป็นปริมาณฟอสฟอรัส 102.64 กก./ไร่) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 574 มก./กก. (คิดเป็นโพแทสเซียม 179.01 กก./ไร่) ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารจัดอยู่ในระดับสูง (Horneck *et al*. 2011) สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้เพียงพอสำหรับความต้องการของสตรอว์เบอร์รีได้ ซึ่งจากการศึกษาของ Lieten and Misotten (1993) พบว่าสตรอว์เบอร์รีมีที่ให้ผลผลิต 9.51 ตัน/ไร่ ต้องการธาตุอาหารไนโตรเจน 20 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส 6.40 กก.$P_2O_5$/ไร่ และ โพแทสเซียม 30.40 กก.$K_2O$/ไร่

สำหรับความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในส่วนเหนือดิน พบว่า การใส่ไนโตรเจนในปริมาณที่มากขึ้นในกรรมวิธี 1-3 ส่งผลให้ความเข้มข้นไนโตรเจนในส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม สอดคล้องกับ Yadav *et al*. (2016) พบว่า การใส่ไนโตรเจนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นที่ได้จากแหล่งปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนในใบสตรอว์เบอร์รีสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในส่วนเหนือดิน ไม่ตอบสนองต่อปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากดินมีปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอ อีกทั้งความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้จัดอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับสตรอว์เบอร์รี อย่างไรก็ตามความเข้มข้นไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมเล็กน้อย โดยระดับไนโตรเจนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2.5-3.5% (Department of Industry and Investment, 2010)

ในส่วนของปริมาณผลผลิตพบว่า การใส่ปุ๋ยกรรมวิธี 1-3 ส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ซึ่งกรรมวิธีใส่ปุ๋ยให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 2,957.70 - 3,015.90 กก./ไร่ หรือ 305.04 – 311.05 ก./ต้น สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม 3.65 - 3.73 เท่า แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยมีความจำเป็นในการเพิ่มผลผลิตสตรอว์เบอร์รี อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย (กรรมวิธี 1-3) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรรมวิธีที่ 3 ที่ใส่แต่ปุ๋ยไนโตรเจนเท่านั้น ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าไนโตรเจนในดินไม่เพียงพอต่อความต้องการของสตรอว์เบอร์รี เมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สตรอว์เบอร์รีจึงตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ย ทั้งในด้านการเจริญเติบโตและผลผลิต อย่างไรก็ตามกรรมวิธีที่ 1 ที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 68.48 กก./ไร่ ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีที่ 2 และ 3 ซึ่งใส่ในอัตรา 25.02 กก./ไร่ แต่ก็ให้ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ชี้ให้เห็นว่าอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 25.02 กก./ไร่ นั้นเพียงพอสำหรับการปลูกสตรอว์เบอร์รี (ความต้องการธาตุอาหารไนโตรเจน = 20 กก./ไร่, Lieten and Misotten, 1993) ซึ่งสอดคล้องกับผลของความเข้มข้นของไนโตรเจนในส่วนเหนือดิน (2.31 – 2.45%) ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกรรมวิธีที่ 1-3 และก็สอดคล้องกับความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในผล

ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยกรรมวิธี 1-3 ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจนในผล (1.01-1.10%) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม โดยค่าความเข้มข้นไนโตรเจนต่ำสุด 0.87% และนอกจากนี้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างกรรมวิธีที่ 2 และ 3 ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เท่ากัน (25.02 กก./ไร่) แต่กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ($P_2O_5$) และโพแทสเซียม ($K_2O$) ในอัตรา 8.25 กก./ไร่ และ 41.89 กก./ไร่ ตามลำดับ แต่ก็ไม่ทำให้ผลผลิตแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ 3 ที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีความจำเป็นน้อย หากดินที่ใช้ปลูกสตรอว์เบอร์รีมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (329 มก./กก.) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (574 มก./กก.) ในระดับสูง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่อยู่ในส่วนเหนือดินและในผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับคุณภาพผลผลิตพบว่า กรรมวิธีใส่ปุ๋ย 1-3 ส่งผลให้มีน้ำหนักผลสดสตรอว์เบอร์รีสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ชี้ให้เห็นว่าไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำหนักผลสดสตรอว์เบอร์รีเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Afroz *et al.* (2016) ที่พบว่าการเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลให้น้ำหนักผลสดเพิ่มขึ้น โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 14.40 กก./ไร่ เป็น 18.40 กก./ไร่ ทำให้น้ำหนักผลสดเฉลี่ยต่อผลเพิ่มขึ้น 6.25% (เพิ่มจาก 16.80 ก./ผล เป็น 17.85 ก./ผล) ในขณะที่กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน) ให้น้ำหนักผลสดเพียง 12.80 ก./ผล อย่างไรก็ตามการเพิ่มไนโตรเจนเกินระดับความต้องการของพืชนั้นมีแนวโน้มทำให้น้ำหนักผลสดลงลด (สตรอว์เบอร์รีต้องการไนโตรเจน 20 กก./ไร่ (Lieten and Misotten, 1993))

น้ำหนักผลเฉลี่ยลดลงในส่วนของกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA), ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดแอสคอร์บิก ทุกกรรมวิธีทดลองไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.13 - 1.14%, 11.47 - 11.67°Brix และ 58.65 - 64.16 มก./100 ก. ตามลำดับ สอดคล้องกับ Mahadeen (2009) และ Chelpinski *et al.* (2010) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA), ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณวิตามินซีในสตรอว์เบอร์รี ซึ่งผลผลิตจัดอยู่ในระดับมาตรฐาน โดย Sriwongpet *et al.* (2014) พบว่าโดยปกติสตรอว์เบอร์รี พันธุ์พระราชทาน 80 มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA) 0.99 ± 0.01%, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) 10.51 ± 0.16% และปริมาณกรดแอสคอร์บิก 78.49 ± 1.25 มก./100 ก. จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยโดยพิจารณาถึงความต้องการธาตุอาหารของสตรอว์เบอร์รีและปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมที่จะนำมาวางแผนการจัดการธาตุอาหารเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตและคุณภาพที่ดี สามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ย และลดต้นทุนด้านปุ๋ยเคมีจากการใช้ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติได้ถึง 4.3 เท่า ทำให้การจัดการปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูงสุด ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเกินความจำเป็น ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิต, ปรับสมดุลธาตุอาหารในดินและลดการปนเปื้อนปุ๋ยสู่สิ่งแวดล้อม

## สรุป

จากการศึกษาผลของอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสตรอว์เบอร์รี พันธุ์พระราชทาน 80 บนพื้นที่สูง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า การใส่ปุ๋ยกรรมวิธี 1-3 ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต (ความสูงและความกว้างทรงพุ่ม) ปริมาณผลผลิตและคุณภาพผลผลิตของสตรอว์เบอร์รี ดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ > 15 มก./กก. และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ > 60 มก./กก. ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอในการปลูกพืช การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSNM; N=25.02 กก./ไร่) ที่ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารของสตรอว์เบอร์รี และปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน เพียงพอสำหรับการผลิตสตรอว์เบอร์รี โดยให้ผลผลิตเฉลี่ย 3,015.90 กก./ไร่ นอกจากนี้เกษตรกรยังสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยและลดต้นทุนค่าปุ๋ยลงได้ถึง 4 เท่าจากการใช้ปุ๋ยแบบเดิมตามกรรมวิธีที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม

การใส่ปุ๋ยในแต่ละพื้นที่ควรพิจารณาความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความต้องการธาตุอาหารของสตรอว์เบอร์รีประกอบด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยและใช้ปุ๋ยให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเคมีและความอุดมสมบูรณ์ดิน และห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ดินและพืช

## เอกสารอ้างอิง

Afroz, C.A., M.A.H. Shimul, M. Ikrum, M.A. Siddiky and M.A. Razzaque. 2016. Effects of nitrogen phosphorus potassium and sulphur on growth yield and nutrient content of strawberry (*Fragaria ananassa*). Journal of Environmental Science and Natural Resources 9(1): 99-108.

Agehara, S. 2021. Characterizing early-season nitrogen fertilization rate effects on growth, yield, and quality of strawberry. Agronomy 11(5): 905, doi: 10.3390/agronomy11050905.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaitherburg. 4377 p.

Bassi, D., M. Menossi and L. Mattiello. 2018. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. Scientific Reports 8(1): 2327, doi: 10.1038/s41598-018-20653-1.

Cao, F., C. Guan, H. Dai, X. Li and Z. Zhang. 2015. Soluble solids content is positively correlated with phosphorus content in ripening strawberry fruits. Scientia Horticulturae 195: 183-187.

Changotra, P., D. Bashir, S. Hussain and A. Kaur. 2017. Cultivation on strawberry (*Fragaria*× *ananassa* Duch.) cv. Chandler as affected by bio and inorganic fertilizers under open conditions. Global Journal of Bio-Science and Biotechnology 6(2): 332-343.

Chelpinski, P., K. Skupieñ and I. Ochmian. 2010. Effect of fertilization on yield and quality of cultivar Kent strawberry fruit. Journal of Elementology 15(2): 251-257.

Department of Agricultural Extension. 2020. Strawberries: Crop year 2019. (Online). Available: http://www. agriinfo.doae.go.th /year63/plant/rortor/fruit/strawberry.pdf(September 26, 2021). (in Thai)

Department of Industry and Investment. 2010. Strawberry fertilizer guide. (Online). Available: https://www.dpi.nsw.gov.au/ __data/assets/pdf_file/0020/333362/Strawberry-fertiliser-guide.pdf (September 26, 2021).

Hancock, J.F., T.M. Sjulin and G.A. Lobos. 2008. Strawberries. pp. 393-437. *In:* J.F. Hancock (ed.). Temperate Fruit Crop Breeding: Germplasm to Genomics. Springer, Dordrecht.

Horneck, D. A., D.M. Sullivan, J.S. Owen and J.M. Hart. 2011. Soil test interpretation guide. (Online). Available: file:///C:/Users/ADMINI~1/AppData/Local/Temp/ec1478.pdf (September 26, 2021).

Kalra, Y.P. 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Boca Raton. 300 p.

Land Development Department. 2012. Soil series map presentation system, scale 1: 25,000.

(Online). Available: http://eis.ldd.go.th /lddeis/SoilView.aspx/ (September 26, 2021). (in Thai)

Lazaro Rodas, C., I. Pereira da Silva, V.A. Toledo Coelho, D.M. Guimarães Ferreira, R. Jose de Souza and J. Guedes de Carvalho. 2013. Chemical properties and rates of external color of strawberry fruits grown using nitrogen and potassium fertigation. Idesia 31(1): 53-58.

Li, H., R. Huang, T. Li and K. Hu. 2010. Ability of nitrogen and phosphorus assimilation of seven strawberry cultivars in a northern Atlantic coastal soil. pp. 1-4. *In*: Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane.

Lieten, F. and C. Misotten. 1993. Nutrient uptake of strawberry plants (cv. Elsanta) grown on substrate. Acta Horticulturae 348: 299-306.

Mahadeen, A.Y. 2009. Influence of organic and chemical fertilization on fruit yield and quality of plastic-house grown strawberry. Jordan Journal of Agricultural Sciences 5(2): 167-177.

Maitrawattana, S. 2014. Strawberry under the Royal Initiation. Crown Property Bureau, Bangkok. 200 p. (in Thai)

Novozamsky, I., R. van Eck, J.C. van Schouwenburg and I. Wallinga. 1974. Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol-blue method. Netherlands Journal of Agricultural Science 22: 3-5.

Pettigrew, W.T. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. Physiologia Plantarum 133(4): 670-681.

Ranganna, S. 1986. Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products. 2nd ed. Tata Mc Graw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi. 1112 p.

Rezowana, M.J., M.M. Hossain, A.J.M.S. Karim and M.S. Biswas. 2018 Effects of phosphorus and potassium fertilizers on the yield contributing characters and yield of sub-tropical strawberry. Annals of Bangladesh Agriculture 22(1): 61-66.

Roy, R.N., A. Finck, G.J. Blair and H.L.S. Tandon. 2006. Plant Nutrition for Food Security: A Guide for Integrated Nutrient Management. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 348 p.

Santasup, C., F. Chaiwan and K. Ueangsawat. 2018. Improvement of water saving, and fertilizer use efficiency for fruit trees in the highland area. Final Report. Highland Research and Development Institute (Public Organization), Chiang Mai. 95 p. (in Thai)

Santos, B.M. and C.K. Chandler. 2009. Influence of nitrogen fertilization rates on the performance of strawberr cultivars. International Journal of Fruit Science 9(2): 126 -135.

Sirijan, M., K. Sujipuli, N. Pipattanawong and P. chaiprasart. 2018. Generation of strawberry hybrid population to enhance the sweetness and firmness of the fruit. Agricultural Science Journal 49 : 1 (Suppl.): 362-367.

Sriwongpet, S., D. Boonyakiat and P. Boonprasom. 2014. Postharvest quality of strawberry fruit cv. Praratchatan 80 and No. 329. Khon Kaen Agriculture Journal 42(4): 463-472. (in Thai)

Suwanwong, S. 2001. Plant Nutrient Analysis. Kasetsart University Press, Bangkok. 141 p. (in Thai)

Tohidloo, G., M.K. Souri and S. Eskandarpour. 2018. Growth and fruit biochemical characteristics of three strawberry genotypes under different potassium concentrations of nutrient solution. Open Agriculture 3(1): 356-362.

Torres-Olivar, V., O.G. Villegas-Torres, M.L. Domínguez-Patiño, H. Sotelo-Nava, A. Rodríguez-Martínez, R.M. Melgoza-Aleman, L.A. Valdez-Aguilar and I. Alia-Tejacal. 2014. Role of nitrogen and nutrients in crop nutrition. Journal of Agricultural Science and Technology 4(1): 29-37.

Verma, P., A. Chauhan and T. Ladon. 2020. Site specific nutrient management: A review. Journal Pharmacognosy and Phytochemistry 9(5): 233-236.

Yadav, S.K., U.U. Khokhar, S.D. Sharma and P. Kumar. 2016. Response of strawberry to organic versus inorganic fertilizers. Journal of Plant Nutrition 39(2): 194-203.

# ผลของการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อการเติบโต คุณภาพและผลผลิตกาแฟอะราบิกา ที่ปลูกบนพื้นที่สูง จังหวัดเชียงใหม่

# Effects of Different Fertilizer Managements on Growth, Quality and Yield of Arabica Coffee Grown on Highland, Chiang Mai Province

**ลลิชา พานทอง[1] ยุพา จอมแก้ว[1] ณัฐชนน สันธทรัพย์[2] และ ชูชาติ สันธทรัพย์[1*]**
Lalicha Prantong, Yupa Chromkaew, Natchanon Santasup and Choochad Santasup[*]

*[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[1]Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
*[2]ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[2]Postharvest Technology Innovation Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
*[*]Corresponding author: Email: santasup@gmail.com*

*(Received: 3 July 2023; Accepted: 6 November 2023)*

**Abstract:** This research aimed to evaluate the effects of various fertilizer management on growth, yield and quality of arabica coffee crops cultivated in highland regions. The research was conducted at two sites: Khun Chang Khian Highland Research and Training Center (site A), Muang district and Nong Hoi Highland Agricultural Research, Mae Rim district, Chiang Mai province. The experimental design followed a randomized complete block design (RCBD) with three replications and comprising four fertilizer management methods. These methods were: 1) conventional chemical fertilizer application according to local agricultural practices (Nitrogen 54.00 grams per plant, Phosphorus 54.00 grams per plant and Potassium 54.00 grams per plant), 2) compost fertilizer application (3.00 kilograms per plant), 3) chemical fertilizer application based on site-specific fertilizer management by nutrient requirements of coffee and soil fertility (Nitrogen 49.98 grams per plant) and 4) control (no fertilizer application). The results demonstrated that fertilizer application treatments (treatments 1-3) did not have a significant impact on plant height, canopy width, stem diameter, primary nutrients in leaves, quantity and quality of arabica coffee yields. However, method 3, fertilize management (Nitrogen 49.98 grams per tree), showed tendency to promote better growth and yield compared to the other methods on both study sites. The arabica coffee grown at two different locations had an average height of 236.67 and 252.84 centimeters, while average fresh fruits weight was 1.75 and 1.49 grams/fruit and average diameter through the center of the fruit was 14.55 and 13.14 centimeters, average total acidity obtained was 0.16 and 0.13%, and the average yield was 8.38 and 6.36 kilograms/plant, respectively, two sites location Khun Chang Khian Highland Research and Training Center (site A) and Nong Hoi Highland Agricultural Research in the Mae Rim district of Chiang Mai province.

**Keywords:** Nutrient management, caffeine, green beans


Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะประเมินผลของการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อการเติบโต, ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตกาแฟอะราบิกาที่ปลูกบนพื้นที่สูง ซึ่งได้ดำเนินการทดลอง ณ สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) อำเภอเมืองเชียงใหม่ และสถานีเกษตรที่สูงหนองหอย อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design: RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วยกรรมวิธีการจัดการปุ๋ย 4 กรรมวิธี คือ 1) ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติในพื้นที่ (ไนโตรเจน 54.00 กรัม/ต้น ฟอสฟอรัส 54.00 กรัม/ต้น และโพแทสเซียม 54.00 กรัม/ต้น) 2) ใส่ปุ๋ยหมัก (3.00 กิโลกรัม/ต้น) 3) ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารหลักของกาแฟและความอุดมสมบูรณ์ดิน (ไนโตรเจน 49.98 กรัม/ต้น) 4) กรรมวิธีควบคุม ไม่ใส่ปุ๋ย ผลการศึกษาพบว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1-3 ไม่ทำให้ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ธาตุอาหารหลักในใบ ปริมาณและคุณภาพผลผลิตของกาแฟอะราบิกาแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (ไนโตรเจน 49.98 กรัม/ต้น) มีแนวโน้มช่วยส่งเสริมการเติบโตและปริมาณผลผลิตได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ต้นกาแฟอะราบิกาทั้ง 2 พื้นที่ มีความสูงเฉลี่ย 236.67 และ 252.84 เซนติเมตร น้ำหนักสดผลเฉลี่ย 1.75 และ 1.49 กรัม/ผล เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 14.55 และ 13.14 เซนติเมตร ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เฉลี่ย 0.16 และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตเฉลี่ย 8.38 และ 6.36 กิโลกรัม/ต้น ตามลำดับ

**คำสำคัญ**: การจัดการธาตุอาหาร คาเฟอีน สารกาแฟ

## คำนำ

กาแฟ เป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ปัจจุบันกาแฟที่ปลูกอย่างแพร่หลายนั้นมีเพียง 2 ชนิด คือ กาแฟอะราบิกา (*Coffea arabica* L.) และกาแฟโรบัสตา (*Coffea canephora* Pierre ex Frochner) (Naka *et al*., 2004) ซึ่งกาแฟอะราบิกาได้รับการส่งเสริมให้ปลูกบนพื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยกาแฟสายพันธุ์อะราบิกา มีพื้นที่เพาะปลูกที่บนสูง ซึ่งระดับความสูงของพื้นที่เพาะปลูกส่งผลต่อรสชาติของกาแฟ นอกจากนี้มูลนิธิโครงการหลวงยังมีการส่งเสริมให้เกษตรกรบนพื้นที่สูงปลูกกาแฟอะราบิกา เพื่อสร้างรายได้และทดแทนการปลูกฝิ่น (Korsamphan *et al*., 2019) ปัจจุบันการบริโภคกาแฟของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยร้อยละ 1.9 ต่อปี (International Coffee Organization, 2021) โดยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (ปี พ.ศ. 2560-2564) ปริมาณความต้องการใช้เมล็ดกาแฟของไทยในโรงงานแปรรูปเพิ่มขึ้นจาก 85,234 ตันในปี พ.ศ. 2560 เพิ่มขึ้นเป็น 86,701 ตัน ในปี พ.ศ. 2564 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.71 ต่อปี แต่ในปี พ.ศ. 2564 ไทยสามารถผลิตเมล็ดกาแฟดิบได้เพียง 21,773 ตันต่อปี ส่งผลทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอกับความต้องการบริโภค ซึ่งประเทศไทยมีนำเข้าสินค้าเมล็ดกาแฟดิบเฉลี่ย 56,252.57 ตัน/ปี เมล็ดกาแฟคั่วเฉลี่ย 2,549.49 ตัน/ปี และกาแฟสำเร็จรูปเฉลี่ย 14,150.51 ตัน/ปี ซึ่งเมล็ดกาแฟดิบเป็นสินค้าในกลุ่มกาแฟและผลิตภัณฑ์กาแฟที่ไทยนำเข้ามากที่สุด เพื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กาแฟอื่น ๆ ทั้งเพื่อบริโภคในประเทศและเพื่อการส่งออก (Department of Trade Negotiations, 2022) อย่างไรก็ตาม การทำการเกษตรบนพื้นที่สูงจะมีข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ในการเพาะปลูก เนื่องจากอาจมีความลาดชันของพื้นที่ การชะล้างพังทลายของหน้าดินสูง อีกทั้งการทำการเกษตรบนพื้นที่สูงนั้นยังมีปัญหาในเรื่องของระบบชลประทาน จึงต้องอาศัยน้ำฝนในการทำเกษตร และการขาดองค์ความรู้ในเรื่องของการจัดการปุ๋ยที่มีต่อผลการปลูกกาแฟอะราบิกา ทำให้ผลผลิตของกาแฟอะราบิกาไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาการผลิตกาแฟอะราบิกา เพื่อให้ได้ปริมาณและคุณภาพผลผลิตที่ดี

การผลิตกาแฟเพื่อให้มีปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่ดี จำเป็นต้องมีการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสม โดยมีคำแนะนำเฉพาะการให้ปุ๋ยแก่ต้น

กาแฟอะราบิกา เช่น ในระยะที่ไม่ติดผล ควรใส่ปุ๋ยเกรด 46-0-0 เมื่อกาแฟเริ่มติดผลแล้ว ปีที่ 4 เป็นต้นไป ใช้ปุ๋ยเกรด 15-15-15 แบ่งใส่ 3 ครั้ง ในช่วงต้น กลาง และปลายฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม และกันยายน ตามลำดับ) อัตรา 16-80 กิโลกรัม/ไร่ (MaeTha District Agricultural Extension Office, 2013) เมื่อต้นมีอายุ 3 ปีขึ้นไป ใช้ปุ๋ยเกรด 13-31-21 อัตรา 266.5 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี แบ่งใส่ 2 ครั้งในช่วงต้นฤดูฝนและกลางฤดูฝน ร่วมกับการให้ปุ๋ยหมักอัตรา 10,660 กิโลกรัม/ไร่/ปี แบ่งใส่ 2 ครั้งในช่วงกลางฤดูฝนและปลายฤดูฝน (Land Development Department, 2007) โดยการปลูกกาแฟอะราบิกา 1 ไร่ มีต้นกาแฟทั้งหมด 533 ต้น (ระยะปลูก 1.5x2 เมตร) (Department of Agricultural Extension, 2011) สำหรับการใช้ปุ๋ยกาแฟอะราบิกาในประเทศเอธิโอเปีย Melke and Ittana (2015) มีคำแนะนำการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 24-48 กิโลกรัม/ไร่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส 0-5.3 กิโลกรัม/ไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียม 0-9.9 กิโลกรัม/ไร่ นอกจากนี้ Mitchell (1988) รายงานว่า ผลผลิตกาแฟ 1 ตัน ดูดใช้ธาตุไนโตรเจน (N) ประมาณ 21.60 กิโลกรัม/ไร่ ฟอสฟอรัส ($P_2O_5$) 5.44 กิโลกรัม/ไร่ และโพแทสเซียม ($K_2O$) 23.20 กิโลกรัม/ไร่ ตลอดฤดูการผลิต และจะสูญเสียไนโตรเจน 5.60 กิโลกรัม/ไร่ ฟอสฟอรัส 1.12 กิโลกรัม/ไร่ และโพแทสเซียม 1.12 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นคำแนะนำในการจัดการปุ๋ยทั่วไป ซึ่งอาจไม่ได้พิจารณาถึงชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ใช้ปลูก และจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ปลูกพบว่า ปริมาณปุ๋ยที่ใส่นั้นโดยทั่วไปเกษตรกรประเมินจากปริมาณผลผลิตในฤดูการผลิตในปีก่อนหน้านั้น จากข้อมูลดังกล่าวชี้เห็นได้ว่าการจัดการปุ๋ยในระบบการปลูกกาแฟอะราบิกายังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ขาดหลักในการจัดการปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ

## อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาทดลองครั้งนี้ดำเนินการทดลองในแปลงปลูกกาแฟอะราบิกาของคณะเกษตรศาสตร์ ในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) ตำบลช้างเผือก อำเภอเมืองเชียงใหม่ (ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 1,200 เมตร ) และสถานีเกษตรที่สูงหนองหอย ตำบลโป่งแยง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่(ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 1,100 เมตร) ในระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 ถึง มกราคม พ.ศ. 2564 ซึ่งดินที่ใช้ในการทดลองในพื้นที่สถานีวิจัยและฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ อยู่ในกลุ่มชุดดินพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (SC: slope complex) (Chiangmai Land Development Station, 2023) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.53 ค่าการนำไฟฟ้า 15.30 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุ 4.08 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 29.58 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 147.57, 427.87 และ 43.79 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และดินที่ใช้ในการทดลองสถานีวิจัยเกษตรที่สูงหนองหอย อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ อยู่ในกลุ่มชุดดินพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (SC: slope complex) (Chiangmai Land Development Station, 2023)มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.49 ค่าการนำไฟฟ้า 22.55 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุ 4.54 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 122.17 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 298.74, 1552.87 และ 115.02 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (Table 1)

ทำการคัดเลือกต้นกาแฟอะราบิกาสายพันธุ์คาติมอร์ (Catimor) ในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และคัดเลือกต้นกาแฟอะราบิกาสายพันธุ์ทิปปิกา (Typica) ในพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย โดยคัดเลือกต้นกาแฟอะราบิกาในแปลงปลูกกาแฟที่มีการเจริญเติบโตที่สม่ำเสมอ ขนาดทรงพุ่มและความสูงที่ใกล้เคียงกัน(โดยต้นกาแฟมีความสูงประมาณ 150 เซนติเมตร) ระยะปลูก 1.5x1.5 เมตร มีจำนวนต้นกาแฟ 711 ต้น/ไร่ ที่ปลูกในสภาพร่มเงา อายุเฉลี่ย 15 ปี ในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และที่อายุเฉลี่ย 4-5 ปี ในพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย แบ่งต้นกาแฟออกเป็น 3 ซ้ำ ซ้ำละ 4 ต้น การศึกษาในครั้งนี้วางแผนทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design: RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วยกรรมวิธีการทดลอง 4 กรรมวิธี ได้แก่ 1) ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราที่เกษตรกร

นิยมปฏิบัติในพื้นที่ (common fertilization rate for coffee, CFR) โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 54 กรัม/ต้น ฟอสฟอรัส 54 กรัม/ต้น และโพแทสเซียม 54 กรัม/ต้น โดยใช้ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 แบ่งใส่ครั้งละเท่า ๆ กัน จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 120 กรัม/ต้น (85.32 กิโลกรัม/ไร่) ในเดือน กรกฎาคม, สิงหาคม และกันยายน 2) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (compost fertilizer, CP) ผลิตโดยหน่วยวิจัยและพัฒนาวัสดุอินทรีย์-ชีวภาพ ศูนย์วิจัย สาธิตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในอัตรา 3.0 กิโลกรัม/ต้น โดยปุ๋ยหมักที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.51 ค่าการนำไฟฟ้า 1.5 เดซิซีเมนต์/เมตร อินทรียวัตถุ 26.30 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) 1.32 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด ($P_2O_5$) 1.96 เปอร์เซนต์ และโพแทสเซียมทั้งหมด ($K_2O$) 2.45 เปอร์เซ็นต์ 3) (Table 2) ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารหลักของกาแฟและความอุดมสมบูรณ์ดิน (site-specific fertilizer managements, SSFM) โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 49.98 กรัม/ต้น โดยใช้ปุ๋ยเคมีเกรด 21-0-0 สำหรับการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 และ 3 แบ่งใส่ปุ๋ย จำนวน 3 ครั้ง ในระยะเวลาเดียวกับกรรมวิธีที่ 1 ในอัตรา 50, 30 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณปุ๋ยที่ใช้ทั้งหมด ตามลำดับ โดยการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธี (กรรมวิธีที่ 1-3) ซึ่งใส่ปุ๋ยแบบโรยรอบต้นตามแนวพุ่มใบ (ring spot application) และ 4) กรรมวิธีควบคุม (control) ไม่ใส่ปุ๋ย

**Table1. Chemical properties of Initial soil**

| Properties | Analytical value | |
|---|---|---|
| | Khun Chang Khian | Nong Hoi |
| pH | 5.53 | 6.49 |
| Electrical conductivity (µS /cm) | 15.30 | 22.55 |
| Organic matter (%). | 4.08 | 4.54 |
| Available phosphorus (mg/kg) | 29.58 | 122.17 |
| Exchangeable potassium (mg/kg) | 147.57 | 298.74 |
| Exchangeable calcium(mg/kg) | 427.87 | 1552.87 |
| Exchangeable magnesium (mg/kg) | 43.79 | 115.02 |

**Table2. Compost fertilizer properties**

| Properties | Analytical value |
|---|---|
| pH | 6.51 |
| Electrical conductivity (dS /cm) | 1.5 |
| Organic matter (%). | 26.30 |
| Total Nitrogen (%) | 1.32 |
| Total Phosphorus (%) | 1.96 |
| Total Potassium (%) | 2.45 |

ในเดือนมีนาคม ทำการตัดแต่งกิ่งของต้นกาแฟ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative phase) โดยการสุ่มวัดความสูงกาแฟอะราบิกา (วัดจากโคนต้นเหนือดินจนถึงปลายใบที่ยาวที่สุด) ความกว้างทรงพุ่ม (วัดจากขอบของเรือนยอดที่ปกคลุมจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง โดยแนววัดจะตัดกันเป็นกากบาทตั้งฉาก) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ที่ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังตัดแต่งกิ่ง (day after pruning: DAP) และทำการสุ่มเก็บตัวอย่างใบ (ใบคู่ 4-6 นับจากปลายกิ่ง) ที่ระยะ 90 วันหลังตัดแต่งกิ่ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบกาแฟอะราบิกา ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) (Novozamsky *et al*., 1974) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P) (Suwanwong, 2001) และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K) (Kalra, 1998)

ทำการเก็บผลผลิตกาแฟอะราบิกา (ผลกาแฟเชอร์รี่, coffee cherry) ในเดือนธันวาคม บันทึกปริมาณผลผลิตกาแฟ จากนั้นแบ่งผลกาแฟออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกทำการสุ่มผลผลิตจำนวน 100 ผล เพื่อทำการวัดขนาดผล (น้ำหนักผลและเส้นผ่านศูนย์กลาง) แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก (วิธีวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในใบ) ส่วนที่ 2 นำไปผลิตเป็นสารกาแฟ (green bean) โดยวิธีเปียก (wet process) (Angkasith and Warrit, 2004; Clarke and Macrae, 1985) เพื่อวิเคราะห์คุณภาพผลผลิต โดยวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของกะลากาแฟ (titratable acidity: TA) (Association of Official Analytical Chemists, 2000) และปริมาณคาเฟอีน (caffeine contents) ในสารกาแฟที่ผ่านการคั่วตามวิธีการของ Korsamphan (2011) โดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatograph; HPLC, ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น LC-20A) ตามวิธีการของ Minamisawa *et al*. (2004)

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) โดยใช้โปรแกรม Statistix 8.0 และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีทดลองโดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

### การเจริญเติบโต

ผลการศึกษา พบว่า ที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) การจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธีไม่ส่งผลให้ความสูงของต้นกาแฟแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Table 3) ที่ระยะเวลา 30 วันหลังตัดแต่งกิ่ง โดยต้นกาแฟมีความสูงอยู่ในช่วง 195.08 - 200.17 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม ที่ระยะ 60 และ 90 วันหลังตัดแต่งกิ่ง พบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1-3 ส่งผลให้ต้นกาแฟมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบกับการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 4 โดยการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้ต้นกาแฟมีความสูงมากที่สุด 228.17 และ 236.67 เซนติเมตร สำหรับความกว้างทรงพุ่มและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น พบว่า ที่ระยะ 30, 60 และ 90 วันหลังตัดแต่งกิ่ง การจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ความกว้างทรงพุ่มและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกาแฟแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยต้นกาแฟมีความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 158.52-167.45, 162.04-167.75 และ 163.03-171.12 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นอยู่ในช่วง 21.52-23.27, 23.10-24.76 และ 24.14-25.74 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากผลการศึกษาการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟในพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย พบว่า ที่ระยะเวลา 30 วันหลังตัดแต่งกิ่ง การจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธีไม่ส่งผลให้ความสูงของต้นกาแฟแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Table 4) โดยต้นกาแฟมีความสูงอยู่ในช่วง 121.92-221.62 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม ที่ระยะ 60 และ 90 วันหลังตัดแต่งกิ่ง พบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้ต้นกาแฟมีความสูงมากที่สุด 246.28 และ 252.84 เซนติเมตร เช่นเดียวกันกับในพื้นที่ศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) สำหรับความกว้างทรงพุ่มและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น พบว่า ที่ระยะ 30, 60 และ 90 วันหลังการตัดแต่งกิ่ง การจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ความกว้างทรงพุ่มและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกาแฟแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยต้นกาแฟมี

Table 3. Effects of different fertilizer managements on plant height, plant canopy and stem diameter of arabica coffee at Khun Chang Khian Highland Research and Training Center

| Treatment | Plant height (cm) | | | Plant canopy (cm) | | | Stem diameter (mm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 30 DAP | 60 DAP | 90 DAP | 30 DAP | 60 DAP | 90 DAP | 30 DAP | 60 DAP | 90 DAP |
| CFR | 200.17 | 224.75 a | 231.92 ab | 160.00 | 162.33 | 164.00 | 22.51 | 23.85 | 24.47 |
| CP | 198.67 | 219.50 ab | 230.78 ab | 167.45 | 167.75 | 171.12 | 22.00 | 23.71 | 24.43 |
| SSFM | 197.92 | 228.17 a | 236.67 a | 162.67 | 163.66 | 167.61 | 23.27 | 24.76 | 25.74 |
| Control | 195.08 | 207.22 b | 218.22 b | 158.52 | 162.04 | 163.03 | 21.52 | 23.10 | 24.14 |
| F-test $_{(0.05)}$ | ns | * | * | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| CV (%) | 4.93 | 4.88 | 3.96 | 3.55 | 4.47 | 3.75 | 6.06 | 8.94 | 4.82 |

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) test at 5% probability level, ns = non-significant, DAP = day after pruning

CFR = common fertilization rate for coffee

CP = compost fertilizer

SSFM = site-specific fertilizer managements

Table 4. Effects of different fertilizer managements on plant height, plant canopy and stem diameter of arabica coffee at Nong Hoi Highland Agricultural Research

| Treatment | Plant height (cm) | | | Plant canopy (cm) | | | Stem diameter (mm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 30 DAP | 60 DAP | 90 DAP | 30 DAP | 60 DAP | 90 DAP | 30 DAP | 60 DAP | 90 DAP |
| CFR | 221.62 | 221.74 b | 238.41 ab | 202.75 | 206.38 | 211.71 | 31.47 | 32.31 | 32.89 |
| CP | 215.62 | 219.89 b | 236.42 ab | 204.08 | 208.77 | 212.00 | 31.42 | 32.28 | 32.54 |
| SSFM | 121.92 | 246.28 a | 252.84 a | 203.50 | 207.03 | 211.99 | 31.78 | 32.44 | 33.22 |
| Control | 209.83 | 214.41 b | 219.91 b | 200.45 | 205.32 | 210.58 | 30.27 | 31.30 | 32.25 |
| F-test $_{(0.05)}$ | ns | * | * | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| CV (%) | 10.56 | 4.66 | 7.70 | 1.65 | 1.18 | 1.71 | 3.72 | 2.38 | 2.20 |

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) test at 5% probability level, ns = non-significant, DAP = day after pruning

CFR = common fertilization rate for coffee

CP = compost fertilizer

SSFM = site-specific fertilizer managements

ความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 200.45-204.08, 205.32-208.77 และ 210.58-212.00 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นอยู่ในช่วง 30.27-31.78, 31.30-32.44 และ 32.25-33.22 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากผลการศึกษาการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกาแฟอะราบิกาในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย พบว่า การใส่ปุ๋ย

ในกรรมวิธีที่ 1-3 ไม่ส่งผลให้การเจริญเติบโตของกาแฟอะราบิกา (ความสูง) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ชี้ให้เห็นว่าปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีความสูงของกาแฟอะราบิกาเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม เนื่องจากไนโตรเจนมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตทางกิ่งก้านสาขา ทำให้มีการสร้างใบใหม่เพิ่มขนาดพื้นที่ใบ และดัชนีพื้นที่ผิวใบ (LAI) เพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้พืชมีกระบวนการสังเคราะห์แสงเพิ่มสูงขึ้น (Torres-Olivar *et al*., 2014) ซึ่งจากการศึกษาของ Kraitong *et al*. (2015) พบว่าการจัดการธาตุอาหารของกาแฟโรบัสต้าตามค่าการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินและพืชทุกกรรมวิธี ไม่ทำให้ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดรอบต้นมีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Pomnoi (1994) พบว่า ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและจุลธาตุไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการศึกษาการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบกาแฟในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และพื้นที่สถานีวิจัยเกษตรที่สูงหนองหอย (Table 5) พบว่า การจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบกาแฟแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 2 พื้นที่ โดยในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) ใบกาแฟมีความเข้มข้นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อยู่ในช่วง 2.13-2.24, 0.14-0.16 และ 1.73-1.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในพื้นที่สถานีวิจัยเกษตรที่สูงหนองหอยใบกาแฟมีความเข้มข้นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในใบกาแฟอยู่ในช่วง 2.17-2.28, 0.14-0.15 และ 1.90-1.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการจัดการปุ๋ยทั้ง 2 พื้นที่ไม่ส่งผลให้ธาตุอาหารหลักในใบแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนโตรเจน จัดอยู่ในระดับต่ำ (2.20-2.28 เปอร์เซ็นต์) ระดับที่เหมาะสมของไนโตรเจนในใบกาแฟควรสูงกว่า 2.7 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ไม่พบอาการขาดไนโตรเจนในใบกาแฟในพื้นที่ทดลอง ในขณะที่ฟอสฟอรัส (0.14-0.16 เปอร์เซ็นต์) และโพแทสเซียม (1.78-1.98 เปอร์เซ็นต์) อยู่ในระดับที่เหมาะสมเพียงพอ โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในใบกาแฟที่วิเคราะห์ได้กับค่ามาตรฐานของธาตุอาหารหลักในใบกาแฟโดย Clifford and Wilson (1985) ทั้งนี้อาจเนื่องจากดินมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูงอัตราการใส่ปุ๋ยไม่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในใบ ซึ่งสอดคล้องกับ Winston *et al*. (1992) พบว่าการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0-14.38 กิโลกรัม/ต้น ไม่มีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบ ส่วนการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและจุลธาตุก็ไม่มีผลต่อการสะสมไนโตรเจนในใบที่ระยะสร้างเนื้อเมล็ดเช่นกัน

**ปริมาณ และคุณภาพผลผลิต**

ผลการศึกษาพบว่าการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อปริมาณและความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในผลผลิต ที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และสถานีเกษตรที่สูงหนองหอย (Table 6) พบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้กาแฟอะราบิกามีปริมาณผลผลิต (ผลกาแฟเชอร์รี่) สูงที่สุด 8.38 กิโลกรัม/ต้น และ 6.36 กิโลกรัม/ต้น ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย (กรรมวิธีที่ 4) อย่างมีนัยสำคัญ โดยกรรมวิธีที่ 4 ส่งผลให้กาแฟมีปริมาณผลผลิตต่ำที่สุด (4.60 กิโลกรัม/ต้น และ 4.69 กิโลกรัม/ต้น) สำหรับความเข้มข้นธาตุอาหารหลัก พบว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้ความเข้มข้นไนโตรเจนในผลกาแฟสูงที่สุด (2.23 และ 2.09 เปอร์เซ็นต์) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งมีความเข้มข้นไนโตรเจนต่ำที่สุด (1.96 และ 1.89 เปอร์เซ็นต์) สำหรับความเข้มข้นฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม พบว่าการจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นธาตุอาหารดังกล่าวในผลผลิตแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลกาแฟมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.14-0.15 และ 0.14-0.16 เปอร์เซ็นต์ และมีความเข้มข้นโพแทสเซียม อยู่ในช่วง 1.51-1.60 และ 1.79-1.83 เปอร์เซ็นต์

สำหรับคุณภาพผลผลิต พบว่า ในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ผลกาแฟ (ผลกาแฟเชอร์รี่) มีน้ำหนักผล และเส้นผ่านศูนย์กลางผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Table 7)

**Table 5. Effects of different fertilizer managements on nutrient concentration of leaf at 90 days after pruning at two locations**

| Treatment | Khun Chang Khian | | | Nong Hoi | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nutrient concentration (% Total) | | | Nutrient concentration (% Total) | | |
| | N | P | K | N | P | K |
| CFR | 2.23 | 0.16 | 1.79 | 2.22 | 0.15 | 1.97 |
| CP | 2.20 | 0.15 | 1.78 | 2.19 | 0.15 | 1.95 |
| SSFM | 2.24 | 0.14 | 1.90 | 2.28 | 0.15 | 1.98 |
| Control | 2.13 | 0.14 | 1.73 | 2.17 | 0.14 | 1.90 |
| F-test $_{(0.05)}$ | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| CV (%) | 7.30 | 9.05 | 7.82 | 6.64 | 6.61 | 9.06 |

ns = non-significant

CFR = common fertilization rate for coffee

CP = compost fertilizer

SSFM = site-specific fertilizer managements

**Table 6. Effects of different fertilizer managements on yield and nutrient concentration in green bean of arabica coffee at two locations**

| Treatment | Khun Chang Khian | | | | Nong Hoi | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Yield | Nutrient concentration (% Total) | | | Yield | Nutrient concentration (% Total) | | |
| | (kg/plant) | N | P | K | (kg/plant) | N | P | K |
| CFR | 7.28 a | 2.04 b | 0.14 | 1.54 | 5.89 ab | 2.05 ab | 0.16 | 1.82 |
| CP | 6.88 ab | 2.01 b | 0.14 | 1.53 | 4.97 bc | 1.91 bc | 0.16 | 1.81 |
| SSFM | 8.38 a | 2.23 a | 0.15 | 1.60 | 6.36 a | 2.09 a | 0.16 | 1.83 |
| Control | 4.60 b | 1.96 b | 0.14 | 1.51 | 4.69 c | 1.89 c | 0.14 | 1.79 |
| F-test $_{(0.05)}$ | * | * | ns | ns | * | * | ns | ns |
| CV (%) | 17.86 | 3.19 | 3.79 | 4.64 | 12.51 | 4.92 | 8.72 | 7.61 |

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) test at 5% probability level, ns = non-significant

CFR = common fertilization rate for coffee

CP = compost fertilizer

Table 7. Effects of different fertilizer managements on weight and diameter of coffee cherry and titrable acidity (TA) and caffeine content in roasted coffee bean of arabica coffee at two locations

| Treatment | Khun Chang Khian | | | | Nong Hoi | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fresh fruit coffee cherry | | Roasted coffee | | Fresh fruit coffee cherry | | Roasted coffee | |
| | Weight (g/fruit) | Diameter (mm) | TA (%) | Caffeine content (mg/g) | Weight (g/fruit) | Diameter (mm) | TA (%) | Caffeine content (mg/g) |
| CFR | 1.72 | 14.55 | 0.15 | 11.57 b | 1.46 | 12.91 | 0.13 | 10.20 b |
| CP | 1.68 | 14.54 | 0.14 | 11.53 b | 1.42 | 12.86 | 0.13 | 10.12 b |
| SSFM | 1.75 | 14.55 | 0.16 | 12.25 a | 1.49 | 13.14 | 0.13 | 11.29 a |
| Control | 1.64 | 14.50 | 0.14 | 11.53 b | 1.41 | 11.82 | 0.12 | 9.62 c |
| F-test $_{(0.05)}$ | ns | ns | ns | * | ns | ns | ns | * |
| CV (%) | 11.17 | 0.22 | 9.07 | 1.89 | 9.53 | 11.46 | 5.28 | 0.68 |

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) test at 5% probability level, ns = non-significant

CFR = common fertilization rate for coffee

CP = compost fertilizer

SSFM = site-specific fertilizer managements

โดยผลกาแฟมีน้ำหนักผล อยู่ในช่วง 1.64-1.72 กรัม/ผล และเส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย อยู่ในช่วง 14.50-14.55 มิลลิเมตร สำหรับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ในกะลากาแฟ พบว่า การจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธีไม่ส่งผลให้กะลากาแฟมีปริมาณกรดทั้งหมดไทเทรตได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยกะลากาแฟมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้อยู่ในช่วง 0.14-0.16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาถึงปริมารณคาเฟอีนในสารกาแฟ พบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้สารกาแฟมีปริมาณคาเฟอีนสูงที่สุด 12.25 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1, 2 และ 4 ส่วนพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย พบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1-4 ไม่ส่งผลให้ผลกาแฟ (ผลกาแฟเชอร์รี่) มีน้ำหนักผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ในกะลากาแฟแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลกาแฟมีน้ำหนักผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ในกะลากาแฟอยู่ในช่วง 1.41-1.49 กรัม/ผล 11.82-13.14 มิลลิเมตร และ 0.12-0.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับปริมาณคาเฟอีนในสารกาแฟ พบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้สารกาแฟมีปริมาณคาเฟอีนสูงที่สุด (11.29 มิลลิกรัม/กรัม) และกรรมวิธีที่ 4 ส่งผลให้สารกาแฟมีปริมาณคาเฟอีนน้อยที่สุด (9.62 มิลลิกรัม/กรัม)

ในส่วนของปริมาณผลผลิตในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย พบว่า การใส่ปุ๋ยกรรมวิธีที่ 1-3 ส่งผลให้กาแฟอะราบิกามีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีแบบเจาะจงเฉพาะพื้นที่ (SSFM) มีแนวโน้มให้ผลผลิตมากกว่ากรรมวิธีของเกษตรกรนิยมปฏิบัติในพื้นที่ (CFR) และใช้ปริมาณปุ๋ยน้อยกว่ากรรมวิธีของเกษตรกร นำมาซึ่งการประหยัดต้นทุนการผลิต บ่งบอกได้ว่าไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของเมล็ดกาแฟ เป็นหน่วยพื้นฐานในโปรตีน กรดนิวคลีอิก คลอโรฟิลล์ และส่วนประกอบอินทรีย์อื่นๆ และยังเป็น

องค์ประกอบสำคัญของระบบเอนไซม์และมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมทั้งหมดในพืช ไนโตรเจนจึงเป็นตัวกำหนดการให้ผลผลิต ซึ่ง Central Coffee Research Institute (2000) รายงานว่ากาแฟอะราบิกาที่ให้ผลผลิต (ผลเชอร์รี) 6,000 กิโลกรัม/ไร่ ต้องการธาตุไนโตรเจน (N) 13 กิโลกรัม/ไร่, ฟอสฟอรัส ($P_2O_5$) 2.3 กิโลกรัม/ไร่ และโพแทสเซียม ($K_2O_5$) 15 กิโลกรัม/ไร่ และจากการศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นว่ากาแฟอะราบิกาไม่ตอบสนองต่อปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ทั้งนี้เนื่องจากดินที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สูง การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมลงไปในดินจึงเป็นการใช้ปุ๋ยที่สิ้นเปลือง ทำให้เพิ่มต้นทุนการผลิตโดยไม่จำเป็น ในขณะการใช้ปุ๋ยตามกรรมวิธี SSFM ซึ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงชนิดเดียว สามารถให้ผลผลิตกาแฟอะราบิกาสูงสุด ทั้งสองพื้นที่การผลิต คือ 8.36 กิโลกรัม/ต้น และ 6.36 กิโลกรัม/ต้น ตามลำดับ ในส่วนความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในผลทั้ง 2 พื้นที่ พบว่า การจัดการปุ๋ยกรรมวิธี 1-3 ส่งผลให้ความเข้มข้นไนโตรเจนในผลแตกต่างอย่างกันมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม โดยการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้ความเข้มข้นไนโตรเจนสูงสุด (2.23 และ 2.09 เปอร์เซ็นต์) สอดคล้องกับการศึกษาของ de Lima *et al*. (2016) และ Bote *et al*. (2018) ปริมาณธาตุไนโตรเจนที่เพียงพอจะช่วยส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของผลผลิต เนื่องจากช่วยให้กิ่งก้านสาขาและใบเจริญเติบโตได้ดีขึ้น

สำหรับการประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธี SSFM นั้น ประเมินจากปริมาณธาตุอาหารที่กาแฟอะราบิกาดูดมาใช้และสะสมในผลเชอร์รี ซึ่งมีรายงานว่า 1 กิโลกรัมของผลเชอร์รี มีการสะสมไนโตรเจน 6.83 กรัม ฟอสฟอรัส 0.26 กรัม และโพแทสเซียม 3.73 กรัม (Korsamphan, 2014) และในการศึกษาในครั้งนี้ ได้ประมาณการผลผลิตของกาแฟอะระบิกาไว้ที่จำนวน 5 กิโลกรัม/ต้น ดังนั้นควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมไม่น้อยกว่า 34, 1.3 และ 3.73 กรัม/ต้น ตามลำดับ ในขณะที่ดินในพื้นที่ปลูกมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง จึงไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงธาตุเดียวในอัตรา 49.98 กรัม/ต้น ซึ่งเป็นอัตราที่ชดเชยปุ๋ยไนโตรเจนบางส่วนที่อาจสูญเสียเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในดิน เช่น การชะล้าง การถูกตรึง และการระเหย (Santasup, 2013) และจากผลการศึกษาพบว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธี SSFM กาแฟอะราบิกาให้ผลผลิต (ผลเชอร์รี) สูงที่สุดทั้งสองพื้นที่ (8.38 กิโลกรัม/ต้น ในพื้นที่ศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า และ 6.36 กิโลกรัม/ต้น ในพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย) ซึ่งมีการดูดใช้ไนโตรเจน (ปริมาณผลผลิต x ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในผลผลิตสด 1 กิโลกรัม) มาสะสมในผลผลิตเท่ากับ 57 และ 43 กรัม/ต้น ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องใกล้เคียงกับการประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในครั้งนี้

สำหรับคุณภาพผลผลิตในการทดลองพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย พบว่า การจัดการปุ๋ยกรรมวิธีที่ 1-3 ไม่ส่งผลให้น้ำหนักสดผล ขนาดผลผลิต (เส้นผ่านศูนย์กลาง) และกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม โดยมีค่าในช่วง 1.68-1.75 กรัม/ผล 14.54-14.55 มิลลิเมตร 0.14-0.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ 1.42-1.49 กรัม/ผล 12.86-12.91 มิลลิเมตร และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีแบบเจาะจงเฉพาะพื้นที่ (SSFM) มีแนวโน้มให้น้ำหนักผลสด ขนาดผลผลิต (เส้นผ่านศูนย์กลาง) และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ได้มากกว่า ทำให้เห็นว่าไนโตรเจนส่งผลให้มีน้ำหนักผลสด ขนาดของผลผลิตและปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เพิ่มขึ้น ในส่วนของปริมาณคาเฟอีน พบว่าการจัดการปุ๋ยกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้มีปริมาณคาเฟอีนสูงกว่าทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้พืชสังเคราะห์กรดอะมิโนซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารกลุ่มแอลคาลอยด์ โดยคาเฟอีนเป็นสารในกลุ่มแอลคาลอยด์ เมื่อสังเคราะห์ขึ้นไปที่ใบพืชเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่เจริญเติบโต เมื่อพืชออกดอกมีการเคลื่อนย้ายมายังดอกและเมื่อเกิดผลมีการเคลื่อนย้ายมาเก็บไว้ในส่วนของผล (Osotsapar, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chapin *et al*. (1990) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

ปริมาณมาก ทำให้มีการสะสมปริมาณคาเฟอีนมากเช่นกัน โดยไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมี ซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตกาแฟมีความเป็นประโยชน์ได้รวดเร็วกว่าจากแหล่งปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งต้องใช้เวลาย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารมาใช้ประโยชน์ (Ahmad *et al*., 2006; Ibrahim and El-Samad 2009; Mufwanzala and Dikinya, 2010) นอกจากนั้น Gonthier *et al*. (2011) พบว่า ต้นกาแฟที่สะสมไนโตรเจนมากมีความเข้มข้นของคาเฟอีนมากกว่าในต้นกาแฟที่มีการสะสมไนโตรเจนปานกลาง และต่ำ เป็นที่น่าสังเกตว่า กรรมวิธีที่ 3 ที่ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 21-0-0 ซึ่งเป็นปุ๋ยแอมโมเนียซัลเฟต ทำให้กาแฟอะราบิกาได้รับธาตุอาหารซัลเฟอร์ (ในรูปซัลเฟต) เพิ่มเติม ซึ่งธาตุอาหารซัลเฟอร์นั้น มีบทบาทในการส่งเสริมการดูดใช้ไนโตรเจน (Aspel *et al.* 2002; Powlson and Dawson, 2020) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ (Table 4) ที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนในผลผลิตกาแฟของกรรมวิธีที่ 3 สูงกว่ากรรมวิธีที่ 1 และ 2 ซึ่งการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้มีปริมาณคาเฟอีนสูงที่สุดทั้งสองพื้นที่การผลิต (12.25 และ 11.29 มิลลิกรัม/กรัม)

ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมต่อกาแฟอะราบิกาโดยพิจารณาถึงปริมาณความต้องการธาตุอาหารของกาแฟอะราบิกาและปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมที่จะนำมาวางแผนการจัดการธาตุอาหารเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตและคุณภาพที่ดี ทำให้การจัดการปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเกินความจำเป็น ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิต

## สรุป

การศึกษาการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อผลผลิตและคุณภาพของกาแฟอะราบิกาบนพื้นที่สูง จังหวัดเชียงใหม่ แสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยทุกกรรมวิธี (กรรมวิธีที่ 1-3) ไม่ส่งผลให้กาแฟอะราบิกามีการเจริญเติบโต (ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น) ปริมาณและคุณภาพผลผลิตแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ซึ่งประเมินจากอัตราการใส่ปุ๋ยจากความต้องการธาตุอาหารของกาแฟอะราบิกา และความเป็นประโยชน์ธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินมีแนวโน้มส่งผลให้กาแฟอะราบิกามีความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง และปริมาณผลผลิตมากที่สุด โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 49.98 กรัม/ต้น กาแฟอะราบิกาที่ปลูก ณ สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย ให้ผลผลิตเฉลี่ย 8.38 กิโลกรัม/ต้น และ 6.36 กิโลกรัม/ต้น ตามลำดับ การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมโดยประเมินจากความต้องการธาตุอาหารของพืชและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ย ตลอดจนช่วยลดต้นทุนการผลิตที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยที่มากเกินความจำเป็น

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเคมีดิน และห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ดินและพืช

## เอกสารอ้างอิง

Ahmad, R., A. Naseer, A. Zahir, M. Arshad, T. Sultan and M.A. Ullah. 2006. Integrated use of recycled organic waste and chemical fertilizers for improving maize yield. International Journal of Agriculture and Biology 8(6): 840-843.

Angkasith, P. and B. Warrit. 2004. Cultivation and Production of Arabica Coffee at High Altitudes. High Research and Training Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 299 p. (in Thai)

Aspel, C., P.N.C. Murphy, M.J. McLaughlin and P.J. Forrestal. 2022. Sulfur fertilization strategy affects grass yield, nitrogen uptake, and nitrate leaching: A field lysimeter study.

Journal of Plant Nutrition and Soil Science 185(2): 209-220.

Association of Official Analytical Chemists. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. 771 p.

Bote, A.D., B. Ayalew, F.L. Ocho, N.P.R. Anten and J. Vos. 2018. Analysis of coffee (*Coffea arabica* L.) performance in relation to radiation levels and rates of nitrogen supply I. Vegetative growth, production and distribution of biomass and radiation use efficiency. European Journal of Agronomy 92: 115-122.

Central Coffee Research Institute. 2000. Coffee Guide. 6th ed. Central Coffee Research Institute, Karnataka. 329 p.

Chapin, F.S., E. Schulze and H.A. Mooney. 1990. The ecology and economics of storage in plants. Annual Review of Ecology and Systematics 21: 423-447.

Chiangmai Land Development Station. 2023. Soil series map of Chiang Mai. (Online) Available: http://www.chiangmailand.go.th/data/soil/soil_series.html (October 6, 2023). (in Thai)

Clarke, R.J. and R. Macrae. 1985. Coffee: Volume 1: Chemistry. Elsevier Applied Science, London. 306 p.

Clifford, M.N and K.C. Willson. 1985. Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage. The AVI Publishing Company, Westport, Connecticut. 457 p.

De Lima, L.C., A.C. Goncalves, A.L.T. Fernandes, R.D.O. Silva and R.M.Q. Lana. 2016. Growth and productivity of coffee irrigated according to different sources of nitrogen. Coffee Science 11(1): 97-107.

Department of Agricultural Extension. 2011. Cultivation of arabica coffee. (Online). Available: https://esc.doae.go.th/wp-content/uploads/2020/02/Arabica.pdf (July 1, 2023). (in Thai)

Department of Trade Negotiations. 2022. Coffee products. (Online). Available: https://api.dtn.go.th/files/v3/6253f844ef4140eb2c3b124e/download (February 3, 2023). (in Thai)

Gonthier, D.J., J.D. Witter, A.L. Spongberg and S.M. Philpott. 2011. Effect of nitrogen fertilization on caffeine production in coffee (*Coffea arabica*). Chemoecology 21: 123-130.

Ibrahim, A.M. and G.A.A. El-Samad. 2009. Effect of different irrigation regimes and partial substitution of N-mineral by oganic manures on water use, growth and productivity of pomegranate trees. European Journal of Scientific Research 38(2): 199-218.

International Coffee Organization. 2021. The future of coffee investing in youth for a resilient and sustainable coffee sector. (Online). Available: https://www.internationalcoffeecouncil.com/_files/ugd/0dd08e_b2c2768ae87045e383962ce14ef44925.pdf (February 3, 2023).

Kalra, Y. P. 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Boca Raton, Florida. 287 p.

Korsamphan, C. 2011. Process Coffee Roasted Production for Farmer. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 36 p. (in Thai).

Korsamphan, C. 2014. Arabica Coffee. Wanida Printing Company, Chiang Mai. 71 p. (in Thai)

Korsamphan, C., V. Boonma, C. Chumpan and W. Keawwijit. 2019. Physical and cup quality of selected arabica coffee varieties in the

Royal Project promoted and development area. Research report. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 95 p. (in Thai)

Kraitong, T., Y. Kasinkasamepong, P. Ngangoranatigarn and O. Nuthong. 2015. Plant nutrition management of robusta coffee based on soil and plant fertility evaluation. Research report. Chumphon Horticultural Research Centre, Chumphon. 63 p. (in Thai)

Land Development Department. 2007. Soil improvement and soil amendments for coffee production. (Online). Available: http://www.ldd. go.th/menu_Dataonline/ G2/G2_10. Pdf (September 6, 2020). (in Thai)

MaeTha District Agricultural Extension Office. 2013. Pruning method. (Online) Available: http://www.lampang.go.th/db_lap/km/50/50 _2.doc (September 6, 2020). (in Thai)

Melke, A. and F. Ittana. 2015. Nutritional requirement and management of arabica coffee ( *Coffea arabica* L.) in Ethiopia: National and global perspectives. American Journal of Experimental Agriculture (5): 400-418.

Minamisawa, M., S. Yoshida and N. Takai. 2004. Determination of biologically active substances in roasted coffees using a diode-array HPLC system. Analytical Sciences 20: 325-328.

Mitchell, H.W. 1988. Cultivation and harvesting of arabica coffee tree. pp. 43-90. *In*: R.J. Clarke and R. Macre (eds.). Coffee: Volume 4: Agronomy. Elsevier Applied Science, London.

Mufwanzala, N. and O. Dikinya. 2010. Impact of poultry manure and its associated salinity on the growth and yield of spinach (*Spinacea oleracea*) and carrot (*Daucus carota*). International Journal of Agriculture & Biology 12(4):489-494.

Naka, P., P. Ngangoranathikarn, M. Hunthavee, S. Thuantavee, Y. Kasinkasamepong and P. Wutisin. 2004. Coffee. Horticulture Research Institute. Department of Agriculture, Bangkok. 80 p. (in Thai)

Novozamsky, I., R. van Eck, J. Ch. van Schouwenburg, and I. Walinga. 1974. Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol-blue method. Netherlands Journal of Agricultural Science 22: 3-5.

Osotsapar, Y. 2000. Plant Nutrients. Kasetsart University Press, Bangkok. 424 p. (in Thai)

Pomnoi, K. 1994. Effect of Nitrogen, Phosphorous and Trace Elements on Growth and Yield of arabica coffee plants. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 115 p. (in Thai)

Powlson, D.S. and C.J. Dawson. 2022. Use of ammonium sulphate as a sulphur fertilizer: implications for ammonia volatilization. Soil Use and Management 38(1): 622-634.

Santasup, C. 2013. Nutrient management. pp. 227-238. *In:* T. Rudcharate, W. Kumpoun and T. Jaroenkit (eds.). Mango: Production and Post Harvest Technology. Wanida Printing Company, Chiang Mai. (in Thai)

Suwanwong, S. 2001. Analysis of Plant Nutrients. Kasetsart University Press, Bangkok. 141 p. (in Thai)

Torres-Olivar, V., O.G. Villegas-Torres, M.L. Dominguez-Patino, H. Sotelo-Nava, A. Rodriguez-Martinez, R.M. Melgoza-Aleman, L.A. Valdez-Aguilar and I. Alia-Tejacal. 2014. Role of nitrogen and nutrients in crop nutrition. Journal of Agricultural Science and Technology 4: 29-37.

Winston, E.C., J. Littlemore, P. Scudamore-Smith, P.J. O'Farrell, D. Wiffen and V.J. Doogan. 1992. Effect of nitrogen and potassium on growth and yield of coffee (*Coffea arabica* L.) in tropical Queensland. Australian Journal of Experimental Agriculture 32(2): 217-224.

# ผลของระดับอินทรียวัตถุต่อรูปคาร์บอนอินทรีย์ในดิน การดูดใช้ธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน

# Effects of Organic Matter Levels on Soil Organic Carbon Fractions, Nutrient Uptake, and Growth and Development of Sweet Corn (*Zea mays var. rugosa*)

**สุทธิพันธ์ เพชรช่วย, จำเป็น อ่อนทอง, จักรกฤษณ์ พูนภักดี และ ขวัญตา ขาวมี***
Suttipan Phetchuay, Jumpan Onthong, Chakkrit Poonpakdee and Khwunta Khawmee*

*สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ*
*มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ. สงขลา 90110*
*Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources,*
*Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla 90110, Thailand*
**Corresponding author: Email: khwunta.k@psu.ac.th*

*(Received: 21 November 2022; Accepted: 20 October 2023)*

**Abstract:** Organic matter (OM) is an organic compound that contains mainly organic carbon which is composed of labile and recalcitrant organic carbon. Soil organic carbon plays a significant role in soil properties improvement, increasing soil fertility and productivity. Therefore, the effects of organic matter levels on soil properties, soil organic carbon fractions, nutrient uptake, and growth of sweet corn in a pot were studied. Soil sample with low organic matter was collected and adjusted soil organic matter at different levels with cow manure (2, 3, and 4% OM) at 5 replications in a completely randomized design. Increasing soil organic matter levels resulted in a decrease in soil bulk density. In contrast, field capacity, soil pH, total nitrogen, available phosphorus, extractable potassium, calcium, and magnesium, very labile and labile fraction of organic carbon in the soil, nutrient uptake, and growth of sweet corn were increased as compared to the control treatment. Therefore, the result indicated that increasing organic matter in soil not only promoted sweet corn's growth rate, but also improved soil properties, increasing labile soil organic carbon fraction and enhancing plant nutrients level.

**Keyword:** Soil organic carbon fraction, soil organic matter, nutrient uptake, sweet corn


Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: อินทรียวัตถุ (OM) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอนอินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนอินทรีย์รูปที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย (labile) และรูปที่ย่อยสลายได้ยากและมีความเสถียร (recalcitrant) คาร์บอนอินทรีย์แต่ละรูปในดินมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงสมบัติดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และผลิตภาพดินที่แตกต่างกัน จึงศึกษาผลของระดับอินทรียวัตถุต่อสมบัติดิน รูปคาร์บอนอินทรีย์ การดูดใช้ธาตุอาหารพืช และการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานในกระถาง โดยเก็บตัวอย่างดินที่มีอินทรียวัตถุระดับต่ำและปรับอินทรียวัตถุในดินให้มีระดับที่แตกต่างกันด้วยมูลวัว (2, 3 และ 4% OM) จำนวน 5 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อระดับอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง ในขณะที่ความจุความชื้นสนาม ความเป็นกรด-ด่างของดิน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ คาร์บอนอินทรีย์รูปที่ย่อยสลายได้ง่ายมากและย่อยสลายได้ง่ายในดินเพิ่มขึ้น อีกทั้งส่งผลให้การดูดใช้ธาตุอาหารพืช และการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่เติมอินทรียวัตถุ ดังนั้น จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มอินทรียวัตถุในดินในไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวโพด แต่ยังช่วยปรับปรุงสมบัติดิน เพิ่มคาร์บอนอินทรีย์ในรูปที่ย่อยสลายได้ง่าย และเพิ่มระดับธาตุอาหารให้แก่พืช

**คำสำคัญ**: รูปคาร์บอนอินทรีย์ในดิน อินทรียวัตถุในดิน การดูดใช้ธาตุอาหาร ข้าวโพดหวาน

## คำนำ

อินทรียวัตถุในดินมีความสำคัญในการปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของดิน มีบทบาทสำคัญในการดูดซับธาตุอาหารพืชในดินเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตของพืช (Lee, 2010) มีรายงานระดับอินทรียวัตถุในดินทั่วไปที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 1.5-3.5 (Intaravicha *et al*., 2019) ทั้งนี้องค์ประกอบส่วนใหญ่ในอินทรียวัตถุประกอบด้วยคาร์บอนอินทรีย์ มีทั้งรูปที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายและค่อย ๆ เป็นประโยชน์ต่อพืช (Souza *et al*., 2016) ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการเกิดเม็ดดินขนาดใหญ่ (Majumder *et al*.,2007) มีการศึกษารูปคาร์บอนอินทรีย์ในดิน 4 รูป ได้แก่ รูปที่ย่อยสลายได้ง่ายมาก (very labile: F1) รูปที่ย่อยสลายง่าย (labile: F2) รูปที่ย่อยสลายได้ยาก (less labile: F3) และรูปที่ย่อยสลายได้ยากมาก (recalcitrant: F4) (Majumder *et al*., 2007) โดยมีรายงานว่า รูป F1 และ F2 เป็นรูปที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงภายใต้การจัดการดิน (Blair *et al*., 1995) มีการศึกษาผลการใช้ปุ๋ยคอกต่อรูปคาร์บอนอินทรีย์ในดินปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่า เมื่อมีการใช้ปุ๋ยคอกติดต่อกันเป็นระยะเวลานานในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ส่งผลให้มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สะสมในดินสูงกว่าดินที่มีการใช้เฉพาะปุ๋ยเคมี อีกทั้งเพิ่มคาร์บอนอินทรีย์รูปที่ย่อยสลายได้ง่าย ที่ประโยชน์ต่อพืชได้ง่าย ซึ่งอยู่ในรูปที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย ส่วนใหญ่จะเป็นคาร์บอนในสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น แป้ง เซลลูโลส เป็นต้น (Gong *et al*., 2009) และมีรายงานการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในระยะยาวสามารถเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (F3 และ F4) (Liu *et al*., 2018) และอินทรียวัตถุสามารถปรับปรุงสมบัติของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้น ทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมลดลง และเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำภายในดิน ซึ่งจากการศึกษาคุณภาพของดินหลังการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ส่งผลให้ดินมีความร่วนซุย และความหนาแน่นรวมของดินลดลง อีกทั้งสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ทำให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (Zhang *et al*., 2016) และช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชเมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (Boonyen and Inthasan, 2015)

การเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดินสามารถส่งเสริมการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ส่งผลให้พืชมีผลผลิตและการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยมีรายงานการใช้

ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลต่อการเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้น (Domyos *et al.*, 2018) และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตทั้งความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น รวมทั้งการดูดใช้ธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น (Lee, 2010) ทั้งนี้ การเพิ่มอินทรียวัตถุในดินควรปรับปรุงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารพืช สอดคล้องกับการเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดินอยู่ในระดับร้อยละ 3.4 โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น (Boonyen and Inthasan, 2015)

จากรายงานที่ผ่านมา พบว่า คาร์บอนอินทรีย์รูป F1 และ F2 เป็นรูปที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงภายใต้การจัดการดิน (Blair *et al.*, 1995) ทั้งนี้การศึกษาการจัดการอินทรียวัตถุในดินต่อรูปคาร์บอนอินทรีย์เป็นการศึกษาในระยะยาว จึงจะสามารถเห็นความแตกต่างระหว่างคาร์บอนอินทรียวัตถุในรูปที่ย่อยสลายได้ง่ายและรูปที่ค่อนข้างเสถียร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการใช้ปุ๋ยระยะยาว ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยคอกต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 15 ปี คาร์บอนอินทรีย์รูปที่ค่อนข้างเสถียรเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Ding *et al.*, 2016) ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการจัดการระดับอินทรียวัตถุในระยะสั้น โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของระดับอินทรียวัตถุต่อสมบัติดิน รูปคาร์บอนอินทรีย์ การดูดใช้ธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนและหลังปลูกข้าวโพด

เก็บตัวอย่างดินจากแปลงที่มีอินทรียวัตถุในดินระดับต่ำ บริเวณตำบลคลองหอยโข่ง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา (พิกัด 6.854797N, 100.354429E) ซึ่งชุดดินที่เก็บคือ ชุดดินคลองท่อม (fine-loamy, kaolinitic, isohyperthermic Typic Kandiudults) เก็บที่ความลึก 0-30 cm ผึ่งให้แห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 2.0 mm เพื่อวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของดิน สภาพนำไฟฟ้าของดิน ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ และร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 0.50 mm เพื่อวิเคราะห์อินทรียวัตถุในดิน (Onthong and Poonpakee, 2017) และนำดินที่เหลือร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องกว้าง 2.0 cm สำหรับใช้ปลูกข้าวโพดหวาน

เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวม สภาพความจุความชื้นสนาม ความเป็นกรด-ด่าง ค่าสภาพนำไฟฟ้า ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียมที่สกัดได้ และอินทรียวัตถุ (Blake and Hartge, 1986; Onthong and Poonpakee, 2017) และวิเคราะห์รูปคาร์บอนอินทรีย์ตามวิธี modified Walkley and Black (Chan *et al.*, 2001) โดยใช้โพแทสเซียมไดโครเมต ออกซิไดซ์คาร์บอน และใช้กรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน และไทเทรตด้วยเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต เพื่อให้ได้คาร์บอนอินทรีย์รูปต่าง ๆ ดังนี้ คาร์บอนอินทรีย์รูป F1 ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 6 M คาร์บอนอินทรีย์รูป F2 ได้จากผลต่างของคาร์บอนอินทรีย์ที่ได้จากการใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 9 M และ 6 M คาร์บอนอินทรีย์รูป F3 ได้จากผลต่างของคาร์บอนอินทรีย์ที่ได้จากการใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 12 M และ 9 M และคาร์บอนอินทรีย์รูป F4 ได้จากผลต่างของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด และคาร์บอนอินทรีย์ที่ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 12 M โดยคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินใช้กรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 12 M และเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส

### การวางแผนการทดลองปลูกข้าวโพด

ทดลองปลูกข้าวโพดหวาน ณ บริเวณโรงเรือนคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ใช้ดินกระถางละ 3 กิโลกรัม (กระถางกลม เส้นผ่านศูนย์กลางปากกระถาง 20 cm เส้นผ่านศูนย์กลางก้นกระถาง 14 cm สูง 14 cm คิดเป็นปริมาตร 3.2 L) โดยใช้มูลวัวปรับระดับอินทรียวัตถุในดินให้ได้ระดับต่าง ๆ มูลวัวที่ใช้มีอินทรียวัตถุร้อยละ 27.19 ค่าพีเอช 7.5 ไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 2.13 ฟอสฟอรัสทั้งหมด ($P_2O_5$) ร้อยละ 1.58 โพแทสเซียมทั้งหมด ($K_2O$) ร้อยละ 0.26 แคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมดร้อยละ

1.10 และ 0.68 ตามลำดับ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) จำนวน 4 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ ประกอบด้วย กรรมวิธีที่ 1 ไม่เติมมูลวัว กรรมวิธีที่ 2-4 เติมมูลวัวทั้งหมด 82.8, 193.2 และ 303.3 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ เพื่อให้ได้ระดับอินทรียวัตถุร้อยละ 2.0 ร้อยละ 3.0 และ ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ปลูกข้าวโพดกระถางละ 3 เมล็ด ให้น้ำเป็นประจำทุกวัน หลังเมล็ดงอกสม่ำเสมอทำการถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อกระถาง เมื่อข้าวโพดอายุได้ 10 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยเกรด 15-15-15 อัตรา 2.00 กรัมต่อกระถาง และรดด้วยสารละลายเจือจางปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ A และ B โดยปิเปตสารละลายเข้มข้นปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์สูตรจาก สารละลาย Hoagland and Arnon (1938) มาอย่างละ 10 มิลลิลิตร ผสมลงในน้ำปริมาตร 1 ลิตร เพื่อใช้เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารอื่น ๆ ที่จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช รดสารละลายปุ๋ยเจือจางปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อกระถาง ทุกสัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการทดลอง

**การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและการวิเคราะห์ธาตุอาหารในข้าวโพดหวาน**

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง (วัดจากลำต้นส่วนเหนือดินถึงบริเวณข้อแรกบนสุดของต้น) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นโดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (วัดบริเวณลำต้นเหนือดิน 5 cm) และนับจำนวนใบ ณ สัปดาห์ที่ 4, 6 และ 8 เมื่อสิ้นสุดการทดลองชั่งน้ำหนักสดส่วนของราก ลำต้น และใบ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพื่อหาน้ำหนักแห้งของข้าวโพด และวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในพืช (Onthong and Poonpakee, 2017)

**การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

ทำการทดสอบข้อมูลทางสถิติ โดยนำข้อมูลรูปคาร์บอนอินทรีย์ สมบัติของดิน การเจริญเติบโต และปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพด มาวิเคราะห์ความแปรปรวน one-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ ด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

## ผลการศึกษา

**ผลการวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนและหลังปลูกข้าวโพดหวาน**

ผลการทดสอบสมบัติทั่วไปของดิน พบว่า ดินมีสภาพเป็นกรด ปริมาณอินทรียวัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำ และมีปริมาณธาตุอาหารหลักอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (Table 1)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าเมื่อเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดิน ส่งผลให้ดินมีความหนาแน่นรวมลดลง ความจุความชื้นสนามเพิ่มขึ้น (Table 2) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3)

**Table 1. Soil chemical properties before planting**

| Parameters | Value |
|---|---|
| Soil pH (soil: water, 1:5) | 4.81 |
| EC (dS $m^{-1}$) (soil: water, 1:5) | 0.10 |
| Soil orgnaic matter (%) | 1.25 |
| Total N (g $kg^{-1}$) | 0.84 |
| Available P (mg $kg^{-1}$) | 3.67 |
| Extractable K (mg $kg^{-1}$) | 30.58 |

Table 2. Effects of soil organic matter levels on soil physical properties

| Treatment | Bulk density[1] ($g\ cm^{-3}$) | Field water capacity[1] (%w/w) |
|---|---|---|
| Control | 1.43a | 26.81b |
| 2 %OM | 1.41a | 26.21b |
| 3 %OM | 1.31b | 31.38a |
| 4 %OM | 1.28b | 31.15a |
| F-test | ** | ** |
| C.V.(%) | 1.44 | 2.58 |

[1]Means within the same column followed by different letters showed significantly different treatments by the DMRT test

** = significant at $P \leq 0.01$

**รูปคาร์บอนอินทรียในดินปลูกข้าวโพดหวาน**

ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดินส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น (Table 3) และรูปคาร์บอนอินทรีย์แต่ละรูปเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะ F1 และ F2 แต่ F4 มีแนวโน้มลดลง (Table 4)

**การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน**

ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดินส่งผลให้การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและรากของข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้น (Figure 1) นอกจากนี้ข้าวโพดหวานมีน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของใบ ราก และลำต้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่เติมอินทรียวัตถุ โดยเฉพาะระดับอินทรียวัตถุในดินร้อยละ 3 มีแนวโน้มสูงสุด (Table 5)

นอกจากนี้การเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดินส่งผลต่อความสูงของข้าวโพดหวานได้อย่างชัดเจนตลอดระยะเวลาการทดลอง 8 สัปดาห์ สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น และจำนวนใบ พบว่า เมื่อเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดินส่งผลให้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่เติมอินทรียวัตถุ (Figure 2)

**ความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารพืชในข้าวโพดหวาน**

ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดิน ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพดหวานไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนลำต้น ฟอสฟอรัสในราก และไนโตรเจนทั้งในส่วนใบและราก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และพบว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นความเข้มข้นของแคลเซียมในส่วนลำต้นไม่แตกต่างกัน โดยพบความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมในส่วนของรากมากที่สุด ตามด้วยใบ และลำต้น ตามลำดับ (Figure 3) อีกทั้ง เมื่อเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดินส่งผลให้ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในส่วนใบและลำต้นมากกว่าส่วนราก ยกเว้นแคลเซียมในใบ ราก และลำต้นไม่แตกต่างกัน (Figure 4)

**Table 3.** Effects of soil organic matter levels on soil chemical properties

| Treatment | pH[1] (soil:water, 1:5) | EC[1] (dS $m^{-1}$) | OM[1] (g $kg^{-1}$) | Total N[1] (g $kg^{-1}$) | Available P[1] (mg $kg^{-1}$) | Extractable cation[1] (mg $kg^{-1}$) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | K | Ca | Mg |
| Control | 4.86c | 0.26a | 7.15d | 0.84c | 54.27d | 17.95b | 89.81d | 19.23d |
| 2 %OM | 5.15b | 0.12b | 12.90c | 0.91c | 100.15c | 24.41a | 229.29c | 63.12c |
| 3 %OM | 5.54a | 0.13b | 17.91b | 1.15b | 139.40b | 22.85a | 335.76b | 105.28b |
| 4 %OM | 5.63a | 0.18b | 22.99a | 1.43a | 214.47a | 39.89a | 491.85a | 191.40a |
| F-test | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| C.V.(%) | 14.75 | 8.91 | 8.86 | 4.99 | 10.87 | 15.69 | 23.73 | 11.91 |

[1]Means within the same column followed by different letters showed significantly different treatments by the DMRT test

** = significant at $P \leq 0.01$

**Table 4.** Effects of soil organic matter levels on soil organic matter and organic carbon fractions

| Treatment | TOC[1] (g $kg^{-1}$) | Fractions (g $kg^{-1}$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | F1[1] | F2[1] | F3[1] | F4[1] |
| Control | 10.61d | 2.09d | 2.06c | 0.69b | 5.77a |
| 2 %OM | 13.68c | 4.52c | 2.97bc | 1.37ab | 4.82ab |
| 3 %OM | 16.59b | 7.03b | 3.36ab | 1.32ab | 4.88ab |
| 4 %OM | 18.45a | 9.09a | 4.25a | 2.04a | 3.07b |
| F-test | ** | ** | ** | ** | * |
| C.V.(%) | 8.08 | 10.74 | 6.65 | 10.59 | 8.95 |

[1]Means within the same column followed by different letters showed significantly different treatments by the DMRT test

** = significant at $P \leq 0.01$

F1 = very labile; F2 = lablie; F3 = less labile; F4 = recalcitrant

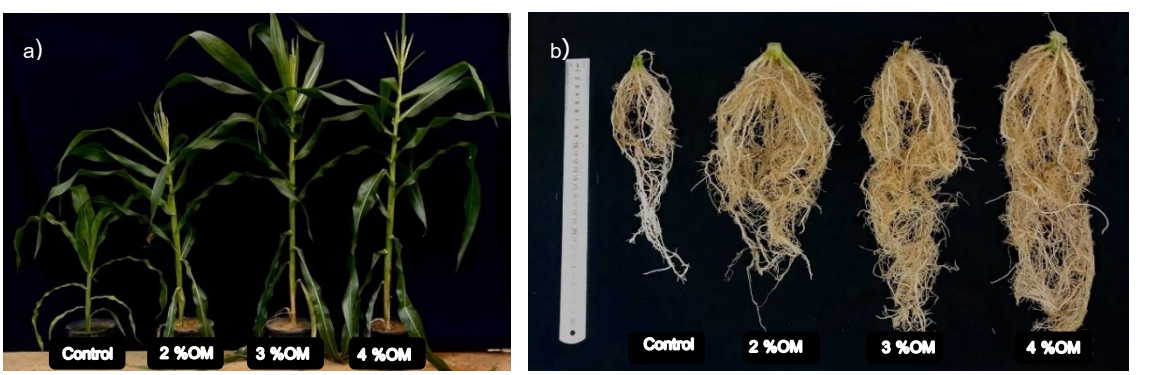



**Figure 1.** Effects of soil organic matter levels on growth of stem **(a)** and root **(b)** of sweet corn (8 week old)

**Table 5. Effects of soil organic matter levels on sweet corn biomass (g/pot)**

| Treatment | Leaf (g/pot) | | Root (g/pot) | | Stem (g/pot) | | Total (g/pot) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fresh[1] | Dry[1] | Fresh[1] | Dry[1] | Fresh[1] | Dry[1] | Fresh[1] | Dry[1] |
| Control | 23.58b | 3.07b | 10.42b | 0.76b | 19.07b | 1.14b | 53.07b | 4.97b |
| 2% OM | 90.28a | 15.85a | 64.70a | 7.84a | 152.69a | 17.27a | 307.67a | 40.96a |
| 3% OM | 106.53a | 18.37a | 58.91a | 5.90a | 171.27a | 18.76a | 336.70a | 43.00a |
| 4% OM | 104.79a | 18.12a | 57.94a | 5.92a | 166.47a | 16.68a | 329.21a | 40.73a |
| F-test | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| C.V.(%) | 10.32 | 10.83 | 11.10 | 13.48 | 11.89 | 12.85 | 10.95 | 11.54 |

[1]Means within the same column followed by different letters showed significantly different treatments by the DMRT test

** = significant at $P \leq 0.01$

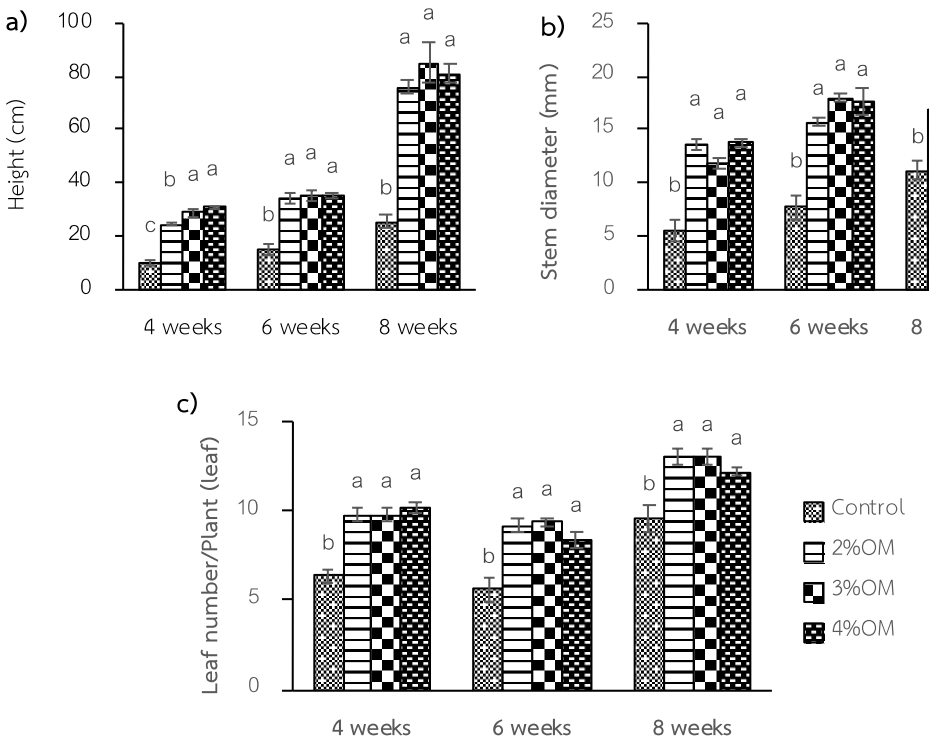



**Figure 2. Effects of organic matter levels on plant height (a) stem diameter (b) and leaf number (c) of sweet corn at 4-, 6- and 8- week old**

Different letters showed significantly different treatments by the DMRT test

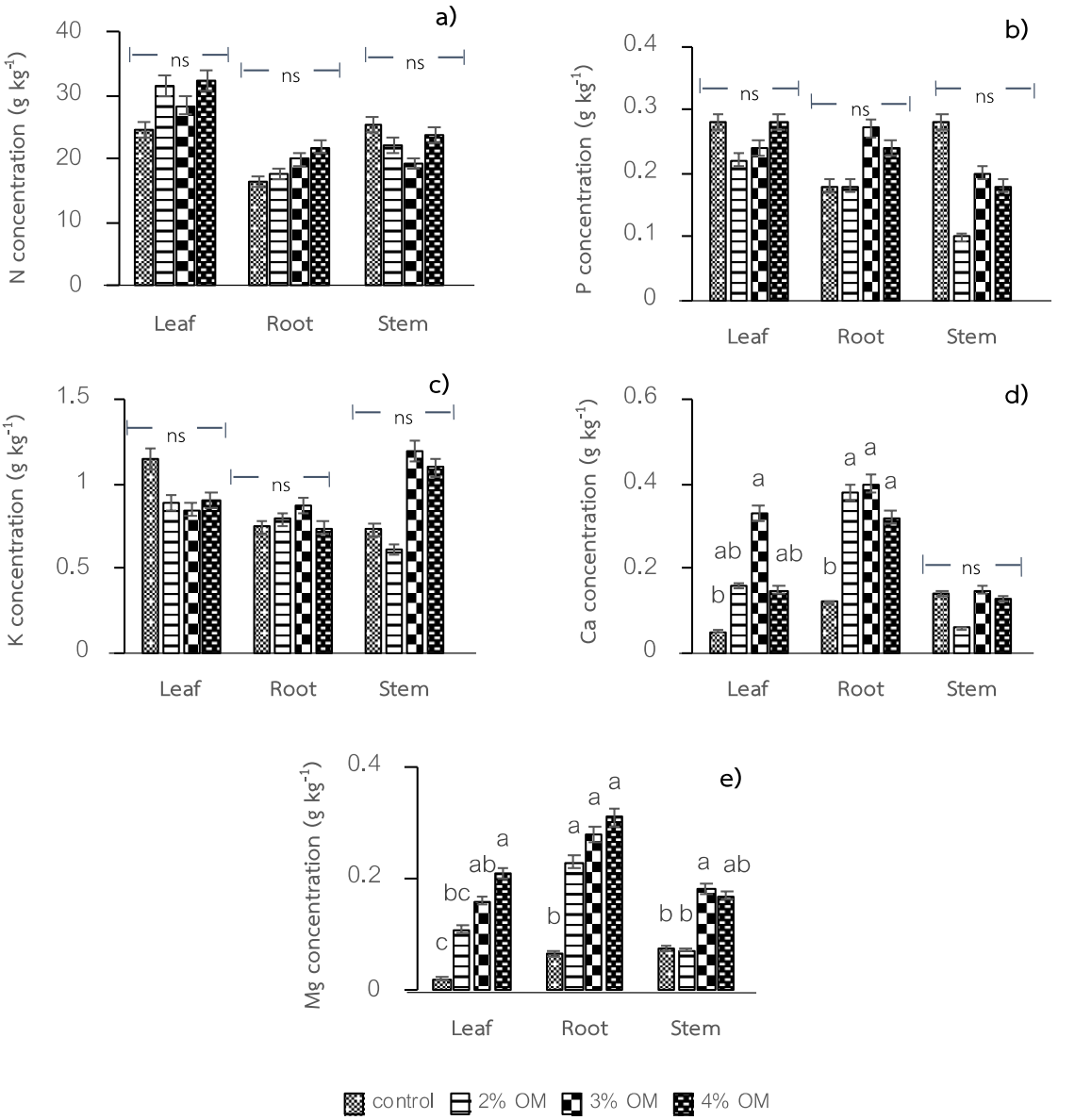



Figure 3. Effects of soil organic matter levels on nitrogen (a), phosphorus (b) potassium (c), calcium (d) and magnesium (e) concentration in sweet corn

Different letters showed significantly different treatments by the DMRT test, ns Not significant

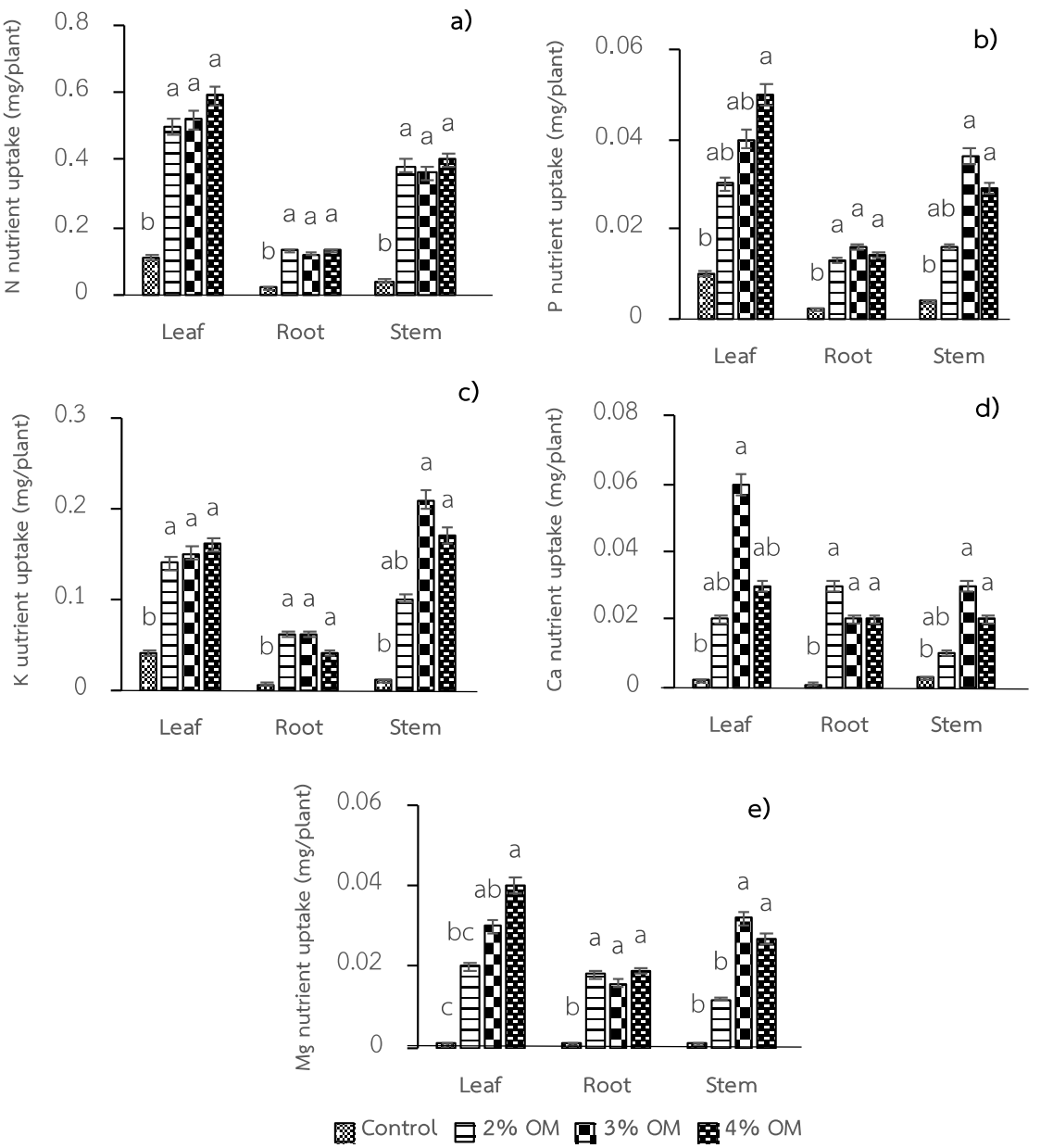



Figure 4. Effects of soil organic matter levels on nitrogen (a), phosphorus (b) potassium (c), calcium (d) and magnesium (e) uptake of sweet corn

Different letters showed significantly different treatments by the DMRT test

## วิจารณ์

### ผลของอินทรียวัตถุต่อสมบัติดินและรูปคาร์บอนอินทรีย์

ดินที่ใช้ศึกษาคือชุดดินคลองท่อม (fine-loamy, kaolinitic, isohyperthermic Typic Kandiudults) ซึ่งมีสมบัติดินทั่วไป ได้แก่ อินทรียวัตถุในดิน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ และมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ มีพัฒนาการของดินสูง (Land Development Department, 2005) สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ชุดดินคลองท่อม มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินเป็นกรด และอินทรียวัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำ (Tepnuan, 2011) เมื่อมีการปรับปรุงด้วยอินทรียวัตถุระดับต่าง ๆ พบว่า ความหนาแน่นรวมของดินลดลง ความจุความชื้นสนามเพิ่มขึ้น (Table 2) รวมทั้งค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น (Table 3) เนื่องจาก มูลวัวที่นำมาศึกษา มีองค์ประกอบของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมด แคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมดร้อยละ 2.13, 1.58, 0.26, 1.10 และ 0.68 ตามลำดับ จึงส่งเสริมให้ในดินมีธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่เติมอินทรียวัตถุ ทั้งนี้มีรายงานการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและสมบัติทางเคมีของดิน พบว่า ดินที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง เมื่อมีการเติมปุ๋ยอินทรีย์ในดิน ส่งผลให้ความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่เติมอินทรียวัตถุ ที่ใส่เฉพาะปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (Lee, 2010) อีกทั้งความหนาแน่นรวมของดินลดลงและเพิ่มความจุความชื้นสนามอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมูลสัตว์มีสมบัติทำให้ดินมีความร่วนซุย และเพิ่มช่องว่างในดิน ซึ่งส่งเสริมให้สามารถเพิ่มศักยภาพในการกักเก็บน้ำได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน พบว่า เมื่อมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน คือ ความหนาแน่นรวมของดินลดลง และความสามารถในการกักเก็บน้ำของดินเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่เติมอินทรียวัตถุ (Herencia *et al*., 2011)

การศึกษารูปคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่มีการปรับปรุงด้วยอินทรียวัตถุระดับต่าง ๆ ด้วยมูลวัว พบว่า ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น (Table 3) และรูปคาร์บอนอินทรีย์แต่ละรูปเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะรูป F1 และ F2 (Table 4) สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า รูป F1 และ F2 เป็นรูปที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงภายใต้การจัดการดิน (Blair *et al*., 1995) ซึ่งคาร์บอนอินทรีย์รูป F1 และ F2 เป็นคาร์บอนอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในรูปต่าง ๆ ซึ่งย่อยสลายได้ง่าย เป็นประโยชน์กับพืชได้ง่าย เช่น กลุ่มคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เซลล์ลูโลส และรูปของกรดอะมิโนต่าง ๆ (Matus *et al*., 2009) แต่คาร์บอนอินทรีย์รูป F4 พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงน้อยและมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มมูลวัว ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลการเหนี่ยวนำ (priming effect) เนื่องจากการใส่มูลวัวในปริมาณที่มากขึ้นไปกระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์มากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการย่อยสลายคาร์บอนอินทรีย์รูป F4 สอดคล้องกับที่มีรายงานว่าการเพิ่มวัสดุอินทรีย์ส่งผลให้เกิด priming effect เพิ่มขึ้น ทำให้เสถียรภาพของคาร์บอนอินทรีย์ในดินลดลง (Shahbaz *et al*., 2017) นอกจากมีรายงานว่า การใช้ปุ๋ยคอกในระยะยาว ส่งผลต่อปริมาณอินทรียวัตถุในดินปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งรูปที่ย่อยสลายได้ง่าย (F1 และ F2) และเพิ่มปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ส่วนที่ค่อย ๆ ย่อยสลาย (F4) เนื่องจากคาร์บอนอินทรีย์ในรูปนี้ส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนเชิงซ้อน เช่น ลิกนิน จึงส่งผลให้เกิดการย่อยสลายค่อนข้างยาก (Gong *et al*., 2009) และมีรายงานว่า คาร์บอนอินทรีย์รูป F3 และ F4 เกิดจากการสะสมอินทรียวัตถุเป็นระยะเวลานานซึ่งเป็นรูปที่ค่อนข้างเสถียร เป็นรูปที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบที่มีเสถียรภาพทางเคมีสูงและถูกย่อยโดยจุลินทรีย์อย่างช้า ๆ (Liu *et al*., 2018)

### ผลของระดับอินทรียวัตถุต่อความเข้มข้น การดูดใช้ธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของพืช

การศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพดหวาน หลังจากปลูกข้าวโพดหวานครบ 8 สัปดาห์ พบว่า เมื่อเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดิน ส่งผลให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชมีแนวโน้ม

เพิ่มขึ้น (Figure 3) สอดคล้องกับการศึกษาของ Boonyen and Inthasan (2015) พบว่า เมื่อมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มขึ้น สามารถเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในใบพืช ได้แก่ ไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม เนื่องจากนำไปใช้ในการสังเคราะห์และลำเลียงสารอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้น และมีรายงานการศึกษาผลการใช้ปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่า เมื่อมีการใช้ปุ๋ยคอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใช้ปุ๋ยคอก (Adekiya *et al*., 2020) อีกทั้งเมื่อระดับอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การดูดใช้ธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะส่วนใบและลำต้นมีการดูดใช้ธาตุอาหารพืชมากกว่าส่วนราก (Figure 4) จากการศึกษาของ Ayeni and Adetunji (2010) พบว่า เมื่อใส่มูลไก่ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะส่วนใบและลำต้นของพืช เนื่องจากพืชใช้ใบในกระบวนสังเคราะห์แสงและการสะสมอาหาร สอดคล้องกับการศึกษาของ Boonyen and Inthasan (2015) พบว่า ปริมาณของธาตุอาหารพืชในใบมากที่สุด ใน กรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มขึ้น อีกทั้งเมื่อมีการใส่มูลวัวส่งผลให้แคลเซียมและแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น แต่โพแทสเซียมลดลง เนื่องจากปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในมูลวัวมีสะสมอยู่เพียงร้อยละ 0.26 ซึ่งน้อยกว่าแคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมดในมูลวัว ทั้งนี้การปรับอินทรียวัตถุในการทดลองเป็นร้อยละ 2-4 สามารถส่งเสริมการเจริญเติบของพืชได้ดี ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดินซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 1.5-3.5 เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และเมื่อคิดเป็นอัตราต่อไร่ พบว่า การปรับอินทรียวัตถุในดินเป็นร้อยละ 2-4 ต้องใช้ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 6,240 - 12,480 กิโลกรัมต่อไร่

การวัดการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่า ต้นข้าวโพดเริ่มมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านไป 6 สัปดาห์ ทั้งส่วนของความสูง ขนาดของลำต้น และจำนวนใบต่อต้นที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Figure 2) และเมื่อครบ 8 สัปดาห์ พบว่า น้ำหนักสดและแห้งของต้นข้าวโพดหวานในกรรมวิธีที่เติมอินทรียวัตถุมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่เติมอินทรียวัตถุอย่างมีนัยสำคัญ (Table 5) เนื่องจากการเพิ่มอินทรียวัตถุทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง และความจุความชื้นสนามของดินเพิ่มขึ้น (Table 2) รวมทั้งทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดิน และปริมาณธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้น (Table 3) สอดคล้องกับการศึกษาของ Ayeni and Adetunji (2010) พบว่า เมื่อมีการใส่มูลไก่ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้น ทั้งด้านความสูง ขนาดของลำต้น และรากพืช อีกทั้งมีน้ำหนักแห้งของลำต้นและรากเพิ่มขึ้น

## สรุป

การใช้มูลวัวเพิ่มระดับอินทรียวัตถุให้แก่ดินปลูกข้าวโพดหวาน พบว่า เมื่อระดับอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะระดับอินทรียวัตถุในดินที่ร้อยละ 3.0 ส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง ความจุความชื้นสนาม ความเป็นกรด-ด่างของดิน และปริมาณธาตุอาหารในดิน รวมทั้งคาร์บอนอินทรีย์รูป F1 และ F2 ซึ่งเป็นรูปที่ย่อยสลายได้ง่าย เป็นประโยชน์กับพืชได้ง่ายเพิ่มขึ้นชัดเจน ส่งผลให้ข้าวโพดมีความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และการดูดใช้ธาตุอาหารพืชมากกว่าในกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่มูลวัว ดังนั้น การเพิ่มอินทรียวัตถุในดินช่วยปรับปรุงคุณภาพดิน โดยเฉพาะเพิ่มคาร์บอนอินทรีย์รูปที่ย่อยสลายได้ง่ายและธาตุอาหารพืช ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตดีขึ้น ทั้งนี้เกษตรกรสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการจัดการอินทรียวัตถุในดินเพาะปลูกอย่างเพียงพอ ต่อการเจริญเติบโตของพืชต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ งานวิจัยประเภทการทดลองทางวิทยาศาสตร์จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และทุนงบประมาณแผ่นดิน (แผนบูรณาการวิจัย และนวัตกรรม) สัญญาเลขที่ NAT620160c

## เอกสารอ้างอิง


Adekiya, A.O., W.S. Ejue, A. Olayanju, O. Dunsin, C.M. Aboyeji, C. Aremu, K. Adegbite and O. Akinpelu. 2020. Different organic manure sources and NPK fertilizer on soil chemical properties, growth, yield and quality of okra. Scientific Reports 10: 16083, doi:10.1038/s41598-020-73291-x.

Ayeni, L.S. and M.T. Adetunji. 2010. Integrated application of poultry manure and mineral fertilizer on soil chemical properties, nutrient uptake, yield and growth components of maize. Nature and Science 8(1): 60-67.

Blair, G.J., R.D. Lefroy and L.Lisle. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. Australian Journal of Agricultural Research 46(7): 1459-1466.

Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. pp. 363-375 *In*: A. Klute (2d.). Methods of Soil Analysis Part 1; Physical and Mineralogical Methods. 2nd., American Society of Agronomy, Inc., Madison, Winconsin.

Boonyen, S. and J. Inthasan. 2015. Effect of chemical fertilizer and organic fertilizer on soil fertility and yield of sweet corn (var. Hibrix 53) at Maewang district, Chiang Mai. Journal of Agricultural Research and Extension 32(1): 17-27. (in Thai)

Chan, K.Y., A. Bowman and A. Oates. 2001. Oxidizible organic carbon fractions and soil quality changes in an Oxic Paleustalf under different pasture leys. Soil Science 166(1): 61-67.

Domyos, S., P. Domyos and J. Saykaws. 2018. Using chemical fertilizer based on soil analysis in combination with organic fertilizers on growth and yield of sweet corn in Phatthalung soil series. Journal of Vocational Institute of Agriculture 2(1): 72-80. (in Thai).

Ding, S., S. Xue, and G. Liu. 2016. Effects of long-term fertilization on oxidizable organic carbon fractions on the Loess Plateau, China. Journal of Arid Land. 8:579-590.

Gong, W., X. Yan, J. Wang, T. Hu and Y. Gong. 2009. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat–maize cropping system in northern China. Geoderma 149(3-4): 318-324.

Herencia, J.F., P.A. Garcia-Galavis and C. Maqueda. 2011. Long-term effect of organic and mineral fertilization on soil physical properties under greenhouse and outdoor management practices. Pedosphere 21(4): 443-453.

Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1938. The Water-culture Method for Growing Plants without Soil. Circular 347. Agricultural Experiment Station, College of Agriculture, University of California, Berkeley. 40 p.

Intaravicha, N., S. Rakthai, P. Srigobue, A. Maksuwan, C. Kongsorn and R. Pinyai. 2019. The simple organic matter analysis by wet oxidation method for field study. Journal of Agricultural Vocational Education Institute 3(2): 24-32. (in Thai).

Land Development Department. 2005. Characteristics and properties of established soil series in the peninsular and southeast coast regions of Thailand. Office of Soil Survey and Land Use

Planning, Land Development Department, Bangkok. 120 p. (in Thai)

Lee, J. 2010. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. Scientia Horticulturae 124(3): 299-305.

Liu, H., J. Zhang, Z. Ai, Y. Wu, H. Xu, Q. Li, S. Xue and G. Liu. 2018. 16- Year fertilization changes the dynamics of soil oxidizable organic carbon fractions and the stability of soil organic carbon in soybean- corn agroecosystem. Agriculture, Ecosystems and Environment 265: 320-330.

Majumder, B., B. Mandal, P.K. Bandyopadhyay and J. Chaudhury. 2007. Soil organic carbon pools and productivity relationships for a 34 year old rice– wheat– jute agroecosystem under different fertilizer treatments. Plant and Soil 297(1-2): 53-67.

Matus, F.J., M. Escudey, J.E. Förster, M. Gutiérrez and A.C. Chang. 2009. Is the Walkley–Black method suitable for organic carbon determination in Chilean volcanic soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 40(11-12): 1862-1872.

Onthong, J. and C.Poonpakee. 2017. Soil and Plant Analysis Handbook. Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkla. (in Thai)

Shahbaz, M., Y. Kuzyakov and F. Heitkamp. 2017. Decrease of soil organic matter stabilization with increasing input: mechanisms and controls. Geoderma 304: 76-82.

Souza, G.P.de., C.C.de. Figueiredo and D.M.G.de. Sousa. 2016. Relationships between labile soil organic carbon fractions under different soil management systems. Scientia Agricola 73(6): 535-542.

Tepnuan, J. 2011. Predicting phosphorus fertilizer by sorption isotherm of acid upland soil in southern Thailand. M.S. Thesis. Prince of Songkla University. Songkla. 96 p. (in Thai)

Zhang, Z., X. Zhang, M. Mahamood, S. Zhang, S. Huang and W. Liang. 2016. Effect of long-term combined application of organic and inorganic fertilizers on soil nematode communities within aggregates. Scientific Reports 6:31118, doi: 10.1038/srep3118.

# ผลของตำแหน่งคู่ใบและมาตรฐานการเพาะปลูกต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตพืชกระท่อม

# Effects of Leaf Positions and Crop Production Standards on Quantity and Quality of Kratom Yields

**จิรภรณ์ หนูในน้ำ[1] ธีรศักดิ์ สุขดี[1] สมชาย ศรีวิริยะจันทร์[2] และ ทัศนี ขาวเนียม[1*]**

Jiraphon Nunainam[1], Teerasak Sukdee[1], Somchai Sriwiriyajan[2] and Tassanee Khawniam[1*]

*[1] สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ*

*มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ. สงขลา 90110*

*[1]Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources,*

*Prince of Songkla University, Songkhla 90110, Thailand*

*[2]สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์*

*มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ. สงขลา 90110*

*[2]Division of Health and Applied Sciences, Faculty of Science,*

*Prince of Songkla University, Songkhla 90110, Thailand*

**Corresponding author: Email: tassanee.kh@psu.ac.th*

*(Received: 6 June 2023; Accepted: 15 January 2024)*

**Abstract:** Kratom is a medicinal plant that has been cultivated in Thailand for a long time. Cultivation under crop production standard can enhance crop quantity and quality. It is essential to pay attention from the land preparation to appropriate post-harvest management process. The purpose of this research was to study the effects of leaf positions on the quantity and quality of kratom leaf yield under organic agricultural standards (OAS) and good agricultural practices (GAP). The 2$^{nd}$, 3$^{rd}$, 4$^{th}$, and 5$^{th}$ leaf positions were collected from both crop standards. The results demonstrated that the leaves from OAS gave average dry weight, leaf area, and leaf green value (a*) higher than those of the GAP. For the leaf positions, the 2$^{nd}$, 3$^{rd}$, and 4$^{th}$ positions of leaf had no difference fresh weight, dry weight, and leaf area. The comparison of 8 and 10-month-old kratom yields after transplanting under OAS and GAP standards was done. The results revealed that 8-month-old kratom of OAS gave higher average number of leaves, fresh weight, and dry weight than those of GAP. Regarding mitragynine content, the result showed no statistical difference between the two crop standards.

**Keywords:** Kratom, leaf positions, mitragynine, organic agriculture, good agricultural practices



Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: กระท่อมเป็นพืชสมุนไพรที่มีการปลูกมาอย่างยาวนานในประเทศไทย การเพาะปลูกพืชภายใต้มาตรฐานทางการเกษตรเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ซึ่งจำเป็นต้องให้ความสำคัญตั้งแต่การเตรียมแปลงปลูก ตลอดจนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของตำแหน่งคู่ใบต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตใบกระท่อมภายใต้การเพาะปลูกพืชตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์และมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) โดยเก็บตัวอย่างคู่ใบที่ 2, 3, 4 และ 5 จากแปลงปลูกทั้ง 2 มาตรฐาน จากการศึกษา พบว่า ใบจากแปลงปลูกมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ย พื้นที่ใบเฉลี่ย และค่าสีเขียวใบเฉลี่ย (a*) สูงกว่ามาตรฐาน GAP สำหรับตำแหน่งคู่ใบ พบว่า คู่ใบที่ 2 มีปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยและพื้นที่ใบเฉลี่ยไม่แตกต่างทางสถิติกับคู่ใบที่ 3 และ 4 สำหรับการเปรียบเทียบผลผลิตใบทั้งหมดภายใต้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ และมาตรฐาน GAP เมื่อพืชกระท่อมอายุ 8 และ 10 เดือน หลังย้ายปลูก พบว่า พืชกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์อายุ 8 เดือน ให้จำนวนใบเฉลี่ย น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงกว่ากระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐาน GAP สำหรับปริมาณสารไมทราไจนีนของทั้งสองมาตรฐานไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

**คำสำคัญ**: พืชกระท่อม ตำแหน่งคู่ใบ ไมทราไจนีน เกษตรอินทรีย์ การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี

## คำนำ

กระท่อมเป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีสรรพคุณทางยา ได้รับความนิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ (Kruegel and Grundmann, 2018) เนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในกลุ่มแอลคาลอยด์ คือ ไมทราไจนีน (Farkas *et al.*, 2022) มีสรรพคุณชูกำลัง มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่สามารถช่วยลดอาการปวด การอักเสบ ท้องเสีย เป็นต้น (Wungsintaweekul, 2019) โดยเฉพาะมีสารสำคัญชนิดหนึ่ง คือ 7-ไฮดรอกซีไมทราไจนีน เป็นสารในกลุ่มแอลคาลอยด์ที่พบในปริมาณน้อย มีฤทธิ์การแก้ปวดรุนแรงกว่าไมทราไจนีนและมอร์ฟีน ให้ผลในการบรรเทาอาการที่ดีกว่าการใช้มอร์ฟีน ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดอาการเสพติด (Assanangkornchai *et al.*, 2020) อย่างไรก็ตาม ในอดีตพืชกระท่อมถูกจัดอยู่ในบัญชียาเสพติดของประเทศไทย จึงไม่มีแหล่งเพาะปลูกพืชกระท่อมในเชิงพาณิชย์ หรือแปรรูปอย่างถูกต้อง ทำให้ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการเพาะปลูกและมาตรฐานการผลิตในประเทศไทย การยกระดับพืชกระท่อมให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์และมีความสามารถแข่งขันในเชิงพาณิชย์ รวมถึงการส่งออกต่างประเทศได้นั้น ต้องมีการควบคุมการผลิตที่ดีให้เป็นไปตามมาตรฐานการเพาะปลูกระดับประเทศและเป็นพื้นฐานในการเพาะปลูกตามแนวทางมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรในระดับสากลต่อไป (Zhang *et al.*, 2021) การเพาะปลูกพืชกระท่อมในประเทศไทยไม่พบว่ามีข้อกำหนดเฉพาะของมาตรฐานการเพาะปลูกสำหรับพืชกระท่อม โดยเฉพาะข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับปริมาณผลผลิตในระยะและตำแหน่งของใบที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ ก่อนหน้านี้เคยมีรายงานการทดสอบวิเคราะห์สารประกอบฟีนอล และโปรตีนจากใบมะเขือเทศ พบว่า ตำแหน่งใบจากด้านบนสามารถสกัดโปรตีนและสารประกอบฟีนอลได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่น ๆ (Yu *et al.*, 2023) ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการผลิตพืชกระท่อม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของตำแหน่งคู่ใบและอายุของพืชกระท่อมต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตภายใต้การเพาะปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์และ GAP รวมไปถึงการเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตรวมของพืชกระท่อมจากทั้งสองแปลงปลูกมาตรฐาน เพื่อเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรและผู้ประกอบการผลิตพืชกระท่อมที่มีคุณภาพต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

**1. การศึกษาตำแหน่งคู่ใบและมาตรฐานการเพาะปลูกต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตใบพืชกระท่อม**

ดำเนินการทดลองโดยสุ่มเก็บตัวอย่างใบกระท่อมอายุ 8 เดือนหลังย้ายปลูก จากแปลงปลูกที่ปฏิบัติตามมาตรฐาน GAP (ได้การรับรองมาตรฐาน GAP แล้ว) และเกษตรอินทรีย์ (อยู่ในระหว่างขอจดทะเบียน) โดยเก็บผลผลิตคู่ใบจากกิ่งเดียวกันในตำแหน่งคู่ที่ 2, 3, 4 และ 5 (นับจากคู่ใบบนสุดเป็นคู่ที่ 1) เลือกเก็บเฉพาะกิ่งที่ยังไม่แตกแขนง จากนั้นบันทึกข้อมูลลักษณะทางสรีรวิทยาของใบ โดยการชั่งน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบ สำหรับค่าสีของใบ (ค่า L* a* b* และ h°) ตรวจสอบโดยใช้เครื่องวัดสี (colorimeter: ยี่ห้อ KONICA Minolla รุ่น CR 400) จากนั้นนำตัวอย่างใบทุกกรรมวิธีวิเคราะห์ปริมาณไมทราไจนีน ด้วยวิธี High performance liquid chromatography (HPLC) วางแผนการทดลองแบบสปลิตพลอต (split-plot design) โดย main-plot มี 2 ระดับ คือมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ และมาตรฐาน GAP ในส่วนของ sub-plot มี 4 ระดับ คือ คู่ใบตำแหน่งที่ 2, 3, 4 และ 5 ดังนั้นการทดลองประกอบด้วย 8 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับความเชื่อมั่น 99 และ 95% โดยใช้โปรแกรม R version 2.14.0 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

**2. การเปรียบเทียบผลผลิตรวมของพืชกระท่อมจากแปลงปลูกภายใต้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์และมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP)**

ดำเนินการทดลองโดยเก็บผลผลิตทั้งต้นของพืชกระท่อม (โดยเก็บตั้งแต่ตำแหน่งคู่ใบที่ 3 เป็นต้นไป) อายุ 8 และ 10 เดือน สุ่มเก็บผลผลิตจากแปลงปลูกพืชกระท่อม 2 รูปแบบ คือ เกษตรอินทรีย์และมาตรฐาน GAP บันทึกและเก็บข้อมูลโดยนับจำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผลผลิตรวมทั้งหมด จากนั้นนำตัวอย่างใบวิเคราะห์ปริมาณไมทราไจนีน ด้วยวิธี HPLC เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 และ 95% ระหว่าง 2 มาตรฐานการเพาะปลูก แต่ละมาตรฐานมี 5 ซ้ำ ซ้ำ ละ 1 ต้น โดยใช้โปรแกรม R version 2.14.0

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

**1. ผลของตำแหน่งคู่ใบและมาตรฐานการเพาะปลูกต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตใบพืชกระท่อม**

จากการศึกษา การเพาะปลูกพืชกระท่อมตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์และมาตรฐาน GAP ให้น้ำหนักแห้งและ พื้นที่ใบเฉลี่ยแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) เมื่อพิจารณาตำแหน่งคู่ใบ พบว่า คู่ใบที่ 2 ให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบเฉลี่ย 6.09 กรัม 1.87 กรัม และ 210.60 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับคู่ใบที่ 3 และ 4 แต่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับคู่ใบที่ 5 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานการเพาะปลูกและตำแหน่งคู่ใบ พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน (Table 1 และ Table 2) ซึ่งต่างจากการรายงานของ Yanpisitkun *et al*. (2019) ศึกษาสภาวะร่มเงาและตำแหน่งคู่ใบที่แตกต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้า พบว่า ตำแหน่งคู่ใบที่ 5 ของกาแฟโรบัสต้าที่ทดสอบในสภาพกลางแจ้ง มีพื้นที่ใบเฉลี่ยสูงสุด 112.34 ตารางเซนติเมตร เมื่อเทียบกับคู่ใบอื่นๆ ที่อยู่เหนือกว่า ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากชนิดและอายุของพืชแตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของใบจึงแตกต่างกัน นอกจากนี้ การได้รับปริมาณแสงที่เพียงพอและเหมาะสมอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของใบได้เช่นเดียวกัน จึงส่งผลให้ใบตำแหน่งที่ 2 ซึ่งอยู่บนสุดและรับแสงมากที่สุดมีกิจกรรมการสังเคราะห์แสงและมีพื้นที่ใบสูงสุด เมื่อพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งจึงเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน

จากการศึกษาค่าสีใบ L* (ค่าความสว่าง), a* (ค่าสีเขียว-แดง โดยที่ -a แสดงค่า สีเขียว และ +a แสดงค่าสีแดง), b* (ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง โดยที่ -b แสดงค่าสีน้ำเงิน และ +b แสดงค่าสีเหลือง) และ h° (ค่ามุมของสี) ของพืชกระท่อม พบว่า ใบกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐาน

**Table 1. Effects of leaf positions and crop production standards on leaf fresh and dry weight of kratom after transplanting for 8 months**

| Leaf positions (sub-plot) | Leaf fresh weight (g) | | | Leaf dry weight (g) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Crop production standards (main plot) | | Average (Leaf positions) | Crop production standards (main plot) | | Average (Leaf positions) |
| | GAP | Organic | | GAP | Organic | |
| 2 | 5.08 ± 1.14 | 7.10 ± 1.60 | 6.09 ± 1.68A | 1.55 ± 0.29 | 2.20 ± 0.46 | 1.87 ± 0.50A |
| 3 | 4.48 ± 0.45 | 5.73 ± 1.46 | 5.11 ± 1.21AB | 1.44 ± 0.11 | 1.73 ± 0.40 | 1.59 ± 0.32AB |
| 4 | 4.52 ± 0.68 | 5.52 ± 0.39 | 5.02 ± 0.74AB | 1.50 ± 0.20 | 1.78 ± 0.11 | 1.64 ± 0.21A |
| 5 | 3.66 ± 0.85 | 3.97 ± 0.72 | 3.81 ± 0.76B | 1.23 ± 0.26 | 1.21 ± 0.28 | 1.22 ± 0.25B |
| Average (Standards) | 4.44 ± 0.91 | 5.58 ± 1.56 | | 1.43 ± 0.24B | 1.73 ± 0.48A | |
| Standards (ST) | | ns | | | ** | |
| Leaf positions (LP) | | ** | | | ** | |
| ST x LP | | ns | | | ns | |
| C.V. (%) Standards | | 26.28 | | | 12.85 | |
| C.V. (%) Leaf positions | | 19.65 | | | 19.86 | |

Mean value ± Standard deviation (n = 5), ns = not significant; ** = significant at $P \leq 0.01$

Means within the same row or column followed by different letters are significantly different using DMRT

**Table 2. Effects of leaf positions and crop production standards on leaf area of kratom after transplanting for 8 months**

| Leaf positions (sub-plot) | Leaf area ($cm^2$) | | Average (Leaf positions) |
|---|---|---|---|
| | Crop production standards (main plot) | | |
| | GAP | Organic | |
| 2 | 170.65 ± 29.96 | 250.60 ± 41.49 | 210.60 ± 54.22A |
| 3 | 151.69 ± 14.05 | 204.82 ± 48.42 | 178.30 ± 43.75AB |
| 4 | 162.30 ± 20.11 | 209.66 ± 27.80 | 186.00 ± 33.86AB |
| 5 | 126.54 ± 24.20 | 144.69 ± 54.62 | 135.60 ± 40.96B |
| Average (Production Standards) | 152.80 ± 26.99B | 202.40 ± 56.13A | |
| Standards | | ** | |
| Leaf positions | | ** | |
| Standards * Leaf position | | ns | |
| C.V. (%) Standards | | 13.84 | |
| C.V. (%) Leaf positions | | 21.98 | |

Mean value ± Standard deviation (n = 5), ns = not significant; ** = significant at $P \leq 0.01$

Means within the same row or column followed by different letters are significantly different using DMRT.

GAP มีค่า L* ของคู่ใบเฉลี่ย 35.99 ไม่แตกต่างกับมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (34.71) เมื่อพิจารณาตำแหน่งคู่ใบ พบว่า คู่ใบที่ 2 มีค่า L* เฉลี่ย 36.25 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับคู่ใบที่ 4 (34.33) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับตำแหน่งคู่ใบที่ 3 และ 5 (L* เฉลี่ย 35.47 และ 35.34 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ปฏิสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานการเพาะปลูกและตำแหน่งคู่ใบ พบว่า ตำแหน่งคู่ใบที่ 2 จากมาตรฐาน GAP มีค่า L* ของใบ 37.15 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับตำแหน่งคู่ใบที่ 3 และ 5 (L* 36.39) จากมาตรฐาน GAP แต่สูงกว่าค่า L* ของทุกคู่ใบจากมาตรฐานเกษตรอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า a* พบว่า ใบกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ มีค่า a* ของคู่ใบเฉลี่ย -11.62 สูงกว่ามาตรฐาน GAP (-14.31) อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาตำแหน่งคู่ใบ พบว่า ค่า a* เฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามตำแหน่งคู่ใบ โดยคู่ใบที่ 4 มีค่าสีเขียวเฉลี่ย -12.34 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับคู่ใบที่ 2 (-13.72) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งคู่ใบที่ 3 และ 5 (a* เฉลี่ย -13.01 และ -12.8 ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานการเพาะปลูกและตำแหน่งคู่ใบ พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน จากค่าความเขียวของใบเห็นได้ว่า ตำแหน่งใบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเขียวของใบลดลง

ส่วนค่า b* พบว่า ใบกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐาน GAP มีค่า b* ของคู่ใบเฉลี่ย 19.34 ไม่แตกต่างกับค่า b* ของใบกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (16.31) เมื่อพิจารณาตำแหน่งคู่ใบ พบว่า คู่ใบที่ 2 มีค่า b* เฉลี่ย 19.82 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับคู่ใบที่ 4 และ 5 (16.28 และ 17.18 ตามลำดับ) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับตำแหน่งคู่ใบที่ 3 (18.00) และพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานการเพาะปลูกและตำแหน่งคู่ใบ

สำหรับค่ามุมของสี (h°) พบว่า การเพาะปลูกมาตรฐาน GAP ให้ h° ของคู่ใบเฉลี่ย 126.6 องศา ไม่แตกต่างกับค่า h°ของใบกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (125.6 องศา) เมื่อพิจารณาตำแหน่งคู่ใบ พบว่า คู่ใบที่ 4 มีค่า h° เฉลี่ย 127.3 องศา สูงกว่าคู่ใบที่ 2 (124.8 องศา) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) แต่ไม่แตกต่างกับคู่ใบที่ 3 และ 5 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานการเพาะปลูกและตำแหน่งคู่ใบ พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน สภาพแปลงปลูกกับตำแหน่งใบที่ส่งผลต่อค่าสีของใบ (Table 3) ซึ่งตำแหน่งคู่ใบที่ 2 ซึ่งมีอายุใบต่ำสุดมีค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b* มีค่าเป็นบวก) สูงที่สุด และค่าความเขียว (a* มีค่าเป็นลบต่ำสุด) สอดคล้องกับการรายงานของ Yin *et al.* (2022) ที่รายงานว่าใบที่มีค่าสีเขียวต่ำสุดจะมีปริมาณสารคลอโรฟิลล์ a และ b สูงด้วย รวมไปถึงมีอัตราการสังเคราะห์แสง และอัตราการเปิดปิดของปากใบสูงด้วยเช่นกัน และนอกจากนี้ เห็นได้ว่า มาตรฐานในการเพาะปลูกพืชกระท่อมไม่ส่งผลต่อค่าความสว่าง ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง และค่ามุมสี

จากการศึกษา พบว่า ใบกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ ให้ปริมาณสารไมทราไจนีนเฉลี่ย 1.65% ซึ่งไม่แตกต่างกับมาตรฐาน GAP (1.41%) เมื่อพิจารณาความแตกต่างของตำแหน่งคู่ใบ พบว่า ใบกระท่อมตรงตำแหน่งคู่ใบที่ 2 มีปริมาณสารไมทราไจนีน 1.72% ไม่แตกต่างกับตำแหน่งคู่ใบที่ 4, 3 และ 5 ซึ่งมีปริมาณสารไมทราไจนีน 1.53, 1.51 และ 1.37% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานการเพาะปลูกและตำแหน่งคู่ใบ พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน โดยใบกระท่อมจากตำแหน่งคู่ใบที่ 3 จากการเพาะปลูกภายใต้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ให้ปริมาณสารไมทราไจนีนสูงที่สุด 1.86% แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับคู่ใบที่ 5 จากการปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (1.14%) และคู่ใบที่ 3 จากการเพาะปลูกภายใต้มาตรฐาน GAP (1.15%) (Table 4) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Wu *et al.* (2022) ศึกษาผลของตำแหน่งใบและสายพันธุ์ของราสป์เบอร์รีต่อปริมาณการสะสมสาร total phenolic content (TPC) พบว่า ตำแหน่งใบบนให้ปริมาณสาร TPC ที่ 121.85 มิลลิกรัมต่อกรัม

Table 3. Effects of leaf positions and crop production standards on leaf color of kratom after transplanting for 8 months

| Leaf positions (sub plot) | Leaf color ± SD | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Crop production standards (main plot) | | | | | |
| | L* | | Average (Leaf positions) | a* | | Average (Leaf positions) |
| | GAP | Organic | | GAP | Organic | |
| 2 | 37.15 ± 1.58a | 35.37±3.66bc | 36.26±2.82A | -15.56±1.16 | -11.89±2.59 | -13.72±2.70B |
| 3 | 36.39±1.70ab | 34.55±2.19c | 35.47±2.09AB | -14.3±1.31 | -11.71±1.74 | -13.01±1.99AB |
| 4 | 34.02±1.42c | 34.64±2.60c | 34.33±2.00B | -13.15±0.87 | -11.53±1.60 | -12.34±1.49A |
| 5 | 36.39±1.70ab | 34.29±3.02c | 35.34±2.71AB | -14.25±1.11 | -11.35±1.99 | -12.8±2.15AB |
| Average (Production Standards) | 35.99±1.90 | 34.71±2.71 | | -14.31±1.35B | -11.62±1.86A | |
| Standards (ST) | | ns | | | * | |
| Leaf positions (LP) | | ** | | | ** | |
| ST x LP | | * | | | ns | |
| C.V. (%) Standards | | 12.31 | | | 15.72 | |
| C.V. (%) Leaf positions | | 3.11 | | | 6.23 | |

| Leaf positions (sub plot) | Leaf color ± SD | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Crop production standards (main plot) | | | | | |
| | b* | | Average (Leaf positions) | h° | | Average (Leaf positions) |
| | GAP | Organic | | GAP | Organic | |
| 2 | 22.07±2.93 | 17.57±4.74 | 19.82±4.41A | 125.25±2.45 | 124.37±1.86 | 124.8±2.10B |
| 3 | 19.92±3.19 | 16.10±2.89 | 18.00±3.50AB | 125.89±2.01 | 126.19±1.56 | 126±1.56AB |
| 4 | 16.7±1.84 | 15.87±3.08 | 16.28±2.43B | 128.34±1.95 | 126.26±1.85 | 127.3±2.10A |
| 5 | 18.68±3.01 | 15.69±3.87 | 17.18±3.63B | 126.94±2.19 | 125.43±1.01 | 126.2±1.79AB |
| Average (Production Standards) | 19.34±3.25 | 16.31±3.49 | | 126.6±2.32 | 125.6±1.60 | |
| Standards (ST) | | ns | | | ns | |
| Leaf positions (LP) | | ** | | | ** | |
| ST x LP | | ns | | | ns | |
| C.V. (%) Standards | | 26.81 | | | 2.24 | |
| C.V. (%) Leaf positions | | 9.81 | | | 0.92 | |

Mean value ± Standard deviation (n=5)

ns = not significant; * = significant at $P \leq 0.05$; ** = significant at $P \leq 0.01$

Means within the same row or column followed by different capital letters are significantly different using DMRT.

Means within the same row and column under each category followed by different lowercase letters are significantly different using DMRT.

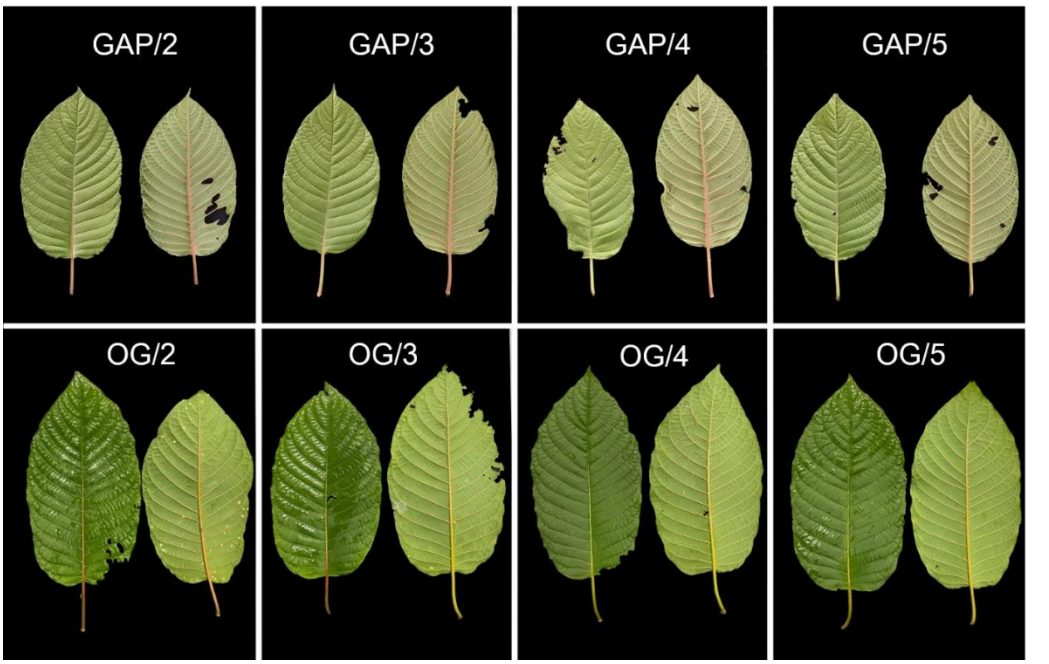



Figure 1. Characteristics of kratom leaves from different crop production standards (ST) and leaf positions (LP) after transplanting for 8 months. OAS; organic agricultural standards, GAP; good agricultural practices

Table 4. Effects of leaf positions and crop production standards on mitragynine of kratom after transplanting for 8 months

| Leaf positions (sub-plot) | Mitragynine (%) ± SD | | Average (Leaf positions) |
|---|---|---|---|
| | Crop production standards (main plot) | | |
| | GAP | Organic | |
| 2 | 1.62 ± 0.77ab | 1.81 ± 0.72ab | 1.72 ± 0.71 |
| 3 | 1.15 ± 0.33b | 1.86 ± 0.59a | 1.51 ± 0.59 |
| 4 | 1.27 ± 0.49ab | 1.80 ± 0.77ab | 1.53 ± 0.68 |
| 5 | 1.61 ± 0.42ab | 1.14 ± 0.41b | 1.37 ± 0.46 |
| Average (Production Standards) | 1.41 ± 0.53 | 1.65 ± 0.66 | |
| Standards (ST) | ns | | |
| Leaf positions (LP) | ns | | |
| ST x LP | * | | |
| C.V. (%) Standards | 73.08 | | |
| C.V. (%) Leaf positions | 30.45 | | |

Mean value ± Standard deviation (n=5)

ns = not significant; * = significant at $P \leq 0.05$

Means within the same column and row followed by different letters are significantly different using DMRT.

สูงกว่าในใบตำแหน่งที่ 4 ซึ่งเป็นใบล่าง ที่ให้ค่า TPC 98.00 มิลลิกรัมต่อกรัม และยังสอดคล้องกับการรายงานของ Yu *et al*. (2023) ที่ศึกษาผลของตำแหน่งใบต่อการสะสมโปรตีนและสารประกอบฟีนอลของใบมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum*) พบว่า ตำแหน่งใบบนสะสมโปรตีนและสารประกอบฟีนอลมากที่สุดเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่น ๆ เนื่องจากตำแหน่งใบบน ได้รับแสงเพียงพอต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงทำให้มีการสะสมน้ำตาลได้มากกว่าตำแหน่งใบล่าง และยังมีการรายงานของ Blum-Silva *et al*. (2015) ศึกษาอิทธิพลของอายุใบที่ส่งผลต่อสารเมทิลแซนทีน ปริมาณฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากชาบราซิล รายงานว่าอายุใบมีอิทธิพลต่อคาเฟอีน ธีโอโบรมีน และปริมาณเมทิลแซนทีน ซึ่งมีแนวโน้มการสร้างสารที่ลดลงเมื่อใบมีอายุมากขึ้น และพบปริมาณที่สูงขึ้นในใบที่แตกใบใหม่ Hartmann (1996) กล่าวว่าเนื้อเยื่อที่มีอายุใบอ่อนมีอัตราการสังเคราะห์ทางชีวภาพของ metabolites สูงกว่าใบแก่โดยการเจริญเติบโตของใบย่อมมีส่วนต่อการสะสมสารสำคัญในใบแก่และใบอ่อน จากการศึกษา เห็นได้ว่า เมื่อใบมีอายุมากขึ้นส่งผลให้มีแนวโน้มของปริมาณสารไมทราไจนินที่ลดลง และในส่วนของมาตรฐานการปลูกพืช ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณสารไมทราไจนินของใบกระท่อม เมื่อศึกษาในอายุใบที่ 8 เดือน

**2. ผลของมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ และ GAP ต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตพืชกระท่อม**

จากการศึกษา พืชกระท่อมอายุ 8 เดือนหลังจากย้ายปลูก พบว่า พืชกระท่อมที่เพาะปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ให้จำนวนใบเก็บเกี่ยว 129.80 ใบ สูงกว่ามาตรฐาน GAP (63.60 ใบ) แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) เมื่อพิจารณาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผลผลิตกระท่อม พบว่า ผลผลิตจากมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ มีน้ำหนักสด 423.00 กรัม และน้ำหนักแห้ง 103.17 กรัม สูงกว่าผลผลิตจากมาตรฐาน GAP ที่ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง 149.00 กรัม และ 47.45 กรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของปริมาณสารไมทราไจนิน พบว่า ผลผลิตใบกระท่อมจากการเพาะปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ มีปริมาณสารไมทราไจนิน 1.29% ซึ่งไม่แตกต่างกับปริมาณสารไมทราไจนินในผลผลิตใบกระท่อมจากการเพาะปลูกตามมาตรฐาน GAP (1.28%) เมื่อพืชกระท่อมอายุ 10 เดือน พบว่า กระท่อมจากการปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์มีจำนวนใบ 221.30 ใบ ไม่แตกต่างกับกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐาน GAP (183.40 ใบ) เมื่อพิจารณาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชกระท่อม พบว่า ใบกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ มีน้ำหนักสด 730.00 กรัม และน้ำหนักแห้ง 179.24 กรัม ไม่แตกต่างกับใบกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐาน GAP ที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง 509.00 กรัม และ 154.90 กรัม ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาในส่วนของปริมาณสารไมทราไจนิน พบว่า ใบกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐาน GAP มีปริมาณสารไมทราไจนิน 2.39% ไม่แตกต่างกับใบกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ที่มีปริมาณสารไมทราไจนิน 1.42% (Table 5) เห็นได้ว่าการนำมาตรฐานการเพาะปลูกพืชมาใช้ในการจัดการและดูแลแปลงระหว่างเกษตรอินทรีย์และ GAP ไม่ทำให้ปริมาณผลผลิตและปริมาณสารไมทราไจนินแตกต่างกัน สอดคล้องกับการรายงานของ Roose *et al*. (2009) ซึ่งศึกษาผลของระบบการเพาะปลูกข้าวสาลีแบบเกษตรอินทรีย์ในสภาพควบคุมและเกษตรทั่วไป โดยพบว่า ระบบการเพาะปลูกส่งผลต่อปริมาณ lutein and zeaxanthin น้อยมาก สำหรับพืชกระท่อม พบเฉพาะการรายงานของ Leksungnoen *et al*. (2020) ที่ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณสารไมทราไจนินในพืชกระท่อมที่ขึ้นในสภาพธรรมชาติ โดยพบว่า อิทธิพลของสภาพแวดล้อม เช่น ความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ส่งผลต่อปริมาณสารไมทราไจนินแตกต่างกัน ซึ่งในการศึกษานี้เปรียบเทียบเฉพาะมาตรฐานการเพาะปลูกที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตพืชกระท่อม โดยเห็นได้ว่า การปลูกพืชตามมาตรฐานการเพาะปลูกทั้งสองชนิดให้คุณภาพและปริมาณผลผลิตที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้หากในอนาคตมีการศึกษาปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น สภาพแวดล้อม การจัดการน้ำและธาตุอาหาร การเติมสารกระตุ้นบางชนิดเพื่อเพิ่มปริมาณสารไมทราไจนิน รวมไปถึงการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของพืช จะเป็นข้อมูลและองค์ความรู้ด้านต้นน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการผลิตพืชกระท่อมในภาพรวมของประเทศไทย

Table 5. Comparison of kratom yield and mitragynine content under two crop production standards after transplanting for 8 and 10 months

| Crop production standards | Number of leaves | | Fresh weight (g) | | Dry weight (g) | | Mitragynine (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 8 months | 10 months | 8 months | 10 months | 8 months | 10 months | 8 months | 10 months |
| GAP | 63.60 ± 12.92b | 183.40 ± 14.75 | 149.00 ± 24.26b | 509.00 ± 44.84 | 47.45 ± 7.58b | 154.90 ± 12.86 | 1.28 ± 0.14 | 2.39 ± 0.56 |
| Organic | 129.80 ± 13.18a | 221.30 ± 39.22 | 423.00 ± 27.05a | 730.00 ± 141.17 | 103.17 ± 5.78a | 179.24 ± 27.21 | 1.29 ± 0.06 | 1.42 ± 0.19 |
| T-test | ** | ns | ** | ns | ** | ns | ns | ns |

Mean value ± Standard error (n = 5)

ns = not significant

** = significant at $P \leq 0.01$

Means within the same column followed by different letters are significantly different using DMRT.

## สรุป

พืชกระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ มีปริมาณน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง พื้นที่ใบเฉลี่ย ค่าสีเขียวใบ (a*) และปริมาณสารไมทราไจนีนสูงกว่ากระท่อมที่ปลูกตามมาตรฐาน GAP เมื่อพิจารณาส่วนของตำแหน่งคู่ใบของพืชกระท่อม พบว่า ใบกระท่อมตรงตำแหน่งคู่ใบที่ 2 มีปริมาณน้ำหนักสดเฉลี่ย น้ำหนักแห้งเฉลี่ย พื้นที่ใบเฉลี่ย และปริมาณสารไมทราไจนีนเฉลี่ยสูงสุด และในส่วนของค่าความสว่างและค่าสีเหลือง พบว่า ใบกระท่อมตรงตำแหน่งคู่ใบที่ 2 มีค่าความสว่างและค่าสีเหลืองสูงที่สุด สำหรับผลผลิตรวมของพืชกระท่อม พบว่า ผลผลิตใบกระท่อมอายุ 8 เดือน ที่ปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ให้ผลผลิตทั้งในส่วนของจำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงกว่าการปลูกในระบบ GAP อย่างไรก็ตาม ใบพืชกระท่อมอายุ 8 และ 10 เดือน ที่ปลูกตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ และ GAP มีปริมาณสารไมทราไจนีนไม่แตกต่างกัน

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณสาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่สำหรับการทำวิจัย ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ และการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชน 9 ไร่ (เกษตรอินทรีย์) ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ทำวิจัย นอกจากนี้ งานวิจัยได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) โดยหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ร่วมกับ บริษัท อินเตอร์ฟาร์มา จำกัด (มหาชน) และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## เอกสารอ้างอิง

Assanangkornchai, S., A. Siriwong Na Ayuthaya, P. Limstit, N. Keawpradub, S. Chittrakarn, J. Wungsintaweekul, E. Kumarnsit, S. Sriwiriyajan, D. Cheaha, W. Poomchuen and D. Saingam. 2020. Summary of Kratom. 2nd ed. Leo Design and Print, Songkhla. 156 p. (in Thai)

Blum-Silva, C.H., V.C. Chaves, E.P. Schenkel, G.C. Coelho and F.H. Reginatto. 2015. The influence of leaf age on methylxanthines, total phenolic content, and free radical scavenging capacity of *Ilex paraguariensis* aqueous extracts. Revista Brasileira de Farmacognosia 25: 1 - 6.

Farkas, D.J., J.D. Foss, S.J. Ward and S.M. Rawls. 2022. Kratom alkaloid mitragynine: Inhibition of chemotherapy-induced peripheral neuropathy in mice is dependent on sex and active adrenergic and opioid receptors. IBRO Neuroscience Reports 13: 198 - 206.

Hartmann, T. 1996. Diversity and variability of plant secondary metabolism: A mechanistic view. Entomologia Experimentalis et Applicata 80(1): 177 - 188.

Kruegel, A.C. and O. Grundmann. 2018. The medicinal chemistry and neuropharmacology of kratom: A preliminary discussion of a promising medicinal plant and analysis of its potential for abuse. Neuropharmacology 134(Part A): 108 - 120.

Leksungnoen, N, T. Andriyas, C. Ngernsaengsaruay, S. Uthairatsamee, P. Racharak, W. Sonjaroon, R. Kjelgren, B.J. Pearson, C.R. McCurdy and A. Sharma. 2022. Variations in mitragynine

content in the naturally growing Kratom (*Mitragyna speciosa*) population of Thailand. Frontiers in Plant Science 13: 1028547. doi: 10.3389/fpls.2022.1028547.

Roose, M., J. Kahl and A. Ploeger. 2009. Influence of the farming system on the xanthophyll content of soft and hard wheat. Journal of Agricultural and Food Chemistry 57(1): 182 - 188, doi: 10.1021/jf801407v.

Wu, L., J. Yang, C. Wang, N. Li, Y. Liu, A. Duan and T. Wang. 2022. Chemical compositions of raspberry leaves influenced by growth season, cultivars and leaf position. Scientia Horticulturae 304:111349, doi: 10.1016/j.scienta.2022.111349.

Wungsintaweekul, J. 2019. Kratom in Thai traditional medicine and its medical use. Office of the Narcotics Control Board Journal 35(3): 19 - 22. (in Thai)

Yanpisitkun, N., R. Chiarawipa and S. Pechkeo. 2019. Changes in morpho-physiological characteristics related to shade conditions and leaf node positions in Robusta coffee leaves. Thai Science and Technology Journal 27(6): 1054 - 1065. (in Thai)

Yin, G., Y. Wang, Y. Xiao, J. Yang, R. Wang, Y. Jiang, R. Huang, X. Liu and Y. Jiang. 2022. Relationships between leaf color changes, pigment levels, enzyme activity, photosynthetic fluorescence characteristics and chloroplast ultrastructure of *Liquidambar formosana* Hance. Journal of Forestry Research 33: 1559 - 1572, doi: https://doi.org/10.1007/s11676-021-01441-6.

Yu, Y., M. Kleuter, S.T. Dinani, L.M. Trindade and A.J. van der Goot. 2023. The role of plant age and leaf position on protein extraction and phenolic compounds removal from tomato (*Solanum lycopersicum*) leaves using food-grade solvents. Food Chemistry 406:135072, doi: 10.1016/j.foodchem.2022.135072.

Zhang, R., M.X. Zhang, Y. Chen, C.C. Wang, C.H. Zhang, H. Heuberger, H.T. Li and M.H. Li. 2021. Future development of good agricultural practice in China under globalization of traditional herbal medicine trade. Chinese Herbal Medicines 13(4): 472 - 479.

# คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ (ต่อ)

1.7 กรณีอ้างอิงเป็นภาษาอื่น เช่น ภาษาไทย ต้องแปลงเป็นภาษาอังกฤษ และเปลี่ยน ปี พ.ศ. เป็น ปี ค.ศ.

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

1.9 กรณีมีผู้แต่งที่มีทั้งบุคคลและเป็นหน่วยงาน ให้ใส่ชื่อผู้แต่งตามด้วยหน่วยงาน และใช้ (;) คั่นระหว่างชื่อผู้แต่งและหน่วยงาน

**2. การเขียนเอกสารอ้างอิง** มีรูปแบบการเขียนมีดังนี้

**วารสาร (Journals)** อ้างอิงวารสารที่มีความทันสมัยและเป็นปัจจุบันมากที่สุด

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

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

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

ในกรณีที่เป็นวารสารออนไลน์ ไม่สามารถระบุเลขหน้าเริ่มต้นและเลขหน้าสิ้นสุดได้ ให้ระบุ doi แทน

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

**หนังสือ และตำรา (Books & Textbooks)**

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

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

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

**เรื่องย่อยในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องเขียน และมีบรรณาธิการ**

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

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

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

**รายงานการประชุม สัมมนา (Reports and Proceedings)**

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

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

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

**วิทยานิพนธ์ (Thesis)**

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

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

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

**เอกสารวิชาการอื่น ๆ**

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

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

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

**สื่ออิเล็กทรอนิกส์**

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

(ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลปีที่ตีพิมพ์ให้ระบุเป็นปีที่เข้าไปสืบค้นข้อมูล)

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) ทั้งนี้การร้องขอเปลี่ยนแปลงดังกล่าว สามารถดำเนินการได้ในระหว่างกระบวนการพิจารณาบทความเท่านั้น หากได้รับเอกสารตอบรับการตีพิมพ์เรียบร้อยแล้วไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

**สำนักงานและการติดต่อสอบถาม (Office and Inquiries)**

กองบรรณาธิการวารสารเกษตร
งานบริหารงานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จ. เชียงใหม่ 50200 โทร. 0 5394 4089-92 ต่อ 12 โทรสาร 0 5394 4089-92 ต่อ 12
Editorial Board, Journal of Agriculture
Division of Research and International Affairs, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand Tel: 0 5394 4089-92 ext. 12
Fax: 0 5394 4089-92 ext. 12 Email: agjournal22@gmail.com

# JOURNAL OF AGRICULTURE

A Technical Journal of Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

## Volume 40, Issue 2 May - August 2024



**Efficacies and Natural Enemy Effects of Some Insecticides for Controlling Rice Thrips in Paddy Fields Using Unmanned Aerial Vehicles (Drones)**

Sukanya Arunmit, Kunlayaa Boonsa-nga, Rattigan Intama, Apiradee Manasuwanphol, Somruedee Panson, Jirapat Thasee, Piyapan Srikoom, Supaporn Meeprasert, Kamonwan Yamboontab, Kanita Intalae and Noppadol Prayoonsuk.....211

**Effects of Merchant Grain Beetle (*Oryzaephilus mercator* (Fauvel)) Infestation and Mass Rearing in 4 Kernel Characteristics of Cashew Nut Seeds**

Chittakarn Pakawattana, Apichaya Jakkoksung and Yaowaluk Chanbang.....225

**Effects of High Temperature on Conidia of Potential Metarhizium anisopliae Infecting Brown Plant Hopper**

Araya Bunsak, Suphannika Intanon, Wipa Homhaul and Kanita Kertsuk.....237

**Increasing Pregnancy Rate by Fixed-time Artificial Insemination Technique in Beef Cattle, Si Sa Ket Province**

Kerkwit Wongjan, Watee Kongbuntad, Patcharee Promtan, Wannaluk Thaworn, Kridda Chukiatsiri and Wiwat Pattanawong.....249

**Effects of Lingzhi (*Ganoderma lucidum*) Extract and Red Holy Basil Powder Supplementation in Laying Hen Diet with Black Soldier Fly Larvae on Production Performance, Egg Quality, Antioxidant Activity, and Egg Yolk Fatty Acid Composition**

Sarocha Yasang, Tonglian Buwjoom, Buaream Maneewan, Wasin Charerntantanakul and Wongphan Promwong.....261

**Effects of Garlic, Oregano, and Artichoke Blend Extract on Feed Digestibility and Growth Performance of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)**

Watcharin Suttipong, Supawit Triwutanon, Srinoy Chumkam and Orapint Jintasataporn.....275

**Product Development of Quail Eggs Boiled with 9 Thai Herbs**

Pathama Thannark, Phawinee Jampakam, Naritsara Yingkamhaeng, Sasitorn Nakthong, Yaimai Chuaynoo, Thamthawat Seangngam and Wanwisa Wattanapunsak.....287

**Effects of Fertilizer Rates and Watering on Growth of Sakura (*Prunus serrulata*)**

Nawarat Kochedee, Chaiartid Inkham and Soraya Ruamrungsri.....301

**Appropriate Fertilizer Rate for Strawberry cv. Pharatchatan 80 Production on Highland, Chiang Mai Province**

Sureeporn Wongpoon, Fapailin Chaiwan, Pimjai Seehanam and Choochad Santasup.....313

**Effects of Different Fertilizer Managements on Growth, Quality and Yield ofArabica Coffee Grown on Highland, Chiang Mai Province**

Lalicha Prantong, Yupa Chromkaew, Natchanon Santasup and Choochad Santasup.....327

**Effects of Organic Matter Levels on Soil Organic Carbon Fractions, Nutrient Uptake, and Growth and Development of Sweet Corn (*Zea mays var. rugosa*)**

Suttipan Phetchuay, Jumpan Onthong, Chakkrit Poonpakdee and Khwunta Khawmee.....341

**Effects of Leaf Positions and Crop Production Standards on Quantity and Quality of Kratom Yields**

Jiraphon Nunainam, Teerasak Sukdee, Somchai Sriwiriyajan and Tassanee Khawniam.....355



ISSN 0857-0841