# วารสารเกษตร
# JOURNAL OF AGRICULTURE

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

**ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2565**





ISSN 0857-0841
TCI กลุ่มที่ 1

# คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

**เรื่องที่ตีพิมพ์**

1. เป็นบทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการ ทางด้านเกษตรศาสตร์และสาขาที่เกี่ยวข้อง

2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

**การเตรียมต้นฉบับ**

1. **ภาษา** เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ

2. **การพิมพ์**

1) พิมพ์หน้าเดียวบนกระดาษขนาด A4 พิมพ์แนวตั้ง (portrait orientation) ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์ เวิร์ด (Microsoft Word for Windows) ตัวอักษรใช้ Cordia New โดยทั่วไปใช้ระยะบรรทัดปกติคือ 1 เท่า หรือ Single 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 ให้ใช้ เลขตัวยก (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 ให้เรียงลำดับตามตัวอักษรภาษาอังกฤษและใช้เครื่องหมายอัฒภาค (;) 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. ต่อนภา ผุสดี<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | Editorial Board<br>(Academic) | Tonapa Pusadee, Ph.D., Assist. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | รศ.ดร. รุจ ศิริสัญลักษณ์<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Ruth Sirisunyaluck, Ph.D., Assoc. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | ผศ.ดร. บุศรา ลิ้มนิรันดร์กุล<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Budsara Limnirankul, Ph.D., Assist. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | รศ.ดร. ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Chanakan Thebault Prom-u-thai, Ph.D., Assoc. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | รศ.ดร. พิชญา พูลลาภ<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Pichaya Poonlarp, Ph.D., Assoc. 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 |
| | 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. จิรวรรณ กิจชัยเจริญ<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Jirawan Kitchaicharoen, Ph.D., Assist. Prof.<br>Chiang Mai University |
| | ผศ.ดร. เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ<br>มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | | Saowaluck Yammuen-art, Ph.D., Assist. Prof.<br>Chiang Mai University |

# บทบรรณาธิการ

สวัสดีปีใหม่ 2565 ท่านผู้อ่านทุกท่าน วารสารเกษตรฉบับนี้เป็นฉบับแรกของปีที่ 38 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เมษายน 2565 ในฉบับนี้ประกอบด้วยบทความทางวิชาการที่มีต้นฉบับเป็นภาษาไทยทั้งหมด จำนวน 13 เรื่อง ประกอบด้วย สาขาพืชสวน 4 เรื่อง สาขาพืชไร่ 3 เรื่อง สาขาโรคพืช 1 เรื่อง สาขาสัตวศาสตร์ 4 เรื่อง และสาขาผลิตและนวัตกรรมอาหาร 1 เรื่อง

กองบรรณาธิการและคณะผู้จัดทำมุ่งมั่นในการกำกับดูแลในทุกกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์บทความในวารสารเกษตร เพื่อให้คงไว้ซึ่งมาตรฐานทางวิชาการ โดยวารสารฉบับนี้ได้เผยแพร่ผ่านทางเว็บไซต์วารสารเกษตรแบบออนไลน์ภายใต้สถานการณ์โควิด 19 สายพันธุ์โอมิคอนซึ่งเป็นสายพันธุ์ใหม่ที่กำลังแพร่ระบาดอย่างแพร่หลายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ โดยส่งผลกระทบเป็นวงกว้าง ไม่ว่าจะเป็นด้านเศรษฐกิจ สังคม สาธารณสุขของประเทศ แต่อย่างไรก็ตามเนื้อหาสาระของบทความในวารสารเกษตรฉบับนี้ยังคงเข้มข้นและอัดแน่นไปด้วยความรู้ คุณประโยชน์ เหมือนเล่มที่ผ่านมา ทางวารสารเกษตรขอขอบคุณนักวิชาการและนักวิจัยทางการเกษตรทุกท่านที่ให้ความไว้ว่างใจตีพิมพ์ผลงานและสนใจติดตามผลงานวิจัยในวารสารมาโดยตลอด

ทางวารสารเกษตร เปิดรับบทความวิชาการทางเกษตร วิทยาศาสตร์เกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง ผู้ที่สนใจส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารเกษตร สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเว็บไซต์วารสาร https://li01.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/index หรือสามารถติดต่อมายังกองบรรณาธิการได้ที่ E-mail : agjournal22@gmail.com ขอให้ทุกท่านรักษาสุขภาพห่างไกลจากโควิด 19 ด้วยนะคะ และพบกันฉบับหน้าค่ะ

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐา โพธาภรณ์
บรรณาธิการวารสารเกษตร

# สัณฐานวิทยาและความสามารถในการผสมข้าม ระหว่างลิลีตัดดอกและลิลีกระถาง

# Morphology and Crossability of Cut Flower and Potted Lilies

**จีระวัฒน์ นุธรรม ฉันทลักษณ์ ติยายน และ ณัฐา โพธาภรณ์ ***

Chirawat Nutham, Chantalak Tiyayon and Nuttha Potapohn *

*ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*

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

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

*(Received: 18 October 2021; Accepted: 13 January 2022)*

**Abstract:** Lily is popular flower, it can be used as cut flower and potted plant. It has colorful flower, long vase life and fragrance. This research was conducted to study morphology, chromosome number and crossability of potted, cut flower and wild lily. Morphology of 4 varieties of cut flower, 4 varieties of potted lily and one wild species, *Lilium primulinum* Baker var. *burmanicum* Stearn was conducted. The results showed that characteristics such as plant height, leaf shape, flower and flowering period of each variety in this study were different. Chromosome number of Buzzer, Tiny Bee, Tiny Invader, Tiny Rocket, and wild lily was 2n = 24 whereas those of Nashville, Nova Zembla and Saronno was 2n = 36 and Caesars Palace was 2n = 48. Self - and cross - pollinated among cut flower, potted and species as well as reciprocal cross, were made. Self - pollinated could be made in two crosses and cross - pollinated within potted lily could be made in 9 crosses. Whereas cross - pollinated within cut flower lily could be done in only one cross. Cross - pollinated between potted and cut flower lily could be done in 4 crosses and reciprocal were 6 crosses. Lastly, crosses between potted and cut flower lily with *L. primulinum* var. *burmanicum*. could be made in 5 crosses. Seed germination was found in one variety and one species of self - pollinated cross and 16 crosses of cross - pollinated and reciprocal cross of potted lily, cut flower lily groups and *L. primulinum* var. *burmanicum*.

**Keywords:** Breeding, germination percentage, wild lily

**บทคัดย่อ**: ลิลีเป็นไม้ตัดดอกและไม้กระถางที่นิยมปลูกกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีสีสันสวยงาม สดใส สะดุดตา และมีกลิ่นหอม ซึ่งการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัณฐานวิทยา จำนวนโครโมโซม และความสามารถในการผสมข้ามระหว่างลิลีกลุ่มตัดดอก กลุ่มกระถาง และลิลีป่า ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา จำนวนโครโมโซมของลิลีลูกผสมสายพันธุ์ตัดดอก จำนวน 4 สายพันธุ์ ลิลีกระถาง 4 สายพันธุ์ และลิลีป่า 1 ชนิด คือ *L. primulinum* var. *burmanicum*. พบว่า ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลิลีมีความแตกต่างกัน ได้แก่ ความสูงต้น ลักษณะต้น ลักษณะใบ ลักษณะดอก และช่วงเวลาที่ออกดอก จำนวนโครโมโซมของลิลีสายพันธุ์ Buzzer, Tiny Bee, Tiny Invader, Tiny Rocket และลิลีป่า มีจำนวนโครโมโซม 2n = 24 และ Nashville, Nova Zembla และ Saronno มีจำนวนโครโมโซม 2n = 36 และ Caesars Palace มีจำนวนโครโมโซม 2n = 48 เมื่อทำการผสมพันธุ์โดยการผสมตัวเอง ผสมข้ามระหว่างกลุ่ม และผสมสลับพ่อแม่ พบว่า การผสมตัวเอง พบ 2 สายพันธุ์ที่ติดฝัก การผสมข้ามระหว่างลิลีกระถางพบ 9 คู่ผสมที่ติดฝัก การผสมข้ามระหว่างลิลีตัดดอกพบ 1 คู่ผสมที่ติดฝัก การผสมข้ามระหว่างลิลีกระถางและลิลีตัดดอกพบ 4 คู่ผสมที่ติดฝัก และการผสมข้ามระหว่างลิลีตัดดอกกับลิลีกระถางพบ 6 คู่ผสมที่ติดฝัก ส่วนการผสมข้ามระหว่าง ลิลีกระถางและลิลีตัดดอกกับลิลีป่าพบ 5 คู่ผสมที่ติดฝัก การเพาะเมล็ดที่ได้จากการผสมตัวเองและผสมข้าม พบว่า เมล็ดจากการผสมตัวเองของลิลีที่ทดลองมีการงอกอยู่ 1 สายพันธุ์ (Buzzer) และ 1 ชนิด (ลิลีป่า) เมล็ดจากการผสมข้ามภายในกลุ่มและข้ามกลุ่มแบบสลับพ่อแม่ของลิลีกระถาง ลิลีตัดดอก และลิลีป่าพบ 16 คู่ผสมที่สามารถงอกได้

**คำสำคัญ**: การปรับปรุงพันธุ์ เปอร์เซ็นต์การงอก ลิลีป่า

## คำนำ

ลิลี (lily) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lilium* spp. เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจัดอยู่ในวงศ์ Liliaceae มีการกระจายตัวในซีกโลกเหนือประมาณ 110 สายพันธุ์ โดยส่วนใหญ่อยู่ในเอเชีย อเมริกาเหนือ และยุโรป (Liang and Tamura, 2000) ลิลีเป็นไม้หัวที่มีความสำคัญทางการค้าและเป็นดอกไม้เศรษฐกิจที่น่าสนใจ นิยมปลูกเป็นไม้ตัดดอกและไม้กระถาง อีกทั้งยังสามารถปลูกประดับสวน (Lim *et al.,* 2014b; Marasek-Ciolakowska *et al.,* 2018; Pobudikiewicz and Treder, 2006) มีการปลูกในประเทศเนเธอร์แลนด์ อิสราเอล สหรัฐอเมริกา แอฟริกาใต้ ญี่ปุ่น ชิลี อิตาลี นิวซีแลนด์ และเม็กซิโก (Kumari *et al.,* 2019) ลิลีมีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศเนเธอร์แลนด์ (Kapoor *et al.,* 2009) ที่สามารถผลิตหัวลิลีได้ถึง 2.21 พันล้านหัว (Benschop *et al.,* 2010) สำหรับประเภทของลิลีที่มีจำหน่ายมากในตลาดโลก คือกลุ่ม Asiatic lily และ Oriental lily เพราะอายุการปักแจกันนานทำให้เป็นไม้ตัดดอกได้ดี (Sharma *et al.,* 2014) สำหรับประเทศไทยสามารถปลูกลิลีได้บางพื้นที่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ในเขตภาคเหนือตอนบนที่มีอากาศเย็น มีการนำเข้าหัวพันธุ์ลิลีจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก เพื่อจำหน่ายภายในประเทศ แต่ด้วยราคาที่ค่อนข้างสูง และการผลิตหัวพันธุ์ภายในประเทศค่อนข้างน้อย จึงทำให้หัวพันธุ์ลิลีมีราคาค่อนข้างสูง

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงเห็นความจำเป็นต้องมีการพัฒนาสายพันธุ์ลิลีให้มีความหลากหลายของสีสัน เพื่อใช้เป็นไม้ตัดดอกและไม้กระถาง เพื่อช่วยลดต้นทุนการนำเข้าของหัวพันธุ์ลิลี และในประเทศไทยพบว่า มีลิลีป่า (wild lily) ที่พบอยู่ตามธรรมชาติบนพื้นที่สูงทางภาคเหนือ (Sahavacharin, 1990) มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ คือ ดอกมีกลิ่นหอม ทนต่อสภาพแวดล้อม ทนต่อโรคและแมลง แต่ลิลีป่ามีลักษณะบางประการที่ไม่เหมาะสม เช่น ดอกมีลักษณะคว่ำลง และมีการศึกษาการผสมลิลีข้ามชนิดระหว่างลิลีป่ากับลิลีที่มีการนำเข้าจากต่าง-ประเทศ ซึ่งการใช้ลิลีป่าเป็นแม่และลิลีที่นำเข้าจากต่างประเทศเป็นพ่อ สามารถติดฝักและเมล็ดได้ (Angumnuysiri and Sahavacharin, 1991) การศึกษา

ด้านเซลล์พันธุศาสตร์เกี่ยวกับจำนวน และรูปร่างของโครโมโซมช่วยในการจัดจำแนกพันธุ์พืช และด้านการปรับปรุงพันธุ์ (Krasaechai, 2004) ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงต้องการศึกษาสัณฐานวิทยา จำนวนโครโมโซม และความสามารถในการผสม เพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ในอนาคต เพิ่มความหลากหลาย ของสีดอก และลดต้นทุนการนำเข้าของหัวพันธุ์ และสร้างพันธุ์ลูกผสมที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นไม้กระถางและไม้ตัดดอก

## อุปกรณ์และวิธีการ

**การศึกษาทางสัณฐานวิทยาและจำนวนโครโมโซมของลิลี 8 สายพันธุ์ และลิลีป่า 1 ชนิด**

ทำการรวบรวมพันธุ์และประเมินลักษณะของลิลีลูกผสม จำนวน 8 สายพันธุ์ โดยแบ่งเป็น ลิลีกระถาง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ Buzzer, Tiny Bee, Tiny Invader และ Tiny Rocket ลิลีตัดดอก 4 สายพันธุ์ ได้แก่ Caesars Palace, Nashville, Nova Zembla และ Saronno และลิลีป่า 1 ชนิด คือ *L. primulinum* var. *burmanicum.* โดยประเมินลักษณะ ดังนี้ ความสูงของต้นตั้งแต่โคนต้นจนถึงดอกแรกบาน ขนาดของดอกและช่อดอก สีดอก จำนวนดอกต่อต้น ความกว้างใบและยาวใบ จำนวนใบต่อต้น ความต้านทานโรคและแมลง และการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม และศึกษาจำนวนโครโมโซมของลิลี โดยวิธี Feulgen squash ตามขั้นตอนของ Dyer (1979) และ Nachaisin (2016) โดยศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างราก ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการหยุดวงชีพเซลล์นำเอาชิ้นส่วนเนื้อเยื่อที่ใช้ในการศึกษาแช่ในสารเคมี (8-hydroxyquinoline) เพื่อหยุดการแบ่งนิวเคลียสให้อยู่ในระยะเมทาเฟส เก็บไว้ที่อุณภูมิประมาณ 15 - 18 °C นาน 4 - 6 ชั่วโมง และหยุดการทำงานของเซลล์ (fixation) เวลาในการย่อยผนังเซลล์ย่อยโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 นอร์มอลที่อุณหภูมิ 60 °C และระยะเวลาการย้อมสีที่เหมาะสมเนื้อเยื่อที่ผ่านการย่อยผนังเซลล์แล้วย้อมสีเนื้อเยื่อในสารละลาย lacto-propionic orcein แล้วนำไปศึกษา และนับจำนวนโครโมโซมใต้กล้องจุลทรรศน์

**ความสามารถในการผสมตัวเอง และการผสมข้ามของลิลี**

ศึกษาความสามารถในการผสมตัวเอง และการผสมข้ามของลิลีทั้ง 8 สายพันธุ์ และ 1 ชนิด โดยผสมตัวเอง และผสมข้ามแบบสลับพ่อแม่ในกลุ่มของลิลีตัดดอก ลิลีกระถาง และลิลีพันธุ์พื้นเมือง โดยในแต่ละคู่ผสมทำการผสมอย่างน้อย 3 ดอก การผสมตัวเองและผสมข้ามมีวิธีการเตรียมดอก ดังนี้ การเตรียมดอกแม่พันธุ์ เลือกดอกที่มีความสมบูรณ์ โดยดอกจริงอยู่ในระยะดอกบาน แต่ในกรณีผสมข้ามก่อนดอกบานต้องตัดเกสรเพศผู้ออก และคลุมดอกไว้ก่อนเพื่อป้องกันการผสมตัวเอง แล้วผสมข้าม เมื่อผสมเสร็จคลุมดอกเพื่อป้องกันเรณูจากต้นอื่นและแมลงที่มาช่วยผสม โดยผสมเกสรในช่วงเช้า เพราะเรณูยังไม่ฟุ้งกระจาย ส่วนการเตรียมดอกพ่อพันธุ์ เลือกพ่อพันธุ์ที่ดอกบานแล้ว นำมาตัดเกสรเพศผู้ออก แล้วใช้เรณูแตะหรือขยี้ลงบนยอดเกสรเพศเมียของต้นแม่พันธุ์ การผสมเกสรทำในช่วงเวลา 8.00 - 10.00 น. หลังจากผสมเกสรเสร็จแล้ว ติดป้ายชื่อ บันทึกชื่อคู่ผสม และวันที่ผสม ซึ่งบันทึกข้อมูล ได้แก่ จำนวนดอกที่ทำการผสม จำนวนดอกที่ผสมติด จำนวนเมล็ดที่ได้ต่อฝัก อัตราการติดฝัก (เปอร์เซ็นต์) อัตราการงอกของเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) และจำนวนวันที่ใช้ในการงอก

## ผลการทดลองและวิจารณ์

**การศึกษาทางสัณฐานวิทยา**

การศึกษาทางสัณฐานของส่วนประกอบของลิลี 8 สายพันธุ์ และลิลีป่า 1 ชนิด โดยบันทึกข้อมูลในระยะต่าง ๆ ของต้นที่เติบโตเต็มที่แล้วพบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลิลีมีความแตกต่างกันทางด้านข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ ความสูงต้น ซึ่งลิลีกระถาง ลิลีตัดดอก และลิลีป่า มีความสูงแตกต่างกัน ลักษณะใบ ลักษณะดอก และช่วงเวลาที่ออกดอก (Table 1) สอดคล้องกับรายงานของ Lim *et al.* (2014a) ทำการศึกษาความหลากหลายทางสัณฐานวิทยาของ *Lilium tsingtauense* (Korean wheel lily) ที่อยู่ในธรรมชาติทางตอนใต้ของซุงซาน (Chung san) ไปจนถึง

Table 1. Morphology of eight varieties and one wild species (*Lilium primulinum* Baker var. *burmanicum*)

| Varieties | Plant height (cm) | Leaf width (cm) | Leaf length (cm) | Number of leaf per plant | Inflorescence length (cm) | Flower width (cm) | Flower length (cm) | Number flower per plant | Color flower |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Potted lily | | | | | | | | | |
| 1. Buzzer | 20.18 ± 2.40 | 1.03 ± 0.14 | 4.41 ± 0.37 | 121 ± 13.59 | 19.50 ± 3.20 | 8.21 ± 0.85 | 5.08 ± 0.50 | 11 ± 1.39 | Pink |
| 2. Tiny Bee | 13.70 ± 1.70 | 0.83 ± 0.10 | 5.14 ± 0.58 | 98 ± 7.12 | 15.38 ± 2.38 | 11.87 ± 0.48 | 6.94 ± 0.60 | 7 ± 0.66 | Yellow |
| 3. Tiny Invader | 16.07 ± 2.44 | 1.11 ± 0.16 | 5.97 ± 0.65 | 122 ± 13.61 | 13.34 ± 1.80 | 9.19 ± 0.39 | 4.80 ± 0.29 | 5 ± 0.76 | Orange |
| 4. Tiny Rocket | 18.71 ± 2.65 | 1.23 ± 0.18 | 4.81 ± 0.71 | 142 ± 9.96 | 13.17 ± 4.06 | 9.33 ± 0.64 | 5.91 ± 0.33 | 9 ± 1.35 | Red |
| Cut flower lily | | | | | | | | | |
| 5. Caesars Palace | 69.29 ± 7.55 | 1.29 ± 0.17 | 8.7 ± 1.32 | 137 ± 15.70 | 23.84 ± 6.12 | 15.13 ± 0.76 | 11.03 ± 0.99 | 7 ± 0.77 | Orange |
| 6. Nashville | 74.78 ± 3.95 | 1.45 ± 0.16 | 9.5 ± 0.89 | 96 ± 8.25 | 25.95 ± 2.73 | 14.14 ± 0.53 | 8.92 ± 0.32 | 4 ± 0.99 | Yellow |
| 7. Nova Zembla | 61.54 ± 6.86 | 4.29 ± 0.32 | 15.93 ± 1.46 | 36 ± 3.90 | 14.66 ± 3.60 | 28.8 ± 0.81 | 10.83 ± 0.59 | 2 ± 0.64 | White |
| 8. Saronno | 95.57 ± 6.05 | 4.13 ± 0.37 | 15.28 ± 1.06 | 61 ± 8.81 | 28.01 ± 7.23 | 20.31 ± 2.22 | 8.97 ± 0.44 | 4 ± 0.52 | White |
| Species | | | | | | | | | |
| 9. *Lilium primulinum* Baker var. *burmanicum* | 147.66 ± 26.76 | 2.00 ± 0.36 | 12.00 ± 2.43 | 81 ± 27.50 | 26.00 ± 7.94 | 9.57 ± 0.75 | 4.93 ± 0.12 | 9 ± 5.03 | greenish yellow |

Mean ± standard deviation

ภูเขาซอรัค (Seorak) ทางเหนือ ได้ทำการสำรวจลิลีทั้ง 16 แหล่งทั่วประเทศ พบว่า สัณฐานวิทยาของลิลีแต่ละชนิด (species) มีลักษณะที่เฉพาะในแต่ละแหล่งแตกต่างกัน

**สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาโครโมโซมของลิลี และจำนวนโครโมโซม**

<u>เวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างราก</u>

จากการเก็บตัวอย่างปลายรากทุกชั่วโมงตั้งแต่ 5.00, 6.00, 7.00, 8.00, 9.00, 10.00 และ 11.00 น. พบว่า ตัวอย่างปลายรากที่เก็บช่วงเวลา 8.00 น. มีจำนวนเซลล์ที่แบ่งตัวในระยะเมทาเฟสมากกว่าปลายรากที่เก็บในช่วงเวลาอื่น ๆ และจากการเก็บตัวอย่างปลายรากทุก 15 นาทีตั้งแต่ 8.00, 8.15, 8.30, 8.45 และ 9.00 พบว่า ตัวอย่างปลายรากที่เก็บช่วงเวลา 8.15 น. มีการหดสั้นของโครโมโซมมากที่สุด (ข้อมูลไม่แสดง)

<u>ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการหยุดวงชีพเซลล์</u>

จากการเก็บตัวอย่างปลายรากที่เวลา 8.15 น. แล้วนำตัวอย่างปลายรากหยุดวงชีพเซลล์ ในสารละลาย 8-hydroxyquinoline ความเข้มข้น 0.002 โมลาร์ นาน 4, 8, 12 และ 24 ชั่วโมง การหยุดวงชีพเซลล์นาน 8 และ 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ 4 และ 12 ชั่วโมง พบว่า 8 และ 24 ชั่วโมง อาจเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในการหยุดวงชีพเซลล์มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเกิดเส้นใยสปินเดิล ทำให้แท่งโครโมโซมกระจายทั่วภายในเซลล์ โครโมโซมหดสั้นและกระจายตัวสามารถมองเห็นรูปร่างโครโมโซมได้ชัดเจนกว่า 4 และ 12 ชั่วโมง เพื่อประหยัดเวลาในการศึกษาโครโมโซมเวลา 8 ชั่วโมงจึงเพียงพอสำหรับการหยุดวงชีพเซลล์

<u>เวลาในการย่อยผนังเซลล์</u>

จากการเก็บตัวอย่างปลายรากเวลา 8.15 น. หยุดวงชีพเซลล์นาน 8 ชั่วโมง แล้วย่อยผนังเซลล์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล 5 ช่วงเวลา คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที พบว่า การย่อยผนังเซลล์นาน 5 นาทีส่งผลให้เซลล์ปลายรากแยกออกเป็นเซลล์เดี่ยวและลดการซ้อนทับกันของเซลล์ได้ดีกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ

<u>ระยะเวลาการย้อมสีที่เหมาะสม</u>

จากการเก็บตัวอย่างปลายรากเวลา 8.15 น. หยุดวงชีพเซลล์นาน 8 ชั่วโมง ย่อยผนังเซลล์ด้วย HCl นาน 5 นาทีแล้วย้อมสี เป็นเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที พบว่า ทุกช่วงเวลามีการติดสีที่โครโมโซมดีมาก การย้อมสีนาน 5 นาที โครโมโซมติดสีเข้มชัดเจนและใช้เวลาน้อยที่สุด

จากการตรวจนับจำนวนโครโมโซมในเซลล์ปลายรากลิลีด้วยวิธีการที่ได้จากการศึกษาทั้ง 4 ขั้นตอน คือเก็บตัวอย่างปลายรากเวลา 8.15 น. หยุดวงชีพเซลล์ 8 ชั่วโมง ย่อยผนังเซลล์ด้วย HCl นาน 5 นาที แล้วย้อมสีนาน 5 นาที จำนวน 20 เซลล์ต่อสายพันธุ์ พบว่า Buzzer, Tiny Bee, Tiny Invader, Tiny Rocket และ ลิลีป่า มีจำนวนโครโมโซมเป็น 2n = 24 Nashville, Nova Zembla และ Saronno มีจำนวนโครโมโซมเป็น 2n = 36 และ Caesars Palace มีจำนวนโครโมโซม 2n = 48 (Figure 1) ซึ่งมีความสอดคล้องกับรายงานของ Zhang *et al.* (2018) ศึกษาลูกผสม *Lilium pumilum* DC. × 'Brunello' ซึ่ง *L. pumilum* มีจำนวนโครโมโซมเท่ากับ 2n = 2x = 24 และ Asiatic lily cultivar 'Brunello' มีจำนวนโครโมโซมเท่ากับ 2n = 4x = 48 ได้ลูกผสมทั้งหมด 4 ต้น และเมื่อนำไปศึกษาเซลล์วิทยาและนับจำนวนโครโมโซมของลูกผสมทั้ง 4 ต้น พบว่า ลูกผสมทั้ง 4 มีจำนวนโครโมโซมเท่ากับ 2n = 3x = 36 โดยทั่วไปพืช triploid เป็นหมันและไร้เมล็ด มีการนำมาใช้ในการปรับปรุงสายพันธุ์ที่ไร้เมล็ด เช่น แตงโม (NeSmith and Duval, 2001) เป็นต้น ความเป็นหมันของเพศผู้ในลิลี triploid คล้ายคลึงกับพืช triploid อื่น ๆ อย่างไรก็ตามลิลี triploid สามารถที่จะเป็นแม่พันธุ์ได้เมื่อผสมกับลิลี diploid หรือ tetraploid และสร้างลูกที่เป็น aneuploid (Barba-Gonzalez *et al.,* 2006; Lim *et al.,* 2003; Xi *et al.,* 2015; Xie *et al.,* 2010; Zhou *et al.,* 2011, 2014)

เวลาที่พืชแต่ละชนิดมีกิจกรรมการแบ่งเซลล์นั้นแตกต่างกัน วิธีการเตรียมเนื้อเยื่อสำหรับศึกษาโครโมโซมของลิลี ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างปลายรากที่เหมาะสม คือเวลาช่วงเช้า (8.15 น.) ซึ่งคล้ายคลึงกับพืชอื่น ๆ เช่น ว่านมหาโชค เอื้องสิกุนคล กล้วยไม้-

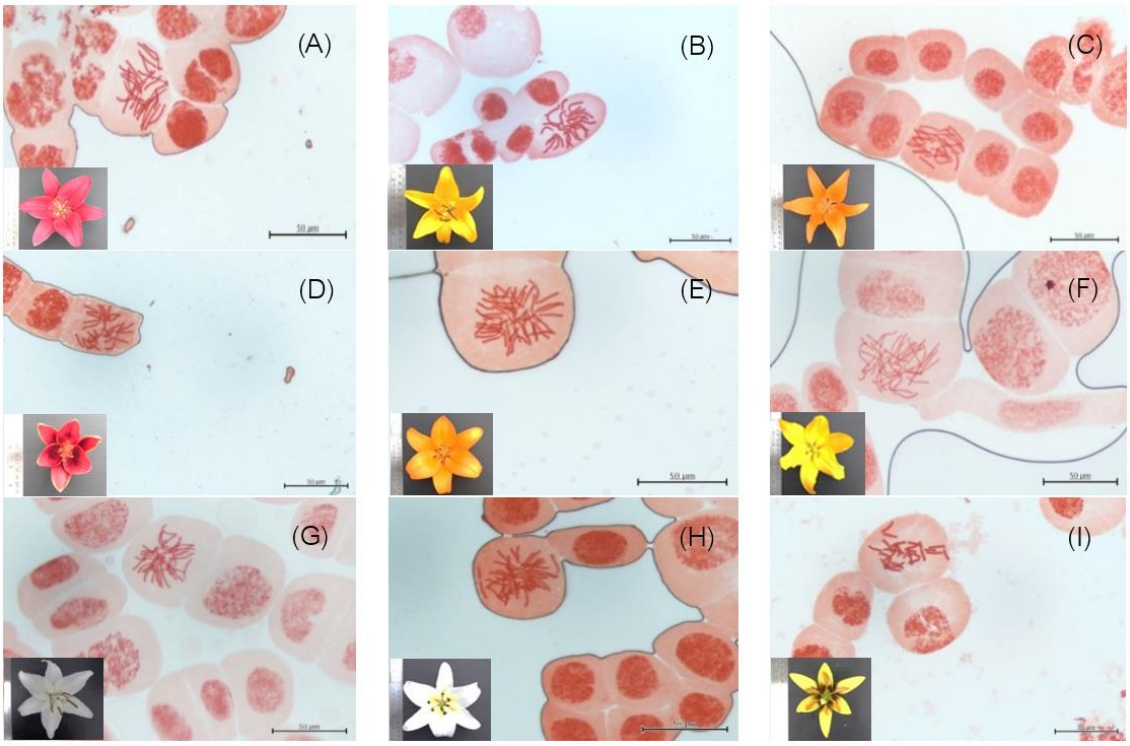


Figure 1. Chromosome number of 8 varieties and one species; (A) Buzzer 2n = 24, (B) Tiny Bee 2n = 24, (C) Tiny Invader 2n = 24, (D) Tiny Rocket 2n = 24, (E) Caesars Palace 2n = 48, (F) Nashville 2n = 36, (G) Nova Zembla 2n = 36, (H) Saronno 2n = 36, and (I) Wild lily 2n = 24 (Scale bar = 50 μm)

เอื้องน้ำต้น และลิลีชนิด Asiatic lily ซึ่งควรเก็บตัวอย่างที่เวลา 9.30, 7.00, 8.00 และก่อน 8.00 น. ตามลำดับ (Buathong and Suwanthada, 2008; Fupunya and Suwanthada, 2008; Sukkasem, 2007; Islam *et al.*, 2020)

**ความสามารถในการผสมตัวเองและการผสมข้าม**

การผสมตัวเองและผสมข้ามของลิลีกระถาง 4 สายพันธุ์ ลิลีตัดดอก 4 สายพันธุ์ และลิลีป่า พบว่า การผสมตัวเองของลิลีตัดดอก ลิลีกระถาง และลิลีป่า มีเพียงลิลีกระถางสายพันธุ์ Buzzer และลิลีป่าที่สามารถผสมตัวเองได้ มีอัตราการติดฝัก 87 และ 33 % ตามลำดับ (Table 2) การผสมข้ามระหว่างลิลี 8 สายพันธุ์ และลิลีป่า 1 ชนิด แบบพบกันหมดทั้งหมด 72 คู่ผสม พบว่า การผสมข้ามระหว่างลิลีกระถางมี 9 คู่ผสมที่สามารถติดฝักได้ คือ Buzzer × Tiny Bee, Tiny Invader × Tiny Bee, Tiny Invader × Tiny Rocket, Buzzer × Tiny Invader, Buzzer × Tiny Rocket, Tiny Invader × Buzzer, Tiny Bee × Tiny Invader, Tiny Bee × Buzzer และ Tiny Bee × Tiny Rocket คิดเป็นอัตราการติดฝัก 100, 100, 100, 95, 95, 93, 79, 75 และ 60 % ตามลำดับ (Table 3) โดย Buzzer, Tiny Bee และ Tiny Invader สามารถใช้เป็นทั้งพ่อและแม่ได้ การผสมข้ามระหว่างลิลีตัดดอกมี 1 คู่ผสมที่สามารถติดฝักได้ คือ Nashville × Caesars Palace คิดเป็นอัตราการติดฝัก 88 % (Table 3) ส่วนการผสมข้ามระหว่างลิลีกระถางและลิลีตัดดอกมี 4 คู่ผสมที่สามารถติดฝักได้ คือ Tiny Invader × Caesars Palace, Buzzer × Nova Zembla, Buzzer × Caesars Palace และ Buzzer × Saronno คิดเป็นอัตราการติดฝัก 20, 11, 10 และ 7 % ตามลำดับ (Table 3) การผสมข้ามระหว่างลิลีตัดดอกและลิลีกระถางมี 6 คู่ผสมที่สามารถติดฝักได้ คือ Caesars Palace × Buzzer, Caesars Palace × Tiny Bee,

Table 2. Number of capsules and germination percentage of self-pollinated derived from 8 lily varieties and one wild species

| Varieties (chromosome number) | Number of pollinated flowers | Number of seed pods | Fruit set (%) | Number of seed per pod | Seed germination (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Potted lily | | | | | |
| 1. Buzzer (24) | 30 | 26 | 87 | 263 | 52 |
| Species | | | | | |
| 2. *Lilium primulinum* Baker var. *burmanicum* (24) | 3 | 1 | 33 | 219 | 86 |

Nashville × Tiny Bee, Nashville × Buzzer, Caesars Palace × Tiny Rocket และ Nashville × Tiny Rocket คิดเป็นอัตราการติดฝัก 100, 100, 100, 95, 92 และ 88 % ตามลำดับ (Table 3) โดย Nashville และ Caesars Palace ใช้เป็นแม่พันธุ์ได้ดี และการผสมข้ามระหว่างลิลีกระถาง ลิลีตัดดอกกับลิลีป่ามี 5 คู่ผสมที่สามารถติดฝักได้ คือ Tiny Invader × ลิลีป่า, ลิลีป่า × Buzzer, ลิลีป่า × Tiny Invader, Buzzer × ลิลีป่า, และ Tiny Rocket × ลิลีป่า คิดเป็นอัตราการติดฝัก 65, 40, 33, 15 และ 4 % ตามลำดับ (Table 3)

การผสมตัวเองของลิลีเกิดขึ้นได้เนื่องจากเมื่อกลีบดอกบานเกสรทั้งสองเพศพร้อมผสมพันธุ์และเรณูมีชีวิต อีกทั้งยังมีจีโนไทพ์ที่เหมือนกัน (Sayampol, 2000) ส่วนสายพันธุ์อื่น ๆ ผสมตัวเองไม่ติด (self -incompatible) อาจเกิดขึ้นเนื่องจากแม่-พันธุ์มีการสร้างสารบางชนิดขึ้นมาเคลือบที่ปลายเกสรเพศเมีย เพื่อยับยั้งการงอกของหลอดเรณู หรือการที่เกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียไม่สามารถผสมพันธุ์กัน ลักษณะการผสมไม่ติดที่สำคัญและมีการศึกษามากคือการที่เกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียในต้นเดียวกันหรือที่มีจีโนไทพ์เหมือนกันผสมกันไม่ติด มาจากกระบวนการงอกของ pollen tube ไปจนถึงการปฏิสนธิเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ แบ่งเป็น 2 ระบบ คือ heteromorphic system และ homomorphic system ซึ่งถูกแบ่งออกเป็นอีก 2 ระบบย่อยคือ gametophytic system และ sporophytic system (Krasaechai, 1990; Sayampol, 2000) นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงมากในระหว่างที่ทำการผสมมักจะส่งผลให้การถ่ายเรณูเกิดขึ้นได้ไม่ดีนัก เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงจะเร่งให้เกิดการระเหยของน้ำที่ปลายยอดเกสรเพศเมีย ส่งผลให้เรณูที่ตกบนยอดเกสรเพศเมียไม่สามารถดูดซับความชื้นจากบริเวณดังกล่าวได้ จึงทำให้หลอดเรณูไม่สามารถงอกได้ (Krasaechai, 2004) และยังมีรายงานว่า *Lilium longiflorum* ถูกใช้ในการศึกษาระบบการเข้ากันไม่ได้ในพืชชนิดเดียวกันเนื่องจากอิทธิพลของแกมีโทไฟต์ (gametophytic self - incompatibility) เช่นเดียวกับ *Petunia* (Linskens and Tupy, 1966) และ *Nicotiana* (Bredemeijre, 1976) หลอดเรณูของ *L. longiflorum* cv. Hinomoto หยุดการพัฒนาภายในท่อก้านชูเกสรเพศเมียประมาณ 20 ชั่วโมงหลังจากการผสมตัวเองบนผิวหน้าของยอดเกสรเพศเมีย และถูกเรียกว่าผสมตัวเองไม่ได้ ในลิลีเกิดขึ้นภายในท่อก้านชูเกสรเพศเมียเนื่องจาก pollen tube หยุดการพัฒนาตรงผิวด้านในของ stylar canal ทำให้ pollen tube ไม่สามารถส่ง sperm nucleus ลงไปผสมกับ egg nucleus ได้ (Hiratsuka *et al*., 1983; Tezuka, 1990; Tezuka *et al*., 1993) และการผสมข้ามแบบสลับพ่อแม่ระหว่างลิลี-กระถาง ลิลีตัดดอก และลิลีป่ายังมีความสอดคล้องกับรายงานว่า gametes ของลูกผสมลิลี Oriental × Trumpet (OT) มักจะเป็นหมันแต่ก็มี gametes บางส่วนที่มีความสมบูรณ์สามารถสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย 2n ได้ (Luo *et al.,* 2013) อีกทั้งมีความสอดคล้องกับ

Table 3. Capsule and germination percentage of crosses and reciprocal crosses within potted, cut flower groups and species as well as between groups and species

| Female parent (chromosome number) | Male parent (chromosome number) | Number of pollinated flowers | Number of seed pods | Fruit set (%) | Number of seed per pod | Seed germination (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Potted lily | | | | | | |
| 1. Buzzer (24) | Tiny Bee (24) | 15 | 15 | 100 | 266 | 45 |
| 2. Buzzer (24) | Tiny Invader (24) | 21 | 20 | 95 | 252 | 46 |
| 3. Buzzer (24) | Tiny Rocket (24) | 21 | 20 | 95 | 239 | 73 |
| 4. Tiny Bee (24) | Buzzer (24) | 16 | 12 | 75 | 285 | 27 |
| 5. Tiny Bee (24) | Tiny Invader (24) | 19 | 15 | 79 | 283 | 35 |
| 6. Tiny Bee (24) | Tiny Rocket (24) | 15 | 9 | 60 | 257 | 22 |
| 7. Tiny Invader (24) | Buzzer (24) | 15 | 14 | 93 | 350 | 79 |
| 8. Tiny Invader (24) | Tiny Bee (24) | 19 | 19 | 100 | 354 | 61 |
| 9. Tiny Invader (24) | Tiny Rocket (24) | 17 | 17 | 100 | 366 | 53 |
| Cut flower lily | | | | | | |
| 10. Nashville (36) | Caesars Palace (48) | 8 | 7 | 88 | 313 | 32 |
| Potted lily and cut flower lily | | | | | | |
| 11. Buzzer (24) | Caesars Palace (48) | 10 | 1 | 10 | 192 | 27 |
| 12. Buzzer (24) | Nova Zembla (36) | 9 | 1 | 11 | 82 | - |
| 13. Buzzer (24) | Saronno (36) | 15 | 1 | 7 | 169 | - |
| 14. Tiny Invader (24) | Caesars Palace (48) | 20 | 4 | 20 | 156 | - |
| Cut flower lily and potted lily | | | | | | |
| 15. Caesars Palace (48) | Buzzer (24) | 10 | 10 | 100 | 242 | 18 |
| 16. Caesars Palace (48) | Tiny Bee (24) | 11 | 11 | 100 | 253 | - |
| 17. Caesars Palace (48) | Tiny Rocket (24) | 13 | 12 | 92 | 275 | - |
| 18. Nashville (36) | Buzzer (24) | 20 | 19 | 95 | 366 | 5 |
| 19. Nashville (36) | Tiny Bee (24) | 15 | 15 | 100 | 372 | 8 |
| 20. Nashville (36) | Tiny Rocket (24) | 17 | 15 | 88 | 364 | - |
| Potted lily, cut flower lily, and wild lily | | | | | | |
| 21. wild lily (24) | Buzzer (24) | 5 | 2 | 40 | 258 | 71 |
| 22. wild lily (24) | Tiny Invader (24) | 3 | 1 | 33 | 325 | - |
| 23. Buzzer (24) | wild lily (24) | 13 | 2 | 15 | 104 | 50 |
| 24. Tiny Invader (24) | wild lily (24) | 20 | 13 | 65 | 165 | - |
| 25. Tiny Rocket (24) | wild lily (24) | 28 | 1 | 4 | 234 | - |

- No germination due to contamination after culture

Data of cross without seed did not show in this table

รายงานของ Angumnuysiri and Sahavacharin (1991) พบว่า การผสมข้ามระหว่างลิลีป่าและสายพันธุ์ทางการค้า ทำให้การติดฝักและเมล็ดไม่สมบูรณ์ในบางคู่ผสม รังไข่ไม่สามารถพัฒนาไปเป็นฝักและติดเมล็ดได้ และการผสมระหว่างลิลีต่างชนิดกันเอ็มบริโอตายหรือสลายไปก่อนที่เมล็ดแก่ การใช้ลิลีพันธุ์พื้นเมืองเป็นต้นแม่พบว่า รังไข่มีการพัฒนาเป็นฝักและเมล็ดได้ดี แต่ฝักมีการเจริญเติบโตช้ามากเมื่อเทียบกับรังไข่ที่เกิดจากการผสมตัวเองในธรรมชาติ โดยรังไข่ที่ได้รับการผสมข้ามชนิดมีการขยายขนาดเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ส่วนการใช้ลิลีนำเข้าจากต่างประเทศเป็นต้นแม่ในทุกคู่ผสม หลังจากการผสมเกสรรังไข่ไม่มีการพัฒนาไปเป็นฝักและเมล็ด

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเก็บเกสรเพศผู้ไว้เพื่อรอต้นแม่พันธุ์บานพร้อมที่จะผสม เพราะการบานของดอกเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน ซึ่งในการเก็บเกสรเพศผู้ไว้อาจทำให้เกสรเสื่อมสภาพส่งผลต่อการติดฝักและอาจรวมไปถึงลักษณะที่ไม่สามารถเข้ากันได้ของพ่อแม่พันธุ์เนื่องมาจากโครงสร้างของเกสรเพศผู้หรือเพศเมีย และแม่พันธุ์อาจไม่สมบูรณ์เพียงพอที่จะถือฝักได้

**เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด**

เมล็ดที่ได้จากการผสมตัวเองและผสมข้าม พบว่า จำนวนเมล็ดต่อฝักอยู่ในช่วง 82 - 372 เมล็ด และการงอกของการผสมตัวเองของลิลีกระถาง ลิลีตัดดอก และลิลีป่างอกอยู่ 1 สายพันธุ์ คือ Buzzer และ 1 ชนิด คือ ลิลีป่า การผสมข้ามภายในกลุ่มและข้ามกลุ่มแบบสลับพ่อแม่ของลิลีกระถาง ลิลีตัดดอก และลิลีป่าพบ 16 คู่ผสมที่งอกได้ มีเปอร์เซ็นต์การงอกอยู่ในช่วง 5 - 79 % (Table 3) ในขณะที่เมล็ดลูกผสมคู่อื่น ๆ ไม่พบการงอก ทั้งนี้ อาจเนื่องจากเมล็ดอาจฝ่อไปก่อนที่จะเจริญเป็นผลแก่ (Figure 2) เช่นเดียวกับการผสมตัวเองของว่านสี่ทิศพันธุ์พื้นบ้าน ที่การผสมสามารถเกิดขึ้นได้ แต่ฝักที่เกิดจากการผสมตัวเองฝ่อไปก่อนที่จะพัฒนาเป็นฝักแก่และมีการสลายตัวของเนื้อเยื่อไข่อ่อนไปก่อนที่จะพัฒนาเป็นเมล็ดที่สมบูรณ์ (Sudsanguan and Suwanthada, 2001)

**จำนวนโครโมโซมต่อความสามารถในการผสมข้าม**

การผสมข้ามระหว่างกลุ่มของลิลีเป็นการผสมข้ามระหว่างชนิด (interspecific hybridization) แต่เนื่องจากจำนวนโครโมโซมมีความใกล้เคียงกันหรือ

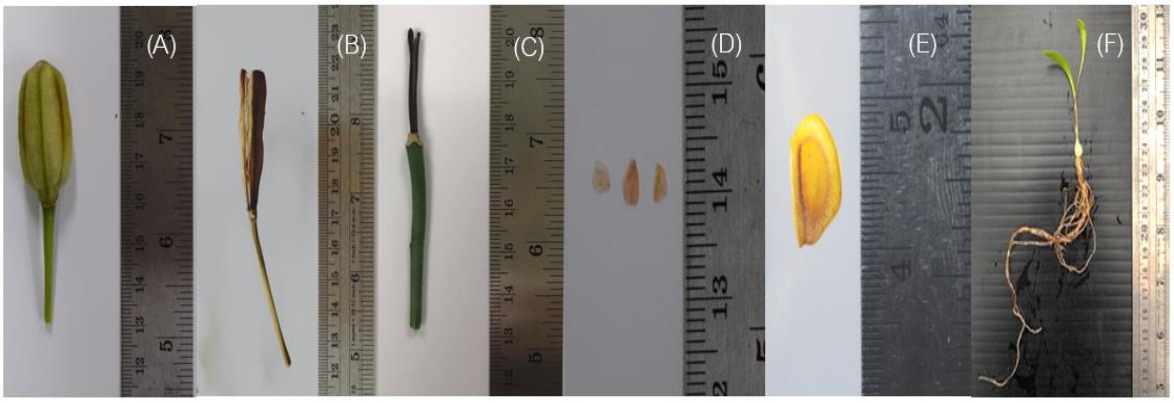


Figure 2. Example of lily fruit derived from different crosses (A) Buzzer × Tiny Rocket, fruit developed well and had good seed viability, (B) Buzzer × Saronno, fruit could develop but seed had no embryo, (C) Tiny Rocket × Buzzer, undeveloped fruit, (D) seed without embryo, (E) viable seed and (F) germinated hybrid plant

เท่ากันสามารถผสมกันติดได้ เช่น ในกรณีของลิลีกระถางกับลิลีกระถาง และลิลีกระถางกับลิลีป่าที่สามารถผสมกันติดได้ จำนวนโครโมโซมของลิลีกลุ่มนี้มีจำนวนเท่ากัน จึงทำให้มีโอกาสผสมข้ามกันได้ โครโมโซมลูกผสมชั่วที่หนึ่งจะจับคู่ปกติ สามารถได้ต้นที่ผสมตัวเองได้อย่างสมบูรณ์และผลิตเมล็ดได้อย่างอิสระ (Klakhaeng, 2019) แต่ก็มีบางคู่ผสมที่ไม่สามารถผสมติดได้ ในขณะที่จำนวนโครโมโซมของลิลีตัดดอกมีจำนวนโครโมโซมที่มากกว่าลิลีกระถางและลิลีป่า เห็นได้ว่ามีบางคู่ผสมที่สามารถผสมกันติดได้ เช่น ในกรณีของ Caesars Palace (4x) × Buzzer (2x), Nashville (3x) × Buzzer (2x) และ Nashville (3x) × Tiny Bee (2x) เป็นต้น ในทางกลับกัน Nashville (3x) × Caesars Palace (4x) และ Buzzer (2x) × Caesars Palace (4x) สามารถผสมกันได้ (Table 3) ซึ่งมีรายงานว่าเมื่อผสมสิ่งมีชีวิต 2 ชนิดที่มีจำนวนโครโมโซมแตกต่างกัน การปฏิสนธิมักจะประสบความสำเร็จถ้าใช้เพศเมียเป็นฝ่ายที่มีจำนวนโครโมโซมสูงกว่า มีรายงานการผสมระหว่าง *Solanum tuberosum* (4x) และ *S. phureja* (2x) ในอัลฟัลฟา การผสมทั้งสองแบบคือใช้ *Medicago sativa* เททราพลอยด์เป็นแม่ กับ *M. falcata* ที่เป็นดิพลอยด์ (4x × 2x) และการผสมแม่ที่เป็นดิพลอยด์กับพ่อที่เป็นเททราพลอยด์ (2x × 4x) ได้ลูกที่เป็นทริพลอยด์จากการผสมแบบแรกมากกว่าแบบหลัง และลูกเททราพลอยด์จากการผสมแบบหลังมากกว่าแบบแรก (Ledingham, 1940) เนื่องจากเมื่อใช้แม่เป็นดิพลอยด์มี โอกาสที่ได้เซลล์สืบพันธุ์เป็นดิพลอยด์ซึ่งเกิดจากโครโมโซมไม่แยกออกจากกันไปยังขั้วเซลล์เรียกกระบวนการนี้ว่า non-disjunction เซลล์สืบพันธุ์ที่ได้เรียกว่า unreduced gamete (Sangduen, 2008)

การศึกษาความสามารถในการผสมตัวเองและผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์ สัณฐานวิทยาส่วนประกอบต่าง ๆ ของ ลิลีและเซลล์พันธุศาสตร์ คือ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาโครโมโซมของลิลี และจำนวนโครโมโซม เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สามารถต่อยอดสู่การพัฒนาลิลีสายพันธุ์ใหม่ในอนาคตต่อไป

## สรุป

สัณฐานวิทยาของลิลีมีความแตกต่างกัน ได้แก่ ความสูงต้น ลักษณะต้น ลักษณะใบ ลักษณะดอก และช่วงเวลาที่ออกดอก การศึกษาการผสมตัวเองของลิลีกระถาง 4 สายพันธุ์ ลิลีตัดดอก 4 สายพันธุ์ และลิลีป่า (*Lilium primulinum* Baker var. *burmaniacum* Stearn) พบว่า การผสมตัวเองมี Buzzer และลิลีป่า ที่สามารถติดฝักได้ การผสมข้ามระหว่างลิลีกระถางมี Buzzer × Tiny Bee, Tiny Invader × Tiny Bee, Tiny Invader × Tiny Rocket, Buzzer × Tiny Invader, Buzzer × Tiny Rocket, Tiny Invader × Buzzer, Tiny Bee × Tiny Invader, Tiny Bee × Buzzer และ Tiny Bee × Tiny Rocket ที่สามารถติดฝักได้ นอกจากนี้การผสมข้ามระหว่างลิลีตัดดอกมี Nashville × Caesars Palace ที่สามารถติดฝักได้ และการผสมข้ามระหว่างลิลีกระถางและลิลีตัดดอกมี Tiny Invader × Caesars Palace, Buzzer × Nova Zembla, Buzzer × Caesars Palace และ Buzzer × Saronno และการผสมข้ามระหว่างลิลีตัดดอกกับลิลีกระถางมีคู่ผสม Caesars Palace × Buzzer, Caesars Palace × Tiny Bee, Nashville × Tiny Bee, Nashville × Buzzer, Caesars Palace × Tiny Rocket และNashville × Tiny Rocket ที่สามารถติดฝักได้ สุดท้ายการผสมข้ามระหว่าง ลิลีตัดดอกกับลิลีป่ามีคู่ผสม Tiny Invader × ลิลีป่า, ลิลีป่า × Buzzer, ลิลีป่า × Tiny Invader, Buzzer × ลิลีป่า, และ Tiny Rocket × ลิลีป่า ที่สามารถติดฝักได้ และลิลีกลุ่มกระถางที่มีศักยภาพสามารถเป็นแม่พันธุ์ได้ คือ Buzzer, Tiny Invader และ Tiny Rocket ส่วนลิลีกลุ่มตัดดอกที่สามารถเป็นแม่พันธุ์ได้ คือ Caesars Palace และ Nashville การงอกของเมล็ดที่ได้จากการผสมตัวเองและผสมข้าม พบว่า เมล็ดจากการผสมตัวเองของลิลีงอก 1 สายพันธุ์ คือ Buzzer และ 1 ชนิด คือ ลิลีป่า การผสมข้ามภายในกลุ่มและข้ามกลุ่มแบบสลับพ่อแม่ของลิลีกลุ่มกระถาง ลิลีกลุ่มตัดดอก และลิลีป่าพบ 16 คู่ผสมที่สามารถงอกได้

จากการตรวจนับจำนวนโครโมโซมของเซลล์ปลายรากลิลีด้วยวิธีการที่ได้จากการศึกษาทั้ง 4

ขั้นตอน คือเก็บตัวอย่างปลายรากเวลา 8.15 น. หยุดวงชีพเซลล์ 8 ชั่วโมง ย่อยผนังเซลล์ด้วย HCl นาน 5 นาที แล้วย้อมสีนาน 5 นาที จำนวน 20 เซลล์ พบว่า Buzzer, Tiny Bee, Tiny Invader, Tiny Rocket, และลิลีป่า มีจำนวนโครโมโซมเป็น 2n = 24 และ Nashville, Nova Zembla และ Saronno มีจำนวนโครโมโซมเป็น 2n = 36 และ Caesars Palace มีจำนวนโครโมโซมเป็น 2n = 48

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถานีวิจัยเกษตรหลวงอ่างขาง มูลนิธิโครงการหลวง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และห้องปฏิบัติการสรีรวิทยา สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์สำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

Angumnuysiri, K. and O. Sahavacharin. 1991. Interspecific hybridization of lily. pp. 415-422. *In*: Proceedings of the 29th Kasetsart University Annual Conference, Bangkok. (in Thai)

Barba-Gonzalez, R., A.A. Van Silfhout, R.G.F. Visser, M.S. Ramanna and J.M. Van Tuyl. 2006. Progenies of allotriploids of Oriental × Asiatic lilies (*Lilium*) examined by GISH analysis. Euphytica 151(2): 243-250.

Benschop, M., R. Kamenetsky, M. Le Nard, H. Okubo and A.A. De Hertogh. 2010. The global flower bulb industry: Production, utilization, research. pp. 1-115. *In*: J. Janick (ed.) Horticultural Reviews Volume 36. Wiley-Blackwell, New York.

Bredemeijer, G.M.M. 1976. Effect of bud-pollination and delayed self-pollination on the induction of a possible rejection peroxidase in styles of *Nicotiana alata*. Acta Botanica Neerlandica 25(1): 107-116.

Buathong, P. and C. Suwanthada. 2008. Chromosome investigation of Amazon lily (*Eucharis grandiflora* Planch. & Lind.). Journal of Agriculture 24(1): 37-41. (in Thai)

Dyer, A.F. 1979. Investigating Chromosomes. John Wiley and Sons, New York. 138 p.

Fupunya, A. and C. Suwanthana. 2008. Chromosome investigation of *Liparis siamensis* Rolfe ex Downie and *Malaxis latifolia* J.E. Sm. Journal of Agriculture 24(2): 81-86. (in Thai)

Hiratsuka, S., T. Tezuka and Y. Yamamoto. 1983. Use of longitudinally bisected pistils of *Lilium longiflorum* for studies on self-incompatibility. Plant and Cell Physiology 24(4): 765-768.

Islam, M.M., R. Yesmin, M.J. Jung, H.-Y. Kim, C.K. Kim and K.B. Lim. 2020. Investigation of the morphological and cytogenetic variations of an intraspecific Asiatic lily hybrid using 5S and 18S rDNA probes. Horticulture. Environment and Biotechnology 61(2): 339-346.

Kapoor, R., S. Kumar and J.K. Kanwar. 2009. Bulblet production from node explant grown *in vitro* in hybrid lilies. International Journal of Plant Production 3(4): 1-6.

Klakhaeng, K. 2019. Interspecific hybridization for rice breeding. Thai Rice Research Journal 10(1): 95-107. (in Thai)

Krasaechai, A. 1990. Mutation Breeding Floriculture. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 168 p. (in Thai)

Krasaechai, A. 2004. Cytogenertics in Agriculture Laboratory Manual. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 98 p. (in Thai)

Kumari, S., S. Kumar and C.P. Singh. 2019. Comparative performance of Oriental hybrid lily cv. White Cup under protected conditions. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 8(1): 2451-2455.

Ledingham, G.F. 1940. Cytological and developmental studies of hybrids between *Medicago sativa* and a diploid form of *M. falcata.* Genetics 25(1): 1-15.

Liang, S.Y. and M. Tamura. 2000. *Lilium.* pp. 135-159. *In*: Z.Y. Wu and P.H. Raven (eds.). Flora of China. Science Press, St. Beijing.

Lim, K.B., A. Younis, T.P. Jong and J.H. Yoon. 2014a. Exploitation of diversity for morphological traits in *Lilium tsingtauense* under different habitats. Notulae Scientia Biologicae 6(2): 178-184.

Lim, K.B., M.S. Ramanna, E. Jacobsen and J.M. van Tuyl. 2003. Evaluation of $BC_2$ progenies derived from 3x-2x and 3x-4x crosses of *Lilium* hybrids: a GISH analysis. Theoretical and Applied Genetics 106(3): 568-574.

Lim, K.B., Y.J. Hwang and A. Younis. 2014b. Classical vs. modern genetic and breeding approaches for lily (*Lilium*) crop improvement: A review. Flower Research Journal 22(2): 39-47.

Linskens, H.F. and J. Tupy. 1966. The amino acids pool in the style of self-incompatible strains of *Petunia* after self- and cross-pollination. Züchter 36: 151-158.

Luo, J., P. Arens and J.M. van Tuyl. 2013. Overcoming crossing barriers in hybridisation with OT-hybrids. pp. 68-77. *In*: C. Helsley and J.M. van Tuyl (eds.) The Lily Yearbook of the North American Lily Society. The North American Lily Society, Inc., Bonners Ferry, ID.

Marasek-Ciolakowska, A., T. Nishikawa, D.J. Shea and K. Okazaki. 2018. Breeding of lilies and tulips-Interspecific hybridization and genetic background. Breeding Science 68(1): 35-52.

Nachaisin, A. 2016. Appropriate conditions for Dahlia chromosome study. pp. 61-67. *In*: Proceedings of the 54th Kasetsart University Annual Conference, Bangkok. (in Thai)

NeSmith, D.S. and J.R. Duval. 2001. Fruit set of triploid watermelons as a function of distance from a diploid pollinizer. HortScience 36(1): 60-61.

Pobudikiewicz, A. and J. Treder. 2006. Effects of flurprimidol and daminozide on growth and flowering of oriental lily 'Mona Lisa'. Scientia Horticulturae 110(4): 328-333.

Sahavacharin, O. 1990. Thai native lily. Kehakaset Magazine 14(2): 38-43. (in Thai)

Sangduen, N. 2008. Plant Genetics. Kasetsart University Press, Bangkok. 432 p. (in Thai)

Sayampol, N. 2000. Plant Breeding Techniques. Kasetsart University Press, Bangkok. 261 p. (in Thai)

Sharma, P., I. Shelkh, P. Sharma, V. Chugh, H.S. Dhaliwal and D. Singh. 2014. Morphological, cytological and biochemical characterization of wheat *Aegilops longissima* derivatives $BC_1F_6$ and $BC_2F_4$ with high grain micronutrient. International

Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology 7(2): 191-204.

Sudsanguan, W. and C. Suwanthada. 2001. Hybridization of local amaryllis. Journal of Agriculture 17(3): 196-199. (in Thai)

Sukkasem, J. 2007. Characterization and growth and development of *Calanthe cardioglossa* Schltr. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 89 p. (in Thai)

Tezuka, T. 1990. Self-incompatibility in lily. Plant Cell Technology 2: 621-630.

Tezuka, T., S. Hiratsuka and S.Y. Takahashi. 1993. Promotion of the growth of self-incompatible pollen tubes in lily by cAMP. Plant and Cell Physiology 34(6): 955-958.

Xi, M., J.M. van Tuyl and P. Arens. 2015. GISH analyzed progenies generated from allotriploid lilies as female parent. Scientia Horticulturae 183: 130-135.

Xie, S., M.S. Ramanna and J.M. van Tuyl. 2010. Simultaneous identification of three different genomes in *Lilium* hybrids through multicolour GISH. Acta Horticulturae 855: 299-304.

Zhang, W., C. Wang, L. Xue, Y. Zheng and J. Lei. 2018. Production of pollenless triploid lily hybrids from *Lilium pumilum* DC. × 'Brunello'. Euphytica 214: 171, doi: 10.1007/s10681-018-2248-6.

Zhou, S., G. Zhou and K. Li. 2011. Euploid endosperm of triploid × diploid/tetraploid crosses results in aneuploid embryo survival in *Lilium*. HortScience 46(4): 558-562.

Zhou, S., G. Yuan, P. Xu and H. Gong. 2014. Study on lily introgression breeding using allotriploids as maternal parents in interploid hybridizations. Breeding Science 64(1): 97-102.

# การคัดเลือกแม่พันธุ์ที่มีลักษณะการผสมตัวเองไม่ติด เพื่อการปรับปรุงพันธุ์ผักกาดเขียวปลีลูกผสม

# Selection of Self-incompatibility Maternal Line for Leaf Mustard Hybrid Improvement

**ธีรวัฒน์ สีทอง[1] มณีฉัตร นิกรพันธุ์[1] ณัฐา โพธาภรณ์[1]**
**จานุลักษณ์ ขนบดี[2] และ จุฑามาส คุ้มชัย[1*]**
Teerawat Seetong[1], Maneechat Nikornpun[1], Nuttha Potapohn[1],
Chanulak Khanobdee[2] and Jutamas Kumchai[1*]

*[1]สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[1]Division of Horticulture, Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture,*
*Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
*[2]สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาลำปาง จ. ลำปาง 52000*
*[2]Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang, Lampang 52000, Thailand*
**Corresponding author: Email: tkkumm6@gmail.com*

*(Received: 30 June 2021; Accepted: 30 November 2021)*

**Abstract:** Leaf mustard seed cannot be produced in Thailand therefore, all seeds have been imported for pickled leaf mustard factories. The development of hybrid varieties is, however, possible through many alternative means. Using the self-incompatible maternal line is one of the most popular methods for hybrid seed production in Brassicaceae, this research aims at selecting the inbred line that is self-incompatibility to be used as maternal line for hybrid seed production and evaluating the hybrids for satisfying the needs of the manufacturers. The result showed that 4OR-17, 2M-23, and 19H9-9 are in the weak-self-compatibility (WSI) group. The evaluation of the six hybrids reveals that the cross of 19H16x2M-3(H6) produced a yield weight of 2,935 kg/rai and is significantly different from the parental lines. However, the head after trimming was larger than the size required for processing. Meanwhile, the cross of 2M-23x4OR-17(H4) produced 2,726 kg/rai in yield weight which is not significantly different from the commercial varieties, the head weight of 342 g/head, with 7.9 centimeters in length, and 8.0 centimeters in width. This combination is suitable for processing due to its high yield weight, proper head size, as well as having appropriate solidity of the head. Moreover, it showed positive heterosis in yield weight per rai and head shape index.

**Keywords:** Brassicaceae, leaf mustard, trimming, solidity

**บทคัดย่อ**: เมล็ดพันธุ์ลูกผสมของผักกาดเขียวปลียังไม่มีการผลิตภายในประเทศไทยได้ ฉะนั้น เมล็ดที่ใช้ในการผลิตต้องส่งโรงงานแปรรูปผักกาดดอง จึงเป็นเมล็ดนำเข้าจากต่างประเทศ การผลิตลูกผสมสามารถทำได้หลายวิธี และการใช้ลักษณะการผสมตัวเองไม่ติดเป็นสายพันธุ์แม่ก็เป็นอีกวิธีที่นิยมใช้สำหรับผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมในพืชวงศ์กะหล่ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์แท้ที่มีลักษณะการผสมตัวเองไม่ติดเป็นสายพันธุ์แม่สำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสม และประเมินพันธุ์ลูกผสมที่มีลักษณะตรงตามความต้องการของโรงงาน ผลการประเมินพบว่า 4OR - 17, 2M - 23 และ 19H9 - 9 เป็นสายพันธุ์ที่มีการผสมตัวเองไม่ติดปานกลาง การประเมินพันธุ์เมล็ดพันธุ์ลูกผสม 6 คู่ผสม พบว่า คู่ผสม 19H16x2M-3(H6) ให้ผลผลิต 2,935 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสายพันธุ์พ่อและแม่ อย่างไรก็ตามขนาดปลีหลังการตัดแต่งมีขนาดใหญ่กว่าความต้องการสำหรับการแปรรูป ในขณะที่คู่ผสม 2M-23x4OR-17(H4) ให้ผลผลิต 2,726 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกับพันธุ์การค้า และมีน้ำหนักปลีหลังตัดแต่งเท่ากับ 342 กรัมต่อปลี ความยาวของปลี 7.9 เซนติเมตร และความกว้างของปลี 8.0 เซนติเมตร จึงเป็นคู่ผสมที่เหมาะสำหรับการแปรรูป เนื่องจากมีน้ำหนักผลผลิตสูง รวมทั้งมีขนาดของปลี และความแน่นปลีที่ดี เหมาะสำหรับการแปรรูป อีกทั้งยังมีค่าความดีเด่นของลูกผสมในด้านลักษณะของผลผลิตต่อไร่ และดัชนีปลีในทางบวก

**คำสำคัญ**: พืชวงศ์กะหล่ำ ผักกาดเขียวปลี การตัดแต่ง ความแน่นของปลี

## บทนำ

ผักกาดเขียวปลีมีชื่อเรียกหลายชื่อขึ้นอยู่กับแหล่งปลูกแต่ละพื้นที่ เช่น Chinese mustard, Indian mustard, brown mustard และ leaf mustard มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica juncea* L. var. *rugosa* อยู่ในวงศ์กะหล่ำ (Brassicaceae/Cruciferae) (IBPGR, 1981) โดยมีถิ่นกำเนิดในแอฟริกา แต่ส่วนใหญ่ปลูกในทวีปเอเชียและมีการปลูกอย่างกว้างขวางจากยุโรปตะวันออกจนถึงสาธารณรัฐประชาชนจีนและอินเดีย ผักกาดเขียวปลีเป็นพืชที่นำไปผลิตน้ำมันที่มีความสำคัญมากในประเทศอินเดีย (Purseglove, 1968) เกิดจากการผสมระหว่าง black mustard (*Brassica nigra*, n = 8B) กับ oilseed rape (*Brassica campestris*, n = 10A) ซึ่งเกิดลูกผสมเป็น *B. juncea* (n = 18, AB) (Chen *et al.,* 2011) สำหรับคนไทยนิยมบริโภคโดยนำมาแปรรูปเป็นผักกาดดองเค็ม ดองเปรี้ยว และบริโภคสดบ้างเล็กน้อย เมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวปลีที่ใช้ในปัจจุบันเป็นเมล็ดพันธุ์ที่นำเข้า โดยให้ผลผลิตต่ำในช่วงฤดูร้อน ห่อปลีไม่แน่น และแทงช่อดอกเร็วในสภาพอากาศร้อน ประเทศไทยไม่มีการผลิตเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวปลีลูกผสม เนื่องจากสภาพอากาศไม่เหมาะสม และขาดสายพันธุ์พ่อแม่ที่ดี ซึ่งการผลิตผักกาดเขียวปลีลูกผสมต้องการอุณหภูมิต่ำ เพื่อชักนำการออกดอกและการติดเมล็ดที่สมบูรณ์ นอกจากนี้สายพันธุ์พ่อแม่ที่นำมาใช้สำหรับสร้างลูกผสมจะต้องเป็นพันธุ์แท้และมีพันธุกรรมที่ดี (Nikornpun, 2001; Siyal, 2019) สำหรับสายพันธุ์แม่ที่นำมาผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมนิยมใช้สายพันธุ์เกสรเพศผู้เป็นหมัน และลักษณะการผสมตัวเองไม่ติด (self-incompatibility: SI) ซึ่งส่วนใหญ่พบในพืชวงศ์กะหล่ำ และพืชผักอื่น ๆ ซึ่งเกิดบริเวณยอดเกสรเพศเมียไม่ยอมรับละอองเรณูจากการผสมตัวเอง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปฏิสนธิหรือการผสมเลือดชิดในพืชนั้น ๆ (inbreeding) ละอองเรณูไม่สามารถงอกบนยอดเกสรเพศเมียได้ เพราะมีสารยับยั้งการงอกของหลอดละอองเรณูบริเวณยอดเกสรเพศเมีย โดยเฉพาะส่วนที่เรียกว่า papillae cell แต่สามารถรับละอองเรณูจากต่างสายพันธุ์หรือจากต้นอื่น ๆ ได้ นักปรับปรุงพันธุ์จึงนำลักษณะนี้มาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชผักวงศ์กะหล่ำ (Kitashiba and Nasrallah, 2014) การผสมตัวเองไม่ติดเกิดจากยีนตำแหน่งเดียวที่ควบคุมโดย S-locus จากปฏิกิริยาที่เรียกว่า sporophytic self-incompatibility (SSI) การประเมินลักษณะการผสมตัวเองไม่ติดในพืช

วงศ์กะหล่ำสามารถทดสอบได้ 2 วิธี คือ การผสมข้ามในดอกบานและดอกตูมภายในช่อดอกเดียวกัน วิเคราะห์ผลโดยนับจำนวนเมล็ดที่ติดในฝัก ต้นที่มีลักษณะผสมตัวเองไม่ติดเมล็ดจะไม่พัฒนาจากการผสมในดอกบาน แต่ติดเมล็ดสมบูรณ์ในดอกตูม วิธีนี้เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ผักกาดขาวปลี กะหล่ำปลี ผักกาดหัว เป็นต้น ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือการศึกษาการงอกของหลอดเรณูในก้านชูเกสรเพศเมีย หลังจากที่เกสรเพศเมียได้รับการผสมแล้วภายใต้ fluorescent microscope เพื่อประเมินสายพันธุ์แม่ที่ผสมตัวเองไม่ติดและใช้เป็นสายพันธุ์ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสม ซึ่งเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีความสม่ำเสมอของสายพันธุ์ ให้ผลผลิตสูง และมีความดีเด่นในทุก ๆ ด้าน (Nikornpun, 2001; Siyal, 2019) ความดีเด่นของลูกผสม หมายถึง ลูกผสมที่ได้จากการผสมของสายพันธุ์แท้ การโคลน หรือการผสมข้ามของพืชที่มีพันธุกรรมแตกต่างกัน ซึ่งลูกผสมนั้นจะแสดงลักษณะหรือความสามารถต่าง ๆ ที่เหนือกว่าพ่อแม่ อาจจะแสดงได้ในบางลักษณะ เช่น ให้ผลผลิตที่สูงกว่าพ่อแม่เพียงอย่างเดียวแต่ไม่ต้านทานโรค หรืออาจจะแสดงออกหลาย ๆ ลักษณะ เช่น ลูกผสมที่ให้ความแข็งแรงต้านทานโรคสูง ซึ่งการใช้ลักษณะความดีเด่นของลูกผสมที่เหนือกว่าพ่อแม่ในการปรับปรุงพันธุ์ Indian mustard และ rapeseed พบว่า แสดงลักษณะของผลผลิตต่อไร่เหนือกว่าพ่อแม่ทั้งทางบวกและทางลบ (Dar *et al*., 2011) นอกจากนี้ ยังมีการนำลักษณะความดีเด่นที่เหนือกว่าพ่อหรือแม่มาประเมินในด้านน้ำหนักของเมล็ดพันธุ์ และองค์ประกอบของผลผลิตสูง เพื่อนำลูกผสมดังกล่าวไปใช้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์จำหน่ายทางการค้า สำหรับการประเมินความดีเด่นของลูกผสมสามารถคำนวณได้หลายวิธี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์แม่ที่มีลักษณะการผสมตัวเองไม่ติด เพื่อพัฒนาสายพันธุ์ผักกาดเขียวปลีลูกผสม ที่มีลักษณะดีทางพืชสวน ตรงตามความต้องการของโรงงานแปรรูป และประเมินความดีเด่นของลูกผสมที่แสดงออกด้านผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต

## อุปกรณ์และวิธีการ

ปลูกผักกาดเขียวปลีสายพันธุ์แท้ในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2562 เพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมชั่วที่หนึ่ง จากการผสมแบบพบกันหมด แล้วประเมินลักษณะผสมตัวเองไม่ติดเพื่อคัดเลือกต้นพันธุ์ที่เหมาะสำหรับใช้เป็นสายพันธุ์แม่ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสม เพาะเมล็ดสายพันธุ์แท้พ่อและแม่พันธุ์จำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ 4OR-2, 4OR-17, 2M-3, 2M-23, 19H9-9 และ 19H16 ซึ่งมีลักษณะปลีกลม ห่อปลีแน่น และให้ผลผลิตที่ดี เป็นสายพันธุ์ที่ถูกคัดเลือกมาจาก pedigree method โดยรองศาสตราจารย์ ดร.มณีฉัตร นิกรพันธุ์ สังกัดภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 จนถึงปัจจุบัน ในการทดลองนี้ได้นำเมล็ดมาเพาะให้งอกแล้วกระตุ้นให้แทงช่อดอกด้วยอุณหภูมิต่ำประมาณ 5 - 10 °C นาน 14 วัน และย้ายปลูกในห้องควบคุมอุณภูมิ 20 ± 3 °C ให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ความเข้ม 9,000 ลักซ์ ตลอด 24 ชั่วโมง เมื่อต้นมีอายุประมาณ 4 - 5 สัปดาห์หลังปลูก ประเมินการผสมตัวเองไม่ติด ตามวิธีการดังนี้

1. การถ่ายละอองเรณูดอกตูมและดอกบานภายในช่อเดียวกัน (seed set analysis) (Opena *et al*., 1988) ผสมระยะดอกตูมและดอกบานภายในช่อเดียวกัน เตรียมช่อดอก 3 - 4 ช่อต่อต้น เด็ดดอกบานทิ้งให้หมด คลุมด้วยถุงกระดาษ 3 วัน จากนั้นถ่ายละอองเรณูโดยใช้มือแตะเกสรตัวผู้จากดอกบานในต้นเดียวกันให้กับดอกตูมและดอกบานอย่างละเท่า ๆ กัน ของต้นผักกาดเขียวปลีที่แทงช่อดอก จากนั้นใช้ไหมพรมผูกเป็นเครื่องหมายระหว่างดอกตูมและดอกบานที่ถ่ายละอองเรณูในแต่ละช่อดอก เมื่อฝักแก่จึงเก็บเมล็ดพันธุ์ (Figure 1) บันทึกข้อมูลจำนวนการติดเมล็ด และนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การประเมินการติดเมล็ด (seed set analysis) หรือ อัตราส่วนการติดเมล็ด (seed set ratio) ดังนี้

$$\text{Seed set analysis (\%)} = \frac{\text{Seed from open flower}}{\text{Seed from flower bud}} \times 100$$

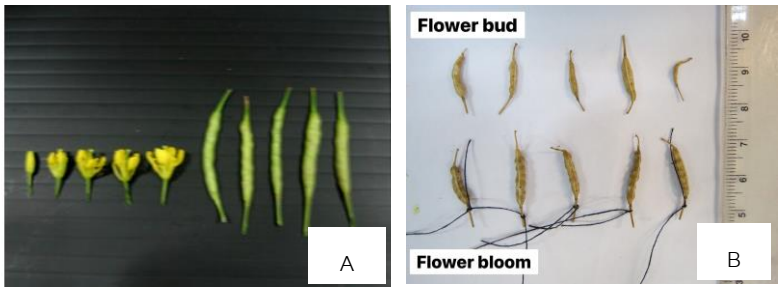


Figure 1. Seed set derived from different stage of flower, seed set in green mature pod (A) and dry pod (B)

ใช้เกณฑ์การประเมินของ Kokubun *et al*. (2006)

การผสมตัวเองติด (strong self-compatible: SSC) ติดเมล็ดมากกว่า 90 % ขึ้นไป

การผสมตัวเองติดปานกลาง (weak self-compatibility: WSC) ติดเมล็ดตั้งแต่ 50.01 - 90 %

การผสมตัวเองไม่ติดปานกลาง (weak self-incompatible: WSI) ติดเมล็ดตั้งแต่ 10 - 49.9 %

การผสมตัวเองไม่ติด (strong self-incompatible: SSI) ติดเมล็ดน้อยกว่า 10 %

2. ประเมินการงอกของหลอดละอองเรณูในก้านชูเกสรเพศเมีย (fluorescent microscope technique) ตรวจนับละอองเรณูที่งอกและหลอดเรณูที่เจริญลงในก้านเกสรเพศเมียของดอกบาน เพื่อนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการของ Kho and Baer (1968)

การผสมตัวเองในดอกบานพบหลอดเรณูที่ก้านชูเกสรเพศเมีย 0 - 29.9 % คือ ผสมตัวเองไม่ติด (SSI)

การผสมตัวเองในดอกบานพบหลอดเรณูที่ก้านชูเกสรเพศเมีย 30 - 49.9 % คือ ผสมตัวเองไม่ติดปานกลาง (WSI)

การผสมตัวเองในดอกบานพบหลอดเรณูที่ก้านชูเกสรเพศเมีย 50 - 79.9 % คือ ผสมตัวเองไม่ติดน้อย (VWSI)

การผสมตัวเองในดอกบานพบหลอดเรณูที่ก้านชูเกสรเพศเมีย 80 - 99 % คือ ผสมตัวเองติดปานกลาง (WSC)

การผสมตัวเองในดอกบานพบหลอดเรณูที่ก้านชูเกสรเพศเมีย 100 % คือ ผสมตัวเองติด (SSC)

เมื่อผักกาดเขียวปลีแต่ละสายพันธุ์เริ่มออกดอก เลือกผสมดอกตูมแล้วใช้ถุงกระดาษห่อช่อดอกเพื่อป้องกันการผสมข้าม แล้วเมื่อดอกบานทำการผสมดอกที่บาน โดยมีแผนการผสมแบบพบกันหมด ซึ่งได้จำนวน 36 คู่ผสม แบ่งเป็น ผสมข้าม 30 คู่ และ ผสมตัวเอง 6 สายพันธุ์ หลังจากผสมเกสรประมาณ 10 - 15 วัน ฝักเริ่มพัฒนาจนแก่ สังเกตจากสีของฝักเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาล ทำการเก็บเกี่ยวขณะที่ฝักยังไม่แห้งเต็มที่ โดยเก็บ ใส่ถุงกระดาษแยกแต่ละพันธุ์พร้อมทั้งเขียนชื่อพันธุ์กำกับไว้

ปลูกประเมินพ่อแม่พันธุ์ พันธุ์การค้า (S1) และลูกผสม ในช่วงฤดูฝน เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2562 จำนวน 6 คู่ผสม ได้แก่ 4OR-2x2M-23 (H1), 4OR-17x2M-3 (H2), 2M-23x4OR-2 (H3), 2M-23x4OR-17 (H4), 2M-23x19H16 (H5) และ 19H16x2M-3 (H6) โดยประเมินผลการตรวจสอบการผสมตัวเองไม่ติดปานกลาง และการผสมตัวเองติดปานกลาง วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ปลูกพันธุ์ละ 120 ต้นต่อซ้ำ เตรียมแปลงปลูกขนาด 1 x 16 เมตร ผสมปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีคลุกเคล้าให้เข้ากัน และคลุมแปลงด้วยพลาสติก ใช้ระยะปลูก 30 x 30 เซนติเมตร ให้น้ำระบบน้ำหยด พร้อมกับให้สารละลายปุ๋ยที่ประกอบด้วยปุ๋ยสูตร 15-0-0 อัตรา 300 กรัม 13-0-46 อัตรา 130 กรัม 0-52-34 อัตรา 150 กรัม และธาตุอาหารรอง (micronutrient) อัตรา 5 กรัม ละลายในน้ำ 200 ลิตรไป พร้อมกับระบบน้ำ วันละ 2 ครั้ง เช้า - เย็น ป้องกันกำจัดศัตรูพืชเมื่อพบการเข้าทำลาย เก็บเกี่ยวผลผลิต บันทึกข้อมูล ผลผลิตต่อไร่ น้ำหนักปลีก่อน - หลังตัดแต่ง

เปอร์เซ็นต์การตัดแต่ง ความแน่นของปลี (คำนวณจากมวลต่อปริมาตรของปลี) และอัตราส่วนของปลี (head shape index: HSI) พิจารณาจากความยาวกับความกว้างของปลี เพื่อการประเมินรูปร่างลักษณะของปลี เมื่อต้นมีอายุ 45 วันหลังย้ายปลูก วิเคราะห์ข้อมูลและคำนวณความดีเด่นของลูกผสม

## ผลการศึกษา

การตรวจสอบการผสมตัวเองไม่ติดในผักกาดเขียวปลีพันธุ์เกสรเพศผู้ปกติ จากการประเมินการติดเมล็ดในระยะดอกตูมและดอกบาน พบว่า คู่ผสมที่ติดเมล็ดเฉลี่ยร้อยละ 10 - 50 ได้แก่ 19H16x2M-3, 2M-23x19H16, 4OR-17x4OR-17(4OR-17⊗), 4OR-2x2M-23, 2M-23x2M-3, 4OR-17x2M-3 และ 2M-23x4OR-17 ติดเมล็ดเฉลี่ยร้อยละ 40.6, 43.2, 44.3, 45.7, 47.4, 47.6 และ 49.2 ตามลำดับ จัดเป็นกลุ่มผสมตัวเองไม่ติดปานกลาง (weak self-incompatible: WSI) (Table 1) คู่ผสมที่ติดเมล็ดเฉลี่ยร้อยละ 50.01 - 90 จำนวนทั้งหมด 21 คู่ผสม โดยติดเมล็ดเฉลี่ยร้อยละ 55.7 - 89.8 จัดเป็นกลุ่มการผสมตัวเองติดปานกลาง (weak-self-compatibility: WSC) (Table 1) สำหรับคู่ผสมที่ติดเมล็ดเฉลี่ยร้อยละ 90 ขึ้นไป ได้แก่ 4OR-17x19H16, 19H19x19H16 (19H16⊗), 2M-23x19H9-9, 2M-23x2M-23 (2M-23⊗), 4OR-17x19H9-9, 4OR-2x19H16, 19H16x4OR-2 และ 19H16x4OR-17 ติดเมล็ดเฉลี่ยร้อยละ 91.4, 91.4, 94.4, 94.6, 96.6, 96.7, 98.2 และ 98.3 ตามลำดับ จัดเป็นกลุ่มการผสมตัวเองติด (strong self-compatible: SSC) (Table 1, Figure 2A, 2B)

การตรวจสอบการผสมตัวเองไม่ติดโดยวิธีการตรวจหาการงอกของหลอดเรณูในเกสรเพศเมีย พบว่า การผสมในระยะดอกบานมีการงอกของละอองเรณูระหว่างร้อยละ 58.1 - 100.0 โดยคู่ผสม 2M-23x4OR-2 มีการงอกของหลอดเรณูเฉลี่ยร้อยละ 58.1 จัดอยู่ในกลุ่มผสมตัวเองไม่ติดน้อย (VWSI) รองลงมาคือคู่ผสม 19H9-9x2M-3, 19H16x2M-3, 4OR-17x2M-3, 4OR-2x2M-23 และ 2M-23x19H ที่มีการงอกของหลอดเรณูเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 60.0, 66.7, 67.7, 74.4 และ 75.6 ตามลำดับ จัดอยู่ในกลุ่มผสมตัวเองไม่ติดปานกลาง สำหรับคู่ผสมอื่น ๆ จัดอยู่ในกลุ่มของผสมตัวเองติดขณะดอกบาน โดยมีหลอดเรณูเจริญลงไปที่ก้านชูเกสรเพศเมียร้อยละ 80 - 100 (Table 1)

การประเมินพันธุ์ผักกาดเขียวปลีลูกผสมชั่วที่หนึ่ง พบว่า ผลผลิตต่อไร่ของสายพันธุ์ลูกผสม สายพันธุ์แม่ สายพันธุ์พ่อ และพันธุ์การค้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2) ซึ่งสายพันธุ์ลูกผสมให้ผลผลิตต่อไร่ 2,048 - 2,935 กิโลกรัม โดยลูกผสมที่นำมาประเมินครั้งนี้มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์การค้า S1 ยกเว้น ลูกผสม H2 ให้ผลผลิต 2,048 กิโลกรัมต่อไร่

น้ำหนักปลีก่อนตัดแต่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีน้ำหนักปลีตั้งแต่ 723 - 896 กรัมต่อปลี น้ำหนักปลีหลังตัดแต่ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยลูกผสม H3 มีแนวโน้มของน้ำหนักหลังตัดแต่งสูงเท่ากับ 391 กรัมต่อปลี ทั้งนี้น้ำหนักปลีหลังตัดแต่งที่ตรงกับความต้องการของโรงงานผลิตผักกาดดองกระป๋อง โดยกำหนดน้ำหนักปลีหลังตัดแต่งเฉลี่ย 250 - 350 กรัมต่อปลี ซึ่งลูกผสมที่มีน้ำหนักปลีหลังตัดแต่งอยู่ในช่วงดังกล่าว ได้แก่ H5, H4, H1 และ H2 มีน้ำหนักหลังตัดแต่งเท่ากับ 343, 342, 340 และ 284 กรัมต่อปลี ตามลำดับ ทางด้านร้อยละการตัดแต่งของลูกผสมส่วนใหญ่มีร้อยละการตัดแต่งต่ำกว่า 45 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกับพันธุ์การค้า และพ่อแม่พันธุ์ (Table 2)

ทางด้านความแน่นของปลี พบว่า ลูกผสมชั่วที่หนึ่ง H2 มีความแน่นของปลีสูงสุด 1.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์การค้า สำหรับลูกผสมอื่น ๆ มีความแน่นปลีอยู่ระหว่าง 0.9 - 1.0 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อย่างไรก็ตามลูกผสมอื่น ๆ มีค่าความแน่นปลีไม่แตกต่างกับพันธุ์การค้าที่บริษัทใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผักกาดดอง

สำหรับความกว้างและความยาวของปลี เมื่อนำมาคำนวณอัตราส่วนปลี พบว่า คู่ผสมส่วนใหญ่มีอัตราส่วนปลีอยู่ระหว่าง 1.0 - 1.1 ทั้งนี้ค่าดังกล่าวเป็นที่ยอมรับของโรงงานแปรรูปที่กำหนดไว้ว่าอัตราส่วนของปลีควรมีค่าเท่ากับ 1.0 ซึ่งมีลักษณะรูปร่างปลีเหมาะสำหรับการบรรจุกระป๋อง (Table 2)

Table 1. Seed set analysis and fluorescent microscope technique result

| Female | Male | Seed set analysis | | | | Fluorescent microscope technique | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Number of seed per pod | | Seed set (%) | Evaluation[1] | Germination of pollen tubes (%) | Evaluation |
| | | Flower bud | Flower bloom | | | | |
| 4OR-2 | 4OR-2 | 12.0 | 10.2 | 85.0 | WSC | 92.9 | WSC |
| 4OR-2 | 4OR-17 | 11.4 | 9.2 | 80.7 | WSC | 82.4 | WSC |
| 4OR-2 | 2M-3 | 12.0 | 9.2 | 76.7 | WSC | 93.8 | WSC |
| 4OR-2 | 2M-23 | 14.0 | 6.4 | 45.7 | WSI | 74.4 | WSI |
| 4OR-2 | 19H9-9 | 11.8 | 10.6 | 89.8 | WSC | 100.0 | WSC |
| 4OR-2 | 19H16 | 12.2 | 11.8 | 96.7 | SSC | 100.0 | SSC |
| 4OR-17 | 4OR-17 | 12.2 | 5.4 | 44.3 | WSI | 93.2 | WSI |
| 4OR-17 | 4OR-2 | 12.2 | 8.6 | 70.5 | WSC | 100.0 | SSC |
| 4OR-17 | 2M-3 | 12.6 | 6.0 | 47.6 | WSI | 67.7 | WSI |
| 4OR-17 | 2M-23 | 11.0 | 9.6 | 87.3 | WSC | 87.1 | WSC |
| 4OR-17 | 19H9-9 | 11.6 | 11.2 | 96.6 | SSC | 83.3 | WSC |
| 4OR-17 | 19H16 | 11.6 | 10.6 | 91.4 | SSC | 100.0 | SSC |
| 2M-3 | 2M-3 | 10.4 | 8.0 | 76.9 | WSC | 85.2 | WSC |
| 2M-3 | 4OR-2 | 12.2 | 8.4 | 68.9 | WSC | 100.0 | WSC |
| 2M-3 | 4OR-17 | 13.2 | 11.0 | 83.3 | WSC | 100.0 | SSC |
| 2M-3 | 2M-23 | 13.0 | 8.8 | 67.7 | WSC | 100.0 | WSC |
| 2M-3 | 19H9-9 | 14.2 | 8.6 | 60.6 | WSC | 90.3 | WSI |
| 2M-3 | 19H16 | 12.0 | 10.6 | 88.3 | WSC | 100.0 | SSC |
| 2M-23 | 2M-23 | 11.2 | 10.6 | 94.6 | SSC | 58.1 | WSI |
| 2M-23 | 4OR-2 | 13.8 | 9.2 | 66.7 | WSC | 64.3 | WSI |
| 2M-23 | 4OR-17 | 12.6 | 6.2 | 49.2 | WSI | 100.0 | SSC |
| 2M-23 | 2M-3 | 15.2 | 7.2 | 47.4 | WSI | 87.9 | WSC |
| 2M-23 | 19H9-9 | 10.0 | 9.4 | 94.0 | SSC | 100.0 | WSC |
| 2M-23 | 19H16 | 14.8 | 6.4 | 43.2 | WSI | 75.6 | WSI |
| 19H9-9 | 19H9-9 | 11.6 | 10.6 | 91.4 | SSC | 100.0 | SSC |
| 19H9-9 | 4OR-2 | 12.2 | 6.8 | 55.7 | WSC | 100.0 | WSC |
| 19H9-9 | 4OR-17 | 13.0 | 8.6 | 66.2 | WSC | 60.0 | WSC |
| 19H9-9 | 2M-3 | 12.4 | 10.8 | 87.1 | WSC | 89.5 | WSC |
| 19H9-9 | 2M-23 | 11.2 | 8.0 | 71.4 | WSC | 85.7 | WSC |
| 19H9-9 | 19H16 | 12.2 | 9.6 | 78.7 | WSC | 94.1 | WSC |
| 19H16 | 19H16 | 13.0 | 9.6 | 73.8 | WSC | 100.0 | WSC |
| 19H16 | 4OR-2 | 11.0 | 10.8 | 98.2 | SSC | 100.0 | WSC |
| 19H16 | 4OR-17 | 11.8 | 11.6 | 98.3 | SSC | 100.0 | WSC |
| 19H16 | 2M-3 | 13.8 | 5.6 | 40.6 | WSI | 66.7 | WSI |
| 19H16 | 2M-23 | 11.8 | 9.2 | 78.0 | WSC | 88.9 | WSC |
| 19H16 | 19H9-9 | 14.0 | 9.8 | 70.0 | WSC | 100.0 | WSC |

[1]strong self - compatible (SSC), weak self - compatibility (WSC), weak self - incompatible (WSI), very weak self-incompatibility (VWSI) by Kho and Baer (1968) and Kokubun *et al*. (2006)

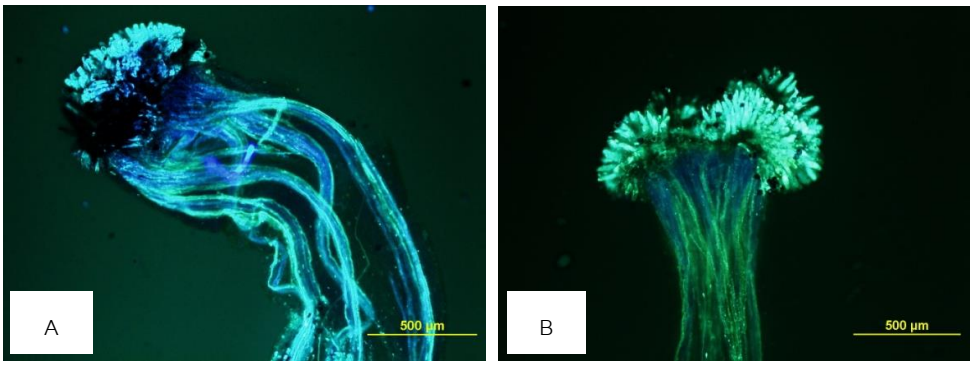


Figure 2. Fluorescence microscope technique of pistil stained with aniline blue (A) flower bloom and (B). open flower

Table 2. Yield and yield components of leaf mustard parental lines and $F_1$ hybrid

| Variety | Head weight (g) | | Yield (kg / rai) | Trimming[1] (%) | Solidity of head[2] (g / cm$^3$) | Head shape (cm) | | HSI[3] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Before trimming | After trimming | | | | Length | Width | |
| Parental lines | | | | | | | | |
| 4OR-2 | 772 | 367$^{ab}$ | 2,902$^{a-c}$ | 47.6$^{ab}$ | 0.8$^{cd}$ | 7.5$^{cde}$ | 8.3 | 1.1$^{a-c}$ |
| 4OR-17 | 723 | 306$^{b-c}$ | 2,202$^{de}$ | 42.5$^{bc}$ | 0.9$^{bcd}$ | 7.8$^{de}$ | 8.5 | 0.9$^{e}$ |
| 2M-23 | 752 | 380$^{a}$ | 2,899$^{a-c}$ | 50.9$^{a}$ | 0.9$^{bcd}$ | 7.9$^{cde}$ | 8.5 | 0.9$^{e}$ |
| 19H16 | 765 | 306$^{bc}$ | 2,335$^{c-e}$ | 39.8$^{c}$ | 1.1$^{ab}$ | 7.9$^{cde}$ | 8.2 | 0.9$^{de}$ |
| 2M-3 | 760 | 377$^{a}$ | 3,027$^{a}$ | 50.8$^{a}$ | 0.7$^{d}$ | 7.2$^{e}$ | 7.3 | 1.0$^{b-e}$ |
| $F_1$ Hybrids | | | | | | | | |
| H1 | 881 | 340$^{a-c}$ | 2,856$^{a-c}$ | 40.0$^{c}$ | 0.9$^{bcd}$ | 9.7$^{a}$ | 8.6 | 1.1$^{a}$ |
| H2 | 766 | 284$^{e}$ | 2,048$^{e}$ | 37.7$^{c}$ | 1.3$^{a}$ | 8.1$^{cde}$ | 7.8 | 1.0$^{a-d}$ |
| H3 | 896 | 391$^{a}$ | 2,874$^{a-c}$ | 44.0$^{a-c}$ | 0.9$^{bcd}$ | 9.4$^{ab}$ | 8.3 | 1.1$^{a}$ |
| H4 | 822 | 342$^{a-c}$ | 2,726$^{a-d}$ | 42.4$^{bcd}$ | 0.9$^{bcd}$ | 7.9$^{cde}$ | 8.0 | 1.0$^{b-e}$ |
| H5 | 848 | 343$^{a-f}$ | 2,899$^{a-c}$ | 41.0$^{bc}$ | 1.0$^{bcd}$ | 8.4$^{bcd}$ | 8.5 | 1.0$^{b-e}$ |
| H6 | 826 | 352$^{ab}$ | 2,935$^{ab}$ | 43.4$^{bc}$ | 1.0$^{bcd}$ | 8.7$^{abcd}$ | 8.0 | 1.1$^{ab}$ |
| Commercial | | | | | | | | |
| S1 | 723 | 306$^{b-c}$ | 2,202$^{de}$ | 42.5$^{bc}$ | 0.9$^{bcd}$ | 7.8$^{de}$ | 8.5 | 1.1$^{a-c}$ |
| *F - test* | ns | ** | ** | ** | * | * | ns | ** |
| C.V. (%) | 8.1 | 9.3 | 6.9 | 8.5 | 5.3 | 8.2 | 5.1 | 11.7 |

*,** Mean within column with different letters different at $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ according to least significant difference by DMRT and ns = non-significant, respectively

[1]Percentage of trimming = {(before trimming-after trimming)/ before trimming} x 100

[2]Solidity of head = MHW / (0.524 d1$^2$d2) MHW = mean head weight, d1 = mean length of head, d2 = mean width of head

[3]Head shape index (HIS) = (Head length)/(Head width)

4OR-2x2M-23 (H1), 4OR-17x2M-3 (H2), 2M-23x4OR-2 (H3), 2M-23x4OR-17 (H4), 2M-23x19H16 (H5) and 19H16x2M-3 (H6)

ความดีเด่นของลูกผสมที่เหนือกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ในลักษณะผลผลิตต่อไร่ พบว่า มีค่าความดีเด่นที่เหนือกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่แสดงออกทั้งทางด้านบวกและทางลบร้อยละ -21.6 ถึง 12.1 ซึ่งลูกผสมที่ให้ความดีเด่นทางบวกสูงสุด คือ H6 มีค่าความดีเด่นเท่ากับร้อยละ 12.1 ส่วนลูกผสมที่แสดงออกทางลบสูงสุด คือ H2 มีค่าความดีเด่นเท่ากับร้อยละ -21.6 ลักษณะน้ำหนักปลีก่อนตัดแต่งแสดงออกทางบวกทุกคู่ โดยมีค่าความดีเด่นร้อยละ 3.3 ถึง 17.6 ลูกผสมที่ให้ความดีเด่นทางบวกสูงสุด คือ H3 ซึ่งมีความดีเด่นเท่ากับร้อยละ 17.6 ลูกผสมที่ให้ความดีเด่นต่ำสุด คือ H2 มีค่าความดีเด่นเท่ากับร้อยละ 3.3 ลักษณะน้ำหนักปลีหลังตัดแต่งพบว่ามีค่าความดีเด่นทั้งทางบวกและทางลบเท่ากับร้อยละ -6.8 ถึง 4.7 ลูกผสมที่ให้ความดีเด่นทางบวกสูงสุด คือ H3 ซึ่งให้ความดีเด่นเท่ากับร้อยละ 4.7 ลูกผสมที่แสดงออกทางลบสูงสุด คือ H2 มีค่าความดีเด่นเท่ากับร้อยละ -16.8 ค่าของเปอร์เซ็นต์การตัดแต่งแสดงความดีเด่นในทางลบทางด้านความแน่นของปลีแสดงความดีเด่นทางบวกและทางลบเท่ากับร้อยละ -5.3 ถึง 56.9 ลูกผสมที่ให้ความดีเด่นทางบวกสูงสุด คือ H2 มีความดีเด่นเท่ากับร้อยละ 56.9 ลูกผสมที่แสดงออกทางลบสูงสุด คือ H6 มีค่าความดีเด่นเท่ากับร้อยละ -5.9 อัตราส่วนของปลี พบว่า มีค่าความดีเด่นทางบวกเท่ากับร้อยละ 7.3 ถึง 17.4 ลูกผสมที่ให้ความดีเด่นสูงสุด คือ H6 มีความดีเด่นเท่ากับร้อยละ 17.4 ส่วนลูกผสมที่แสดงความดีเด่นต่ำสุด คือ H5 มีค่าความดีเด่นเท่ากับร้อยละ 7.3 (Table 3)

## วิจารณ์

การตรวจสอบการผสมตัวเองไม่ติดในผักกาดเขียวปลี โดยการถ่ายละอองเรณูในระยะดอกตูมและดอกบานภายในช่อเดียวกันและการงอกของหลอดละอองเรณูในก้านชูเกสรเพศเมีย พบว่า สายพันธุ์ 4OR-17, 2M-23 และ 19H9-9 เป็นสายพันธุ์ที่มีการผสมตัวเองไม่ติดปานกลางและผสมตัวเองติดน้อย ซึ่งสายพันธุ์ผักกาดเขียวปลีที่นำมาทดสอบในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาสายพันธุ์มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 ลักษณะของปลี ขนาดปลี และความแน่นมีความสม่ำเสมอ ทั้งนี้การประเมินลักษณะผักกาดเขียวปลีสำหรับใช้เป็นสายพันธุ์แม่ในการสร้างลูกผสม เพื่อลดแรงงานในการตอนเกสรเพศผู้ ยังคงเป็นวิธีที่นิยมใช้ในหลายประเทศ (Bahrain *et al*., 2017) ลักษณะการผสมตัวเองไม่ติดเกิดจากการยับยั้งการงอกของละอองเรณูเมื่อมีการผสมตัวเองในพืชวงศ์กะหล่ำ สลัด และพืชอีกหลายชนิด ซึ่งถูกควบคุมด้วยยีนตำแหน่งเดียวที่เรียกว่า S-locus การผสมตัวเองไม่ติดแบ่งออกเป็นสองระบบ เรียกว่า gametophytic self-incompatibility (GSI) และ sporophytic self-incompatibility (SSI) (Claessen *et al*., 2019; Kaur *et al*., 2021) ในการทดลองนี้ ได้นำสายพันธุ์ที่ประเมินมาผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสม

Table 3. Heterosis of yield and yield components in leaf mustard

| Hybrids | Before trimming | After trimming | Yield | Trimming | Solidity of head | Length of head | Width of head | HSI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H1 | 15.8* | -9.4 | -1.6 | -19.6* | 9.0 | 26.3** | 2.4 | 13.9** |
| H2 | 3.3 | -16.8* | -21.6** | -19.1* | 56.9** | 8.3 | -1.6 | 10.6** |
| H3 | 17.6** | 4.7 | -0.9 | -10.6* | 5.3 | 21.9** | -1.1 | 13.7** |
| H4 | 11.5* | -0.1 | 6.9* | -9.9 | -5.3 | 1.0 | -6.3 | 9.2 |
| H5 | 11.9 | -0.1 | 10.8* | -9.5 | -5.8 | 6.7 | 1.5 | 7.3 |
| H6 | 9.0 | 2.6 | 12.1* | -4.3 | -5.9 | 10.0 | -4.4 | 17.4** |

*,** Significantly different from its parents at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ confidence levels, respectively

% Heterosis = $(\overline{F_1} - \overline{MP})/\overline{MP}$ X 100, $\overline{MP}$ = mid-parent (Chen *et al*., 2003)

6 คู่ ที่มีการติดเมล็ดน้อยที่อยู่ในกลุ่มผสมตัวเองไม่ติดปานกลางและการงอกของหลอดเรณูเจริญลงไปที่ก้านเกสรเพศเมีย ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มผสมตัวเองไม่ติดน้อย การประเมินลูกผสมชั่วที่หนึ่ง คู่ผสม H6 ให้ผลผลิตต่อไร่สูงแต่มีขนาดปลีที่ใหญ่กว่าขนาดที่โรงงานต้องการ ส่วนคู่ผสม H4 (Figure 3) มีผลผลิตต่อไร่ 2,726 กิโลกรัม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์การค้า และมีน้ำหนักปลีหลังตัดแต่งอยู่ในช่วง 250 - 350 กรัมต่อปลี ตรงกับความต้องการของโรงงาน นอกจากนี้ยังมีความยาวของปลีเท่ากับ 7.9 - 8.0 เซนติเมตร และความกว้างของปลีเท่ากับ 7.9 - 8.0 เซนติเมตร เมื่อนำมาคำนวณอัตราส่วนของปลีได้เท่ากับ 1.0 หมายถึงมีลักษณะรูปร่างปลีกลมเหมาะกับขนาดกระป๋องที่ใช้บรรจุ ทางด้านความแน่นปลีของ H4 มีค่าเท่ากับ 0.9 ซึ่งเป็นอีกลักษณะสำคัญที่โรงงานแปรรูปต้องการ เนื่องจากหลังจากผ่านกระบวนการดองจะต้องตัดแต่งปลีโดยผ่าครึ่งก่อนบรรจุใส่กระป๋อง หากมีความแน่นของปลีน้อยจะทำให้ส่วนที่อยู่ตรงกลางของปลีหลุดออกมา ดังนั้น H4 จึงเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะทางพืชสวนตรงตามความต้องการของโรงงาน โดยในปัจจุบันโรงงานแปรรูปจะใช้ผักกาดเขียวปลีนอกฤดูเป็นวัตถุดิบในการดอง 5,000 ตันต่อปี และมีของเสียจากต้นที่มีความแน่นของปลีต่ำประมาณ 500 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่าความสูญเสีย 4 ล้านบาทต่อปี หากโรงงานนำคู่ผสม H4 มาใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูป จะช่วยลดของเสียจากการตัดแต่งในส่วนนี้ลง ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิต และการจัดการของเสียของทางโรงงานได้ สำหรับการประเมินความดีเด่นของลูกผสมในลักษณะของผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตนั้นแสดงออกทั้งทางบวกและทางลบ เนื่องจากการแสดงออกของยีนแบบผลบวกสะสมและถูกควบคุมด้วยยีนหลายยีน ส่วนคู่ผสม H4 มีความดีเด่นของลูกผสมที่เหนือกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ทางบวกในลักษณะของผลผลิตต่อไร่ น้ำหนักปลีก่อนตัดแต่ง ความยาวปลี และอัตราส่วนของปลี แสดงความดีเด่นเท่ากับร้อยละ 6.9, 11.5, 1.0 และ 9.2 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสายพันธุ์พ่อและแม่ที่นำมาสร้างลูกผสมที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะทางพันธุกรรมที่ใกล้เคียงกัน หรือมีฐานพันธุกรรมแคบ จึงส่งผลให้การแสดงออกทางด้านความดีเด่นที่เหนือกว่าพ่อแม่มีค่าต่ำ และสามารถแสดงออกได้ทั้งทางบวกและลบ


Figure 3. Head shape of (A) female 2M-23, (B) male parent 4OR-17 and (C) H4 (2M-23x4OR-17) derived from weak self-compatibility maternal line

## สรุป

การคัดเลือกสายพันธุ์แม่ที่มีลักษณะการผสมตัวเองไม่ติด มีลักษณะทางพืชสวนที่ดีตรงตามความต้องการของโรงงานแปรรูปผักกาดดอง และเหมาะสำหรับการสร้างลูกผสม โดยประเมินจากการติดเมล็ดและการงอกของหลอดเรณู ได้แก่ สายพันธุ์ 4OR-17, 2M-23 และ 19H9-9 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีการผสมตัวเองไม่ติดปานกลาง

การประเมินลูกผสมจากแม่พันธุ์ที่มีลักษณะการผสมตัวเองไม่ติด ทางด้านผลผลิตลูกผสมที่ให้ผลผลิตสูง และมีแนวโน้มที่ดี คือ 19H16x2M-3 (H6), 2M-23x19H16 (H5), 2M-23x4OR-2 (H3), 4OR-2x2M-23 (H1) และ 2M-23x4OR-17 (H4) ทางด้านน้ำหนักผลผลิตหลังตัดแต่งที่เหมาะสำหรับการแปรรูป ได้แก่ 4OR-2x2M-23 (H1), 4OR-17x2M-3 (H2), 2M-23x4OR-17 (H4) และ 2M-23x19H16 (H5) อยู่ในช่วง 250 - 350 กรัมต่อปลี ความแน่นปลีและอัตราส่วนปลี พบว่า ลูกผสมมีความแน่นปลีและอัตราส่วนปลีที่เหมาะสำหรับการดอง

ความดีเด่นของสายพันธุ์ผักกาดเขียวปลีลูกผสม พบว่า สายพันธุ์แม่และพ่อของลูกผสม 2M-23x4OR-17 (H4), 2M-23x19H16 (H5) และ 19H16x2M-3 (H6) มีแนวโน้มที่ดีในการนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อสร้างลูกผสมเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับโรงงานแปรรูปผักกาดดองกระป๋อง เมื่อพิจารณาจากทุกลักษณะของลูกผสม 2M-23x4OR-17 (H4) คือให้ผลผลิตเท่ากับ 2,726 กิโลกรัมต่อไร่ มีน้ำหนักปลีหลังตัดแต่งเท่ากับ 342 กรัมต่อปลี ความแน่นของปลี 0.9 และอัตราส่วนของปลี เท่ากับ 1.0 จึงเป็นลูกผสมที่เหมาะสำหรับการผลิตเพื่อผลิตส่งโรงงานแปรรูป

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการและพื้นที่สำหรับการศึกษาวิจัย และขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผู้ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

Bahrain, A., M.A. Islam, M.S. Naher, A. Kakon and M.M. Hossain. 2017. Investigation of self-incompatibility in mustard through seed set analysis. Journal of Scientific Achievements 2(5): 12-17.

Chen, S., M.N. Nelson, A.M. Chèvre, E. Jenczewski, Z. Li, A.S. Mason, J. Meng, J.A. Plummer, A. Pradhan, K.H.M. Siddique, R.J. Snowdon, G. Yan, W. Zhou and W.A. Cowling. 2011. Trigenomic bridges for *Brassica* improvement. Critical Reviews in Plant Sciences 30(6): 524-547.

Chen, X., W. Sorajjapinun, S. Reiwthongchum and P. Srinives. 2003. Identification of parental mungbean lines for production of hybrid varieties. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences 2(2): 97-105.

Claessen, H., W. Keulemans, B.V. Poel and N.D. Storme. 2019. Finding a compatible partner: self-incompatibility in european pear (*Pyrus communis*); molecular control, genetic determination, and impact on fertilization and fruit set. Frontiers in Plant Science 10: 1-17.

Dar, Z.A., S.A. Wani, M.A. Wani, M. Gulzaffar, H. Khan, M. Habib, Z. Ahmed and A. Ishfaque. 2011. Heterosis and combining ability analysis for seed yield and its attributes in *Brassica rapa* ssp. brown sarson. Journal of Oilseed Brassica 2(1): 21-28.

IBPGR. 1981. Family Cruciferae. International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), Rome. 49 p.

Kaur, S., R. Kumar, S. Kaur and V. Singh. 2021. Combining ability for yield and its contributing characters in Indian mustard. Journal of Oilseed Brassica 12(1): 32-37.

Kho, Y.O. and J. Baer. 1968. Observing pollen tubes by means of fluorescence. Euphytica 17: 298-302.

Kitashiba, H. and J.B. Nasrallah. 2014. Self-incompatibility in Brassicaceae crops: lessons for interspecific incompatibility. Breeding Science 64(1): 23-37.

Kokubun, H., M. Nakano, T. Tsukamoto, H. Watanabe, G. Hashimoto, E. Marchesi, L. Bullrich, I.L. Basualdo, T. Kao and T. Ando. 2006. Distribution of self-compatible and self-incompatible populations of *Petunia axillaris* (Solanaceae) outside Uruguay. Journal of Plant Research 119: 419-430.

Nikornpun, M. 2001. Cauliflower. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 208 p. (in Thai)

Opena, R.T., C.G. Kuo and J.Y. Yoon. 1988. Breeding and Seed Production of Chinese Cabbage in the Tropics and Subtropics. Technical Bulletin No.17. Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC), Shanhua, Tainan. 92 p.

Purseglove, J.W. 1968. Tropical Crops: Dicotylendons 1. Longmans, Green & Co. Ltd., London. 332 p.

Siyal, A.L. 2019. Hybrid seed production its methods & benefits. (Online). Available: https://www.research gate.net/publication/334973949_Hybrid_Seed_Production_Its_Methods_benefits (June 20, 2021).

# ผลของอุณหภูมิและต้นแบบชีวภัณฑ์จากเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *Bacillus siamensis* RFCD306 ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลลำไยพันธุ์ดอ

# Effects of Temperature and Bio-product Prototype from Antagonistic Bacteria, *Bacillus siamensis* RFCD306, on Quality and Storage Life of Longan Fruit cv. Daw

**ปฐมพร ไชยะ[1] เจนจิรา บุญรักษา[1] เอมลิน พิพัฒนภักดี[2] ฉันทลักษณ์ ติยายน[1,3]**
**อรอุมา เรืองวงษ์[2,3] ดนัย บุณยเกียรติ[3] และ พิมพ์ใจ สีหะนาม[1,3,4*]**

Patomporn Chaiya[1], Jenjira Boonraksa[1], Aimalin Pipattanapuckdee[2], Chantalak Tiyayon[1,3], Onuma Ruangwong[2,3], Danai Boonyakiat[3] and Pimjai Seehanam[1,3,4*]

*[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]ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[2]Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
*[3]ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400*
*[3]Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok 10400, Thailand*
*[4] ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[4] Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
**Corresponding author: Email: pimjai193@gmail.com*

*(Received: 4 August 2021; Accepted: 12 December 2021)*

**Abstract:** The objective of this research was to examine the effects of temperature and bio-product (rice starch-2 formulation) from *Bacillus siamensis* isolate RFCD306 (rate 0.5 g/100 ml) on quality and storage life of longan fruit cv. Daw. The experimental design was a completely randomized design (CRD) with 6 treatments: T1) fruits were neither sprayed with water nor biocontrol product and stored at ambient temperature (29.75 ± 0.67 °C, 66.75 ± 0.82 %RH), T2) fruits were sprayed with water and stored at ambient temperature (29.75 ± 0.67 °C, 66.75 ± 0.82 %RH), T3) fruits were sprayed with biocontrol product and stored at ambient temperature (29.75 ± 0.67 °C, 66.75 ± 0.82 %RH), T4) fruits were neither sprayed with water nor biocontrol product and stored at 15 °C and 75 %RH (15.06 ± 0.09 °C, 73.38 ± 1.21 %RH), T5) fruits were sprayed with water and stored at 15 °C and 75 %RH (15.06 ± 0.09 °C, 73.38 ± 1.21 %RH), and T6) fruits were sprayed with bio-product and stored at 15 °C and 75 %RH (15.06 ± 0.09 °C, 73.38 ± 1.21 %RH) for 2 days. The results showed that longan sprayed with biocontrol product and stored at 15 °C and 75 % RH could reduce fresh weight and pulp dry weight loss. Moreover, the treatment could slow down the off-odor, discoloration of peel, and vitamin C contents. In addition, fruits sprayed with biocontrol product and stored at 15 °C

and 75 %RH had the highest overall acceptability resulting in the longest shelf life of 13.20 ± 0.49 days. However, biocontrol product and storage temperature had no effect on peel dry weight and total soluble solids of longan fruit.

**Keywords:** Quality, bio-product, storage life, longan fruit cv. Daw

**บทคัดย่อ**: การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและต้นแบบชีวภัณฑ์สูตรแป้งข้าวเจ้า -2 จากเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *Bacillus siamensis* ไอโซเลท RFCD306 (อัตราการใช้ 0.5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร) ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลลำไยพันธุ์ดอ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 6 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (29.75 ± 0.67 °C, 66.75 ± 0.82 % RH) กรรมวิธีที่ 2 พ่นน้ำ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (29.75 ± 0.67 °C, 66.75 ± 0.82 % RH) กรรมวิธีที่ 3 พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (29.75 ± 0.67 °C, 66.75 ± 0.82 % RH) กรรมวิธีที่ 4 ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % (15.06 ± 0.09 °C, 73.38 ± 1.21 % RH) กรรมวิธีที่ 5 พ่นน้ำ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % (15.06 ± 0.09 °C, 73.38 ± 1.21 % RH) และกรรมวิธีที่ 6 พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % (15.06 ± 0.09 °C, 73.38 ± 1.21 % RH) เป็นระยะเวลา 2 วัน ผลการทดลองพบว่า ผลลำไยที่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ ร่วมกับการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งเนื้อ ชะลอการการเกิดกลิ่นผิดปกติ การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก และปริมาณวิตามินซีได้ นอกจากนี้ยังได้รับการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 13.20 ± 0.49 วัน อย่างไรก็ตามการพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์และอุณหภูมิที่เก็บรักษาไม่ส่งผลต่อน้ำหนักแห้งเปลือก และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลลำไย

**คำสำคัญ**: คุณภาพ ชีวภัณฑ์ อายุการเก็บรักษา ผลลำไยพันธุ์ดอ

## คำนำ

ลำไย (*Dimocarpus longan*) จัดเป็นไม้ผลเขตกึ่งร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอย่างมากของประเทศไทย ในแต่ละปีประเทศไทยสามารถผลิตลำไยได้มากกว่า 1 ล้านตัน โดยผลผลิตประมาณ 0.5 ล้านตัน ถูกส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศและมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ประเทศไทยส่งออกลำไยทั้งรูปผลสดและผลิตภัณฑ์แปรรูป เช่น อบแห้ง บรรจุกระป๋อง หรือแช่แข็ง โดยในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีการส่งออกลำไยผลสดมูลค่า 20,810 ล้านบาท และลำไยอบแห้งมูลค่า 8,783 ล้านบาท (Information and Communication Technology Center, 2021) ซึ่งตลาดส่งออกลำไยสดและลำไยอบแห้งที่สำคัญของไทย คือ สาธารณรัฐประชาชนจีน ทั้งนี้ในปี พ.ศ. 2562 สาธารณรัฐประชาชนจีนมีการนำเข้าลำไยผลสดจากประเทศไทย 279,446 ตัน คิดเป็นมูลค่า 11,300 ล้านบาท และมีการนำเข้าลำไยอบแห้ง 114,127 ตัน คิดเป็นมูลค่า 4,600 ล้านบาท (Agriculture Section, Royal Thai Consulate-General Shanghai, 2021) กรณีลำไยผลสดมีปัญหาสำคัญภายหลังการเก็บเกี่ยว คือ เกิดการเสื่อมสภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวอย่างรวดเร็ว โดยมักแสดงอาการเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ผลเน่า และความเสียหายของเนื้อผล ซึ่งส่งผลต่ออายุการวางจำหน่ายและมูลค่าทางการตลาด (Duan *et al.*, 2007; Jiang *et al.*, 2002) กรณีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกลำไยภายหลังการเก็บเกี่ยวนั้นเกิดจากการเกิดกระบวนการออกซิเดชั่นของสารประกอบฟีนอลิกและการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิด

สีน้ำตาล (browning enzymes) เช่น เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ฟีนิลอะลานีนแอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonia lyase) และเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) (Cheng *et al*., 2009; Duan *et al*., 2007; Jiang, 1999) นอกจากนี้ลำไยเป็นผลิตผลที่มีปริมาณน้ำตาลและน้ำภายในเซลล์สูง จึงส่งเสริมให้เกิดการเจริญของยีสต์และเชื้อราก่อโรคภายหลังการเก็บเกี่ยวและส่งผลให้เกิดการเน่าเสียของผลอย่างรวดเร็ว (Whangchai *et al*., 2006) การเข้าทำลายของเชื้อก่อโรคหลังการเก็บเกี่ยว อาจเกิดก่อนการเก็บเกี่ยว ระหว่างการเก็บเกี่ยว หรือภายหลังการเก็บเกี่ยว กรณีการเข้าทำลายก่อนการเก็บเกี่ยว เชื้อสาเหตุจะรอจนกว่าสภาพแวดล้อมเหมาะสม เช่น ผลสุก แล้วจึงจะแสดงอาการของโรคภายหลังการเก็บเกี่ยว (Coates and Johnson, 1997) การยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยมีความสำคัญต่อเกษตรกรและพ่อค้าคนกลาง เนื่องจากช่วยยืดระยะเวลาการส่งออกสู่ท้องตลาด ลดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ และลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการได้ การยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยภายหลังการเก็บเกี่ยวสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งนี้การควบคุมการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกผลและการเน่าเสียของผลลำไยในทางการค้า มักใช้วิธีการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ($SO_2$) อย่างไรก็ตามหลายประเทศเริ่มหันมาให้ความสำคัญต่อความปลอดภัยและสุขภาพของผู้บริโภค เนื่องจากทำให้เกิดอาการแพ้ในผู้บริโภค จึงมีการจำกัดการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในลำไย (Whangchai *et al*., 2006) อย่างไรก็ตามยังมีการใช้วิธีต่าง ๆ ในการยืดอายุการวางจำหน่ายและลดความเสียหายของผลลำไย ตัวอย่าง เช่น การใช้สารป้องกันกำจัดเชื้อรา การเคลือบผิวด้วยแว็กซ์ การลดอุณหภูมิ และการใช้ชีวภัณฑ์หรือจุลินทรีย์ต้านฤทธิ์ เป็นต้น โดยปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้หลายวิธี เพื่อลดอันตรายจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่เพิ่มขึ้น วิธีการหนึ่งที่ได้ผลดี คือ การใช้ชีววิธี (biocontrol) โดยเฉพาะการใช้เชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์เพื่อควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อราหลังการเก็บเกี่ยว เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นำมาใช้ทดแทนการใช้สารเคมีในระหว่างการเก็บรักษาผลิตผล ซึ่งเชื้อแบคทีเรียที่มีการนำมาใช้ในการป้องกันกำจัดโรคพืชอย่างแพร่หลาย คือ แบคทีเรีย *Bacillus* เนื่องจากเป็นเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ที่มีความปลอดภัยและไม่มีผลกระทบต่อผู้ใช้ ผู้บริโภค และสภาพแวดล้อม (Horak *et al*., 2019) ซึ่งเชื้อ *Bacillus siamensis* ไอโซเลท RFCD306 ที่ได้จากการคัดแยกจากเปลือกผลลำไยที่ไม่เป็นโรค (Pipattanapuckdee *et al*., 2562) มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคลำไยผลเน่าได้ โดยการสังเคราะห์สารปฏิชีวนะหรือสร้างเอนไซม์เพื่อทำลายเชื้อโรคพืช (Thaveechai, 2007) ทั้งนี้ จากการทดสอบใช้ต้นแบบชีวภัณฑ์จากเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *Bacillus siamensis* RFCD306 เบื้องต้นในสภาพการทดสอบที่อุณหภูมิห้องต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลลำไยพันธุ์ดอ พบว่า ให้ผลดีขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งไม่แตกต่างกับผลลำไยที่ไม่ผ่านการพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ ดังนั้น การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงสนใจที่จะศึกษาผลของอุณหภูมิร่วมกับการใช้ต้นแบบชีวภัณฑ์ต่อการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยพันธุ์ดอ

## อุปกรณ์และวิธีการ

**การวางแผนการทดลอง**

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ประกอบด้วย 6 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (29.75 ± 0.67 °C, 66.75 ± 0.82 % RH)

กรรมวิธีที่ 2 พ่นน้ำ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (29.75 ± 0.67 °C, 66.75 ± 0.82 % RH)

กรรมวิธีที่ 3 พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (29.75 ± 0.67 °C, 66.75 ± 0.82 % RH)

กรรมวิธีที่ 4 ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % (15.06 ± 0.09 °C, 73.38 ± 1.21 % RH)

กรรมวิธีที่ 5 พ่นน้ำ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % (15.06 ± 0.09 °C, 73.38 ± 1.21 % RH)

กรรมวิธีที่ 6 พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % (15.06 ± 0.09 °C, 73.38 ± 1.21 % RH)

หลังการเก็บรักษาสุ่มตัวอย่างผลลำไยทุกกรรมวิธีเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี ทุก 2 วัน โดยวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบค่าทางสถิติด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

**ตัวอย่างลำไย**

ลำไยพันธุ์ดอที่เก็บเกี่ยวในระยะผลสุกแก่ทางการค้าจากแปลงเกษตรกรจังหวัดลำพูน คัดเลือกผลลำไยที่ไม่มีการเข้าทำลายของโรคและแมลง ไม่มีความเสียหายทางกล และมีคุณภาพผลใกล้เคียงกัน นำมาตัดแต่งก้านช่อผลให้มีความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร จากนั้นพ่นด้วยน้ำกลั่นหรือต้นแบบชีวภัณฑ์ชนิดผงที่ทำมาจากเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *Bacillus siamensis* ไอโซเลท RFCD306 (มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ $1.75 \times 10^{10}$ cfu/g) ผสมในสูตรแป้งข้าวเจ้า-2 โดยพ่นให้ทั่วผลลำไยพันธุ์ดอ จากนั้น ผึ่งผลลำไยให้แห้งที่สภาพอุณหภูมิห้อง แล้วบรรจุลงตะกร้าพลาสติกในลักษณะเปิด ก่อนนำไปเก็บรักษาตามกรรมวิธีต่าง ๆ

**การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี**

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด โดยชั่งน้ำหนักผลลำไยสดด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Zepper รุ่น ES-1200HA บริษัท Zepper Instrument สาธารณรัฐประชาชนจีน) บันทึกผลการทดลองทุก 2 วัน จนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา แล้วนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผลลำไย

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของเนื้อและเปลือก โดยนำเนื้อและเปลือกของผลลำไยอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven ยี่ห้อ Contherm รุ่น Thermotec 2000 Oven บริษัท Lab Focus ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 60 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้น นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของเนื้อและเปลือก

ค่าสีของเปลือกนอก เปลือกใน และเนื้อของผลลำไย โดยใช้เครื่องวัดสี (chroma meter ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR-400 บริษัท Konica Minolta ประเทศญี่ปุ่น) โดยการสุ่มวัดจำนวน 10 ผลต่อซ้ำ แสดงผลเป็นค่า L*, chroma (C*) และ hue angle (h°)

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลลำไย ได้แก่ การเกิดกลิ่นผิดปกติ การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก และการยอมรับโดยรวม มีเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้ การประเมินการเกิดกลิ่นผิดปกติ กำหนดให้ 5 คะแนน คือ กลิ่นปกติ 4 คะแนน คือ กลิ่นผิดปกติน้อย 3 คะแนน คือ กลิ่นผิดปกติปานกลาง 2 คะแนน คือ กลิ่นผิดปกติมาก 1 คะแนน คือ กลิ่นผิดปกติมากที่สุด การประเมินการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลลำไย กำหนดให้ 5 คะแนน คือ สีเปลือกปกติ 4 คะแนน คือ สีเปลือกเปลี่ยนแปลงน้อย 3 คะแนน คือ สีเปลือกเปลี่ยนแปลงปานกลาง 2 คะแนน คือ สีเปลือกเปลี่ยนแปลงมาก 1 คะแนน คือ สีเปลือกเปลี่ยนแปลงมากที่สุด การประเมินการยอมรับโดยรวม กำหนดให้ 5 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด 4 คะแนน คือ ชอบ 3 คะแนน คือ เฉย ๆ 2 คะแนน คือ ไม่ชอบ 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด

การวัดส่วนประกอบทางเคมี ดำเนินการโดยสุ่มผลลำไยแต่ละกรรมวิธี จำนวน 30 ผล แบ่งเป็น 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วยลำไย 10 ผล นำเนื้อลำไยแต่ละซ้ำปั่นรวมกันให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น (ยี่ห้อ Philips รุ่น HR2118 บริษัท Philip ประเทศอินโดนีเซีย จากนั้น จึงนำไปวัดส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ การวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ โดยใช้ pocket refractometer (ยี่ห้อ Atago รุ่น PAL-1 บริษัท Atago ประเทศญี่ปุ่น) รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ การวัดปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ โดยชั่งเนื้อผลลำไยที่ปั่นละเอียด 5 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้

ปริมาตร 100 มิลลิลิตร บันทึกค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เริ่มต้น จากนั้นไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนสารละลายมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 8.20 แล้วคำนวณปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้จากปริมาณโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไป รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก (AOAC, 2000) และวัดปริมาณวิตามินซีด้วยวิธี indophenol โดยชั่งเนื้อลำไยที่ปั่นละเอียด 10 กรัม ผสมกับสารละลายกรดออกซาลิกแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร กรองสารละลายดังกล่าว และดูดสารละลายที่กรองได้ 10 มิลลิลิตร นำมาไทเทรตกับสารละลาย 2,6-ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอล ความเข้มข้น 0.04 % จนถึงจุดยุติ คือสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู แล้วคำนวณหาปริมาณวิตามินซีโดยใช้ปริมาณ 2,6-ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอลที่ใช้ไป เทียบกับปริมาณ 2,6-ไดคลอ-โรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้กับกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.4 % รายงานผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (mg/100gFW) (Ranganna, 1986)

การตรวจสอบการเกิดผลเน่าของผลลำไย โดยนับจำนวนผลลำไยที่แสดงอาการผลเน่า นำมาคำนวณการเกิดโรค จากสูตร การเกิดโรค (%) = (จำนวนผลลำไยที่เกิดโรค(ในแต่ละกรรมวิธี) / จำนวนผลลำไยทั้งหมด(ในแต่ละกรรมวิธี)) x 100

อายุการเก็บรักษา กำหนดให้ผลลำไยหมดอายุการเก็บรักษา เมื่อได้รับคะแนนประเมินการยอมรับโดยรวมน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 คะแนน จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

ผลลำไยที่พ่นน้ำแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 วัน มีการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุด เท่ากับ 5.71 ± 0.61 % ขณะที่กรรมวิธีอื่น ๆ มีการสูญเสียน้ำหนักสดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) การสูญเสียน้ำหนักสดของผลิตผลเกิดจากการสูญเสียน้ำ ทั้งนี้ในเซลล์ของผักและผลไม้มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณ 80 - 95 % ดังนั้นการสูญเสียน้ำของผักและผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหาย ส่งผลให้สูญเสียน้ำหนักและลักษณะรูปร่างเปลี่ยนไป (Boonyakiat, 1997) นอกจากนี้ผลลำไยยังคงมีการหายใจและคายความร้อนตลอดเวลาร่วมกับการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูง ทำให้มีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลน้ำมากขึ้น โดยโมเลกุลน้ำจะแยกตัวออกจากกันทำให้เกิดการสูญเสียในรูปของไอน้ำมากขึ้นไปด้วย (Siriphanich, 2001)

### เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเปลือกและเนื้อผลลำไย

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของเปลือกผลลำไยทุกกรรมวิธีที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 2 วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 64.11 ± 1.49 ถึง 79.37 ± 0.46 % สำหรับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของเนื้อผลลำไยที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของเนื้อผลลำไยที่พ่นน้ำแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ-ห้อง คือเท่ากับ 23.88 ± 1.04 และ 26.37 ± 0.84 % ตามลำดับ แต่ทั้งสองกรรมวิธีข้างต้นไม่แตกต่างกับน้ำหนักแห้งของเนื้อผลลำไยในกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 1) โดยทั่วไปเนื้อเยื่อพืชมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 80 - 90 % ขึ้นกับชนิดและระยะการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพืชมีการสะสมน้ำหนักแห้งประมาณ 2 % โดย 90 % ของน้ำหนักแห้งเป็นอินทรีย์สาร โดยส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ (Boonyakiat, 1997)

### ค่าสีเปลือกนอก

จากผลการทดลอง ค่า L* ของเปลือกนอกผลลำไยพันธุ์ดอไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 2 วัน มีค่าเท่ากับ 47.98 ± 0.49, 46.75 ± 0.67 และ 48.05 ± 0.55 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับค่า L* ของเปลือกนอกของ

Table 1. Effects of bio-product and storage temperatures on weight loss, peel dry weight and pulp dry weight of longan fruit cv. Daw during storage for 2 days

| Treatments | Weight loss (%) | Peel dry weight (%) | Pulp dry weight (%) |
|---|---|---|---|
| Non-sprayed, ambient temperature | 4.12 ± 0.09 [b] | 73.96 ± 4.71 | 23.88 ± 1.04 [b] |
| Sprayed with water, ambient temperature | 5.71 ± 0.61 [b] | 64.11 ± 1.49 | 26.37 ± 084 [a] |
| Sprayed with bio-product, ambient temperature | 3.66 ± 0.30 [b] | 65.82 ± 1.08 | 25.44 ± 0.97 [ab] |
| Non-sprayed, 15 °C 75 % RH | 3.89 ± 0.18 [b] | 76.92 ± 0.51 | 25.88 ± 0.22 [ab] |
| Sprayed with water, 15 °C 75 % RH | 4.54 ± 0.01 [b] | 79.37 ± 0.46 | 26.03 ± 0.52 [ab] |
| Sprayed with bio-product, 15 °C 75 % RH | 4.04 ± 0.32 [b] | 71.03 ± 3.17 | 25.39 ± 0.28 [ab] |
| F - test | * | ns | * |

Note: Means followed by different uppercase letters within the same column are significantly different at $P < 0.05$ (ns = non-significant, * = significant)

ผลลำไยที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นระยะเวลา 2 วัน ที่มีค่าเท่ากับ 41.12 ± 0.61, 41.87 ± 0.49 และ 42.72 ± 0.51 ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าค่า chroma ของเปลือกนอกผลลำไยพันธุ์ดอที่พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ-ห้อง เป็นระยะเวลา 2 วัน มีค่าเท่ากับ 23.55 ± 0.56 และ 21.94 ± 0.64 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับค่า chroma ของเปลือกนอกผลลำไยกรรมวิธีอื่น ๆ สำหรับค่า hue angle ของเปลือกนอกผลลำไยพันธุ์ดอไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ และพ่นน้ำ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นระยะเวลา 2 วัน มีค่าใกล้เคียงกัน คือเท่ากับ 75.69 ± 1.05 และ 75.67 ± 0.46 °C ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวน้อยกว่าและแตกต่างทางสถิติกับค่า hue angle ของเปลือกนอกผลลำไยที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นระยะเวลา 2 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 80.61 ± 0.59, 79.23 ± 0.57, 80.08 ± 0.36 และ 78.93 ± 0.60 °C ตามลำดับ (Table 2) ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเปลือกของผลลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำมีสีน้ำตาลอมเหลืองอ่อนกว่าผลลำไยที่พ่นน้ำและพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

**ค่าสีเปลือกใน**

จากผลการทดลองพบว่า ค่า L* ของเปลือกในผลลำไยพันธุ์ดอมีค่าไม่แตกต่างกันทุกกรรมวิธี ทั้งนี้มีค่าอยู่ในช่วง 49.85 ± 0.65 ถึง 65.95 ± 0.86 ตามลำดับ สำหรับค่า chroma ของเปลือกในผลลำไยพันธุ์ดอที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 2 วัน มีค่าเท่ากับ 23.94 ± 0.38, 23.73 ± 0.45 และ 24.03 ± 0.33 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่า chroma ของเปลือกในผลลำไยที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นระยะเวลา 2 วัน ที่มีค่าเท่ากับ 17.91 ± 0.26, 17.46 ± 0.27 และ 16.44 ± 0.29 ตามลำดับ กรณีของผลลำไยพันธุ์ดอที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง มีค่า hue angle ของเปลือกในมากที่สุด คือเท่ากับ 91.76 ± 0.93 °C ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับค่า hue angle ของเปลือกในผลลำไยที่พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษา

Table 2. Effects of bio - product and storage temperatures on L*, chroma and hue angle of outer peel of longan fruit cv. Daw during storage for 2 days

| Treatments | L* | chroma | hue angle (°) |
|---|---|---|---|
| Non - sprayed, ambient temperature | 47.98 ± 0.49 [a] | 25.88 ± 0.46 [a] | 80.61 ± 0.59 [a] |
| Sprayed with water, ambient temperature | 46.75 ± 0.67 [a] | 23.55 ± 0.56 [b] | 79.23 ± 0.57 [a] |
| Sprayed with bio - product, ambient temperature | 48.05 ± 0.55 [a] | 21.94 ± 0.64 [c] | 80.08 ± 0.36 [a] |
| Non - sprayed, 15 °C 75 % RH | 41.12 ± 0.61 [a] | 26.63 ± 0.52 [a] | 75.69 ± 0.05 [b] |
| Sprayed with water, 15 °C 75 % RH | 41.87 ± 0.49 [a] | 26.11 ± 0.51 [a] | 75.67 ± 0.46 [b] |
| Sprayed with bio - product, 15 °C 75 % RH | 42.78 ± 0.51 [b] | 27.05 ± 0.44 [a] | 78.93 ± 0.60 [a] |
| F - test | * | * | * |

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

(* = significant)

ไว้ที่อุณหภูมิห้อง ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นระยะเวลา 2 วัน ที่มีค่าเท่ากับ 88.63 ± 1.06, 88.97 ± 0.96, 89.24 ± 0.87, 87.15 ± 0.47 และ 88.69 ± 0.54 °C ตามลำดับ (Table 3) เมื่อพิจารณาจากค่าต่าง ๆ แสดงว่าเปลือกในของผลลำไยมีสีเหลืองอ่อนหรือขาวอมเหลือง โดยเปลือกในของผลลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีสีเข้มกว่าผลลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการเสื่อมสภาพของผลลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

**ค่าสีเนื้อ**

ผลการทดลองพบว่า ค่า L* ของเนื้อผลลำไยพันธุ์ดอที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 วัน มีค่าเท่ากับ 39.03 ± 1.36, 37.81 ± 0.50 และ 38.46 ± 0.51 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่า L* ของเนื้อผลลำไยที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % ที่มีค่าเท่ากับ 33.78 ± 0.46, 33.16 ± 0.33 และ 33.75 ± 0.31 ตามลำดับ ค่า chroma ของเนื้อผลลำไยพันธุ์ดอที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง มีค่าสูงกว่าค่า chroma ของเนื้อผลลำไยที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % คือเท่ากับ 9.39 ± 0.76, 9.97 ± 0.29, 9.22 ± 0.46, 5.92 ± 0.31, 6.18 ± 0.23 และ 6.09 ± 0.17 ตามลำดับ สำหรับค่า hue angle ของเนื้อผลลำไยพันธุ์ดอที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นระยะเวลา 2 วัน มีค่าไม่แตกต่างกัน คือเท่ากับ 96.15 ± 1.60 และ 94.74 ± 1.51 °C ตามลำดับ แต่ค่า hue angle ของเนื้อผลลำไยพันธุ์ดอที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % มีค่ามากกว่าค่า hue angle ของเนื้อผลลำไยที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และพ่นน้ำเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % (Table 4) จากการพิจารณาค่า L*, chroma และ hue angle แสดงให้เห็นว่าเนื้อของผลลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีสีขาวอมเหลืองโดยมีสีเข้มกว่าเนื้อของลำไยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %

Table 3. Effects of bio-product and storage temperatures on L*, chroma and hue angle of inner peel of longan fruit cv. Daw during storage for 2 days

| Treatments | L* | chroma | hue angle (°) |
|---|---|---|---|
| Non-sprayed, ambient temperature | 65.95 ± 0.86 | 23.94 ± 0.38 [a] | 91.76 ± 0.93 [a] |
| Sprayed with water, ambient temperature | 61.58 ± 1.34 | 23.73 ± 0.45 [a] | 88.36 ± 1.06 [b] |
| Sprayed with bio-product, ambient temperature | 60.82 ± 2.39 | 24.03 ± 0.33 [a] | 88.97 ± 0.92 [b] |
| Non-sprayed, 15 °C 75 % RH | 50.18 ± 1.67 | 17.91 ± 0.26 [b] | 89.24 ± 0.87 [b] |
| Sprayed with water, 15 °C 75 % RH | 49.85 ± 0.65 | 17.46 ± 0.27 [b] | 87.15 ± 0.47 [b] |
| Sprayed with bio-product, 15 °C 75 % RH | 64.57 ± 1.47 | 16.44 ± 0.29 [c] | 88.69 ± 0.54 [b] |
| F - test | ns | * | * |

Note: Means followed by different uppercase letters within the same column are significantly different at $P < 0.05$
(ns = non-significant, * = significant)

Table 4. Effects of bio-product and storage temperatures on L*, chroma and hue angle of longan pulp cv. Daw during storage for 2 days

| Treatments | L* | chroma | hue angle (°) |
|---|---|---|---|
| Non-sprayed, ambient temperature | 39.03 ± 1.36 [a] | 9.39 ± 0.76 [a] | 86.15 ± 1.77 [cd] |
| Sprayed with water, ambient temperature | 37.81 ± 0.50 [a] | 997 ± 0.29 [a] | 81.06 ± 2.15 [d] |
| Sprayed with bio-product, ambient temperature | 38.46 ± 0.51 [a] | 9.22 ± 0.46 [a] | 85.29 ± 1.77 [c] |
| Non-sprayed, 15 °C 75 % RH | 33.78 ± 0.46 [b] | 5.92 ± 0.31 [b] | 96.15 ± 1.60 [a] |
| Sprayed with water, 15 °C 75 % RH | 33.16 ± 0.33 [b] | 6.18 ± 0.23 [b] | 90.22 ± 1.56 [b] |
| Sprayed with bio-product, 15 °C 75 % RH | 33.75 ± 0.31 [b] | 6.09 ± 0.17 [b] | 94.74 ± 1.51 [ab] |
| F - test | * | * | * |

Note: Means followed by different uppercase letters within the same column are significantly different at $P < 0.05$
(* = significant)

**การประเมินคุณภาพด้านการบริโภค**

คะแนนประเมินการเกิดกลิ่นผิดปกติของผลลำไยพันธุ์ดอที่ผ่านการพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % มีค่าเท่ากับ 5.00 ± 0.00 คะแนน ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงว่าผลลำไยยังไม่เกิดกลิ่นผิดปกติ และค่าดังกล่าวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคะแนนประเมินการเกิดกลิ่นผิดปกติของผลลำไยพันธุ์ดอที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 2 วัน ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 2.00 ± 0.45 ถึง 2.40 ± 0.40 คะแนน ทั้งนี้ค่าดังกล่าวแสดงว่าผลลำไยเกิดกลิ่นผิดปกติระดับมาก (Table 5)

คะแนนประเมินการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลลำไยพันธุ์ดอไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 วัน มีค่าเท่ากับ 2.40 ± 0.25, 2.60 ± 0.25 และ 2.60 ± 0.25 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากผลลำไยที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นระยะเวลา 2 วัน ที่มีคะแนนประเมินการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกเท่ากับ 4.60 ± 0.25, 4.60 ± 0.25 และ 4.80 ± 0.20 คะแนน ตามลำดับ (Table 5) จากระดับคะแนนดังกล่าวหมายความว่าผลลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำมีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกเล็กน้อย ขณะที่สีเปลือกของผลลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีการเปลี่ยนแปลงมาก

คะแนนประเมินการยอมรับโดยรวมของผลลำไยพันธุ์ดอ ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง มีค่าน้อยกว่าผลลำไยที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นระยะเวลา 2 วัน มีค่าเท่ากับ 2.40 ± 0.25, 2.60 ± 0.25, 2.60 ± 0.25, 4.60 ± 0.25, 4.80 ± 0.20 และ 5.00 ± 0.00 คะแนน ตามลำดับ (Table 5) ค่าคะแนนดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าผู้ประเมินไม่ชอบผลลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง แต่ยังรู้สึกชอบถึงชอบมากที่สุดต่อลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 %

ผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาจากต้นแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพ ชีวเคมี และการเข้าทำลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ลดลงของสี กลิ่น รสชาติ ความสด และการยอมรับโดยผู้บริโภค หากสามารถป้องกันหรือชะลอการสูญเสียทั้งในส่วนของการเหี่ยว การทำงานของเอนไซม์ และกระบวนการชีวเคมี รวมทั้งการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ได้ 2 - 3 สัปดาห์ ช่วยให้เพิ่มปริมาณผลผลิตสด ใหม่ คุณค่าทางโภชนาการสูง และมีคุณภาพดีออกสู่ตลาด ซึ่งเป็นที่ต้องการของ

Table 5. Effects of bio-product and storage temperatures on off-odor, discoloration of peel and overall acceptability of longan fruit cv. Daw during storage for 2 days

| Treatments | Off-odor (scores) | Discoloration of peel (scores) | Overall acceptability (scores) |
|---|---|---|---|
| Non-sprayed, ambient temperature | 2.00 ± 0.45 [b] | 2.40 ± 0.25 [b] | 2.40 ± 0.25 [a] |
| Sprayed with water, ambient temperature | 2.40 ± 0.40 [b] | 2.60 ± 0.25 [b] | 2.60 ± 0.25 [a] |
| Sprayed with bio-product, ambient temperature | 2.20 ± 0.49 [b] | 2.60 ± 0.25 [b] | 2.60 ± 0.25 [a] |
| Non-sprayed, 15 °C 75 % RH | 4.60 ± 0.25 [a] | 4.60 ± 0.25 [a] | 4.60 ± 0.25 [b] |
| Sprayed with water, 15 °C 75 % RH | 4.80 ± 0.20 [a] | 4.60 ± 0.25 [a] | 4.80 ± 0.20 [b] |
| Sprayed with bio-product, 15 °C 75 % RH | 5.00 ± 0.00 [a] | 4.80 ± 0.20 [a] | 5.00 ± 0.00 [b] |
| F-test | * | * | * |

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

(* = significant)

The evaluation criteria of off-odor and discoloration of peel scores are defined as:

1 = changed for 81 - 100 % 2 = changed for 61 -80 % 3 = changed for 41 - 60 % 4 = changed for 21 - 40 % 5 = changed for 0 - 20 %

The evaluation criteria of overall acceptability scores are defined as:

1 = unusable 2 = poor 3 = fair 4 = good 5 = excellent

ผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ (Cherry *et al*., 1992) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการพ่นผลลำไยด้วยต้นแบบชีวภัณฑ์ก่อนนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ คือ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % มีแนวโน้มสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านการบริโภคของผลลำไยได้ดีที่สุด ทั้งการเกิดกลิ่นผิดปกติ การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก และการยอมรับโดยรวม ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากการพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ร่วมกับการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเกิดโรคและการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยวของผลลำไย ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านการบริโภคเกิดช้ากว่ากรรมวิธีอื่น ๆ จึงได้รับการยอมรับโดยรวมมากที่สุด

**การตรวจสอบการเกิดโรคผลเน่า**

ในกรรมวิธีที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 วัน พบการเกิดโรคผลเน่าอยู่ที่ 54.4, 68.8 และ 55.5 % ตามลำดับ และในวันที่ 4 พบการเกิดโรคผลเน่า 100 % (Table 6) ในขณะที่ผลลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % ในทุกกรรมวิธีเริ่มพบการเกิดโรคผลเน่าในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา โดยพบการเกิดโรคเฉลี่ย 2.2 % และในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาพบผลลำไยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เกิดโรคผลเน่าในทุกกรรมวิธี โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 24 - 30 % ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้พบเชื้อราที่เข้าทำลายผลลำไย คือ *Lasiodiplodia* sp. และ *Phomopsis* sp. (Figure 1, 2) จากผลการทดลองใช้ต้นแบบชีวภัณฑ์รูปแบบผงที่ได้จากเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *B. siamensis* ไอโซเลท RFCD306 ที่ผสมในสูตรแป้งข้าวเจ้า-2 มีแนวโน้มจะสามารถควบคุมการเกิดโรคเน่าของผลลำไยได้ แต่ยังมีประสิทธิภาพที่ไม่เด่นชัดมากนัก อาจต้องมีการพัฒนาสูตรให้เหมาะสมสำหรับนำไปทำเป็นชีวภัณฑ์สำหรับเชื้อ *B. siamensis* เพื่อใช้ในการควบคุมการเกิดโรคผลเน่าของลำไยต่อไป

Table 6. Disease incidence of longan fruit rot caused by fungi after spray with bio-product (rice starch-2 formulation) from *Bacillus siamensis* isolate RFCD306

| Treatments | Disease incidence (%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Non-sprayed, ambient temperature | 54.4 [b] | 100 [a] | - | - | - | - | - |
| Sprayed with water, ambient temperature | 68.8 [a] | 100 [a] | - | - | - | - | - |
| Sprayed with bio-product, ambient temperature | 55.5 [b] | 100 [a] | - | - | - | - | - |
| Non-sprayed, 15 °C 75 % RH | 0.0 [c] | 0.0 [b] | 0.0 | 2.2 | 11.1 | 20.0 | 28.9 |
| Sprayed with water, 15 °C 75 % RH | 0.0 [c] | 0.0 [b] | 0.0 | 2.2 | 8.9 | 17.8 | 24.4 |
| Sprayed with bio-product, 15 °C 75 % RH | 0.0 [c] | 0.0 [b] | 0.0 | 2.2 | 12.2 | 21.1 | 30.0 |
| F - test | * | * | ns | ns | ns | ns | ns |

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

(ns = non-significant, * = significant)

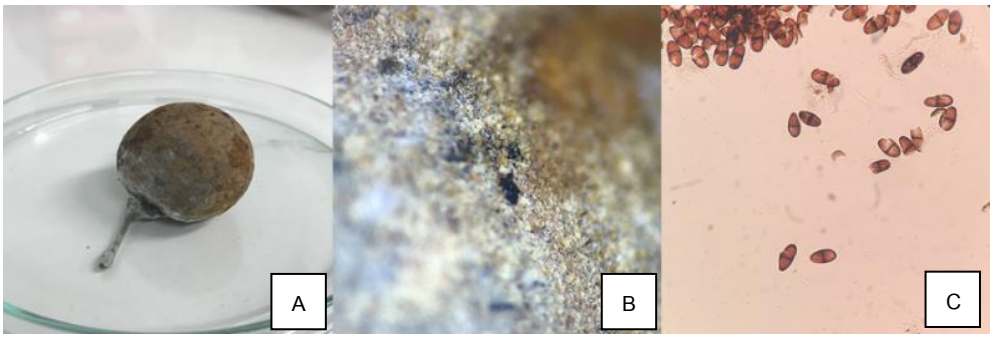


Figure 1. Fruit rot of longan caused by *Lasiodiplodia* sp. in the efficacy test of rice starch-2 bio-product. stored at 15 °C and 75 % relative humidity

(A) Longan fruit rot by *Lasiodiplodia* sp. (B) Symptom on longan peel (C) Conidia of *Lasiodiplodia* sp.

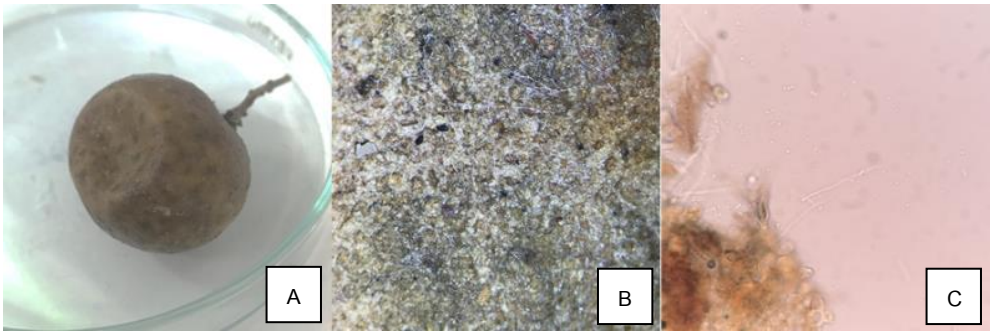


Figure 2. Fruit rot of longan caused by *Phomopsis* sp. in the efficacy test of rice starch-2 bio-product. stored at 15 °C and 75 % relative humidity

(A) Longan fruit rot by *Phomopsis* sp. (B) Symptom on longan peel (C) Conidia of *Phomopsis* sp.

**ส่วนประกอบทางเคมี**

ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลลำไยพันธุ์ดอที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์และพ่นน้ำ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 2 วัน มีค่าเท่ากับ 0.009 ± 0.000 และ 0.007 ± 0.001 % ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มากกว่าผลลำไยในกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 7)

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของลำไยพันธุ์ดอที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง มีค่าไม่แตกต่างจากปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของผลลำไยที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีค่าอยู่ในช่วง 14.50 ± 0.90 ถึง 18.23 ± 0.72 % (Table 7)

ปริมาณวิตามินซีของผลลำไยที่พ่นน้ำเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นระยะเวลา 2 วัน มีค่าเท่ากับ 146.81 ± 19.50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณวิตามินซีของผลลำไยที่ไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 2 วัน ที่มีค่าเท่ากับ 102.12 ± 6.38 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด แต่ไม่แตกต่างกับปริมาณวิตามินซีของผลลำไยกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 7)

Table 7. Effects of bio-product and storage temperatures on titratable acidity, total soluble solids, vitamin C contents and storage life of longan fruit cv. Daw during storage for 2 days

| Treatments | Titratable acidity (%) | Total soluble solids (%) | Vitamin C contents (mg / 100 g FW) |
|---|---|---|---|
| Non-sprayed, ambient temperature | 0.009 ± 0.000 [a] | 18.23 ± 0.72 | 114.89 ± 12.76 [ab] |
| Sprayed with water, ambient temperature | 0.007 ± 0.001 [a] | 16.86 ± 0.38 | 129.78 ± 12.94 [ab] |
| Sprayed with bio-product, ambient temperatur | 0.005 ± 0.001 [b] | 16.86 ± 0.08 | 102.12 ± 6.39 [ab] |
| Non-sprayed, 15 °C 75 % RH | 0.003 ± 0.000 [b] | 16.76 ± 0.26 | 138.29 ± 11.84 [ab] |
| Sprayed with water, 15 °C 75 % RH | 0.003 ± 0.000 [b] | 15.96 ± 0.23 | 146.81 ± 19.50 [ab] |
| Sprayed with bio-product, 15 °C 75 % RH | 0.003 ± 0.000 [b] | 14.50 ± 0.90 | 136.17 ± 4.25 [ab] |
| F - test | * | ns | * |

Note: Means followed by different uppercase letters within the same column are significantly different at $P < 0.05$
(ns = non-significant, * = significant)

**อายุการเก็บรักษา**

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลลำไยพันธุ์ดอที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ พ่นน้ำ และพ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีอายุการเก็บรักษาเท่ากัน คือ 2.40 ± 0.25 วัน ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนการประเมินการยอมรับโดยรวมที่มีค่าต่ำกว่า 3 คะแนน สำหรับผลลำไยในกรรมวิธีอื่น ๆ เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลให้คะแนนประเมินการยอมรับโดยรวมมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง กรณีของผลลำไยที่ไม่พ่นน้ำและไม่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ และพ่นน้ำ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % มีคะแนนการประเมินโดยรวมเท่ากับ 2.6 และ 2.8 คะแนน ตามลำดับ เมื่อมีอายุการเก็บรักษา คือ 11.60 ± 0.40 วัน ส่งผลให้ผลลำไยทั้ง 2 กรรมวิธี สิ้นสุดอายุการเก็บรักษา ขณะที่ผลลำไยที่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % สิ้นสุดอายุการเก็บรักษาเมื่อระดับคะแนนการประเมินโดยรวมมีค่าเท่ากับ 2.8 คะแนน ซึ่งมีอายุการเก็บรักษานานที่สุดเท่ากับ 13.20 ± 0.49 วัน (Table 8)

การเสื่อมสภาพของผลิตผลสดที่นำไปสู่การสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาหรืออายุการวางจำหน่ายสามารถแบ่งออกเป็น 2 สาเหตุหลัก คือ การเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากกระบวนการเมแทบอลิซึม ได้แก่ การสูญเสียน้ำ การอ่อนนิ่ม การสุก และการเข้าสู่ระยะการเสื่อมสภาพของผลิตผล สาเหตุอีกประการหนึ่ง คือ การเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากการเน่าเสียจากการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ เชื้อรา แบคทีเรีย และยีสต์ก่อโรค โดยทั้งสองสาเหตุขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและทั้งสองสาเหตุมีอิทธิพลต่อกันด้วย การเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม คือ สภาพอุณหภูมิต่ำจะช่วยลดการเกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมของผลิตผลและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ โดยจะต้องมีการควบคุมระดับอุณหภูมิ ความชื้น ส่วนประกอบของอากาศในสภาพการเก็บรักษาที่เหมาะสม ในกรณีการควบคุมการเน่าเสียของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวมีการศึกษาและใช้วิธีการต่าง ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น การใช้โอโซน การใช้น้ำโอโซน การใช้บรรจุภัณฑ์ การเก็บรักษาในสภาพควบคุมบรรยากาศ หรือการใช้สารจากธรรมชาติ ได้แก่ ไคโตซาน น้ำมันหอมระเหย สารเคลือบผิวจากธรรมชาติที่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อรา กรดอินทรีย์ รวมทั้งต้นแบบชีวภัณฑ์ (Ziv and Fallik, 2021) มีรายงานการทดสอบ

Table 8. Effects of bio-product and storage temperatures on storage life of longan fruit cv. Daw

| Treatments | Storage life (days) |
|---|---|
| Non-sprayed, ambient temperature | 2.40 ± 0.25 [c] |
| Sprayed with water, ambient temperature | 2.40 ± 0.25 [c] |
| Sprayed with bio-product, ambient temperature | 2.40 ± 0.25 [c] |
| Non-sprayed, 15 °C 75 % RH | 11.60 ± 0.40 [b] |
| Sprayed with water, 15 °C 75 % RH | 11.60 ± 0.40 [b] |
| Sprayed with bio-product, 15 °C 75 % RH | 13.20 ± 0.49 [a] |
| F-test | * |

Note: Means followed by different uppercase letters within the same column are significantly different at $P < 0.05$
(* = significant)

*Bacillus subtilis* และ *Agrobacterium radiobacter* เพื่อลดการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยวของผลเลมอน อันเนื่องมาจากเชื้อรา *Penicillium digitatum* ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคราเขียว (green mould) ในพืชวงศ์ส้ม ผลการศึกษาสรุปว่า *B. subtilis* และ *A. radiobacter* สามารถนำมาผลิตเป็นต้นแบบชีวภัณฑ์ชนิดใหม่ในการควบคุมโรคราเขียวหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาพืชในวงศ์ส้มได้

## สรุป

ผลลำไยที่พ่นต้นแบบชีวภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *Bacillus siamensis* ไอโซเลท RFCD306 สูตรผสมในแป้งข้าวเจ้า-2 ร่วมกับการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งเนื้อ ชะลอการการเกิดกลิ่นผิดปกติ การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก และปริมาณวิตามินซีได้ นอกจากนี้ยังได้รับการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด และยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยนานที่สุด คือ 13.20 ± 0.49 วัน

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และสาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

Agriculture Section, Royal Thai Consulate-General Shanghai. 2021. The situation of importation fresh longan (HS08109030) and dried longan (HS08134010) from Thailand of China. Office of the Permanent Secretary for Ministry of Agriculture and Cooperatives. 9 p. (in Thai)

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

Boonyakiat, D. 1997. Postharvest Physiology of Horticultural Crops. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 226 p. (in Thai)

Cheng, G., Y. Jiang, X. Duan, A. Macnish, Y. You and Y. Li. 2009. Effect of oxygen concentration on the biochemical and chemical changes of stored longan fruit. Journal of Food Quality 32(1): 2-17.

Cherry, J.P., G.M. Sapers, M.F. Kozempel, C.H. Liao, J.M. Wells, K.B. Hicks, C.L. Wilson, K.C. Gross and A.E. Pavlath. 1992. For consumer value: New technologies extend shelf life of fresh fruits and vegetables. pp. 239-245. *In*: 1992 Yearbook of Agriculture. USDA, Washington, D.C.

Coates, L. and G. Johnson. 1997. Postharvest diseases of fruit and vegetables. pp. 533-547. *In*: J.F. Brown and H.J. Ogle (eds.). Plant Pathogens and Plant Diseases. Rockvale Publications, Armidale, NSW.

Duan, X., X. Su, Y. You, H. Qu, Y. Li. and Y. Jiang. 2007. Effect of nitric oxide on pericarp browning of harvested longan fruit in relation to phenolic metabolism. Food Chemistry 104(2): 571-576.

Horak, I., G. Engelbrecht, P.J.J. van Rensburg and S. Claassens. 2019. Microbial metabolomics: Essential definitions and the importance of cultivation conditions for utilizing *Bacillus* species as bionematicides. Journal of Applied Microbiology 127(2): 326-343.

Information and Communication Technology Center. 2021. The main export products of Thailand according to the structure of export products: world. (Online). Available: http://tradereport.moc.go.th/Report/Default.aspx?Report=MenucomRecode&ImExType=1&Lang=Th (June 27, 2021). (in Thai)

Jiang, Y. 1999. Purification and some properties of polyphenol oxidase of longan fruit. Food Chemistry 66(1): 75-79.

Jiang, Y., Z. Zhang, D.C. Joyce and S. Ketsa. 2002. Postharvest biology and handling of longan fruit (*Dimocarpus longan* Lour.). Postharvest Biology and Technology 26(3): 241-252.

Pipattanapuckdee, A., D. Boonyakait, C. Tiyayon, P. Seehanam and O. Ruangwong. 2019. Detection of fruit rot disease pathogens on longan and selection of antagonistic bacteria to control the disease. Agricultural Science Journal 50(Suppl. 3): 139-142.

Ranganna, S. 1986. Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products. 2nd ed. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi. 1111 p.

Siriphanich, J. 2001. Postharvest Physiology and Technology of Fruits and Vegetables. 4th ed. Kasetsart University Press, Bangkok. 396 p. (in Thai)

Thaveechai, N. 2007. Plant Disease Control with Natural Method. Kasetsart University, Bangkok. 37 p. (in Thai)

Whangchai, K., K. Saengnil and J. Uthaibutra. 2006. Effect of ozone in combination with some organic acids on the control of postharvest decay and pericarp browning of longan fruit. Crop Protection 25(8): 821-825.

Ziv, C. and E. Fallik. 2021. Postharvest storage techniques and quality evaluation of fruits and vegetables for reducing food loss. Agronomy 11: 1133, doi: 10.3390/agronomy11061133.

# การศึกษาการเติบโตทางลำต้น อัตราพันธุกรรม และสหสัมพันธ์ ในระยะกล้าของปาล์มน้ำมันลูกผสมพันธุ์ทรัพย์ ม.อ.1

# Study on Vegetative Growth, Heritability, and Correlation in Seedling Stage of Oil Palm Hybrid Variety SUB PSU 1

**ธนนต์ รุ่งนิลรัตน์ และ จักรัตน์ อโณทัย** *

Tanon Rungninrut and Jakarat Anothai *

*สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ (พืชศาสตร์) คณะทรัพยากรธรรมชาติ*
*มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ. สงขลา 90110*
*Agricultural Innovation and Management Division (Plant Science), Faculty of Natural Resources,*
*Prince of Songkla University, Songkhla 90110, Thailand*
**Corresponding author: Email: jakarat.a@psu.ac.th*

*(Received: 1 June 2021; Accepted: 18 October2021)*

**Abstract:** The objective of this experiment was to study on vegetative growth, heritability, and correlation in seedling stage of oil palm hybrid variety SUB PSU 1, a total of 27 crosses derived from the crossing between one male pisifera and different female dura parents namely No. 31, 52, 59, 69, 81, 96, 106, 118, 129, 136, 142, 155, 171, 177, 184, 201, 203, 207, 222, 227, 229, 230, 232, 237, 239, 240 and 202/6. The experiment was carried out at the Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University during May 2018 - January 2019. The experimental design was CRD with collection of vegetative characteristics at 12 months after planting, five plants per cross. It was found that all characteristics were significantly different and they had a narrow sense heritability ($h^2$) at the low-level between 0.73 - 2.36 %, as well as positive correlations on vegetative growth characteristics. In addition, it was found that 8 crosses showed good growth characteristics including; 59, 136, 142, 184, 227, 239, 240 and 202/6. This data can be used to select maternal dura oil palm plants for quality oil palm seedling production.

**Keywords:** Oil palm seedling, vegetative characters, heritability, correlation

**บทคัดย่อ**: การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการเติบโตทางลำต้น อัตราพันธุกรรมและสหสัมพันธ์ของกล้าปาล์มน้ำมันพันธุ์ลูกผสมทรัพย์ ม.อ.1 ที่ได้จากการผสมระหว่างต้นพ่อพิสิเฟอราต้นเดียว และต้นแม่ดูราที่แตกต่างกัน จำนวน 27 คู่ผสม ได้แก่ 31, 52, 59, 69, 81, 96, 106, 118, 129, 136, 142, 155, 171, 177, 184, 201, 203, 207, 222, 227, 229, 230, 232, 237, 239, 240 และ 202/6 ทดลองที่คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 - มกราคม พ.ศ. 2562 วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) บันทึกลักษณะทางลำต้นเมื่อปาล์มมีอายุ 12 เดือน โดยทำการสุ่มต้นกล้าจำนวน 5 ต้น/คู่ผสม เพื่อวัดการเติบโต พบว่า ทุกลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ลักษณะเหล่านี้มีค่าอัตราพันธุกรรมอย่างแคบอยู่ในระดับต่ำ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.73 - 2.36 % และมีสหสัมพันธ์ในทางบวกของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นทุกลักษณะ โดยพบว่ามีทั้งหมด 8 คู่ผสมที่ให้ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้าที่ดี ได้แก่ คู่ผสม 59,136,142, 184, 227, 239, 240 และ 202/6 ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้จะสามารถเลือกใช้ต้นแม่พันธุ์ดูราเพื่อการผลิตต้นกล้าที่มีคุณภาพต่อไป

**คำสำคัญ**: ปาล์มน้ำมัน ลักษณะทางลำต้น อัตราพันธุกรรม สหสัมพันธ์

## คำนำ

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) เป็นพืชน้ำมันที่มีพันธุกรรมในรูปเฮเทอโรไซกัส เนื่องจากเป็นพืชผสมข้าม ปัจจุบันพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่นิยมใช้ปลูกเป็นการค้าเป็นปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา ซึ่งได้จากการผสมระหว่างแม่พันธุ์ดูรากับพ่อพันธุ์-พิสิเฟอรา เนื่องจากปาล์มน้ำมันชนิดนี้ให้ผลผลิตน้ำมันสูงกว่าปาล์มน้ำมันชนิดอื่น ๆ (Eksomtramage and Eksomtramage, 2010) การปรับปรุงพันธุ์โดยการคัดเลือกลักษณะทางการเกษตรที่ดีเพื่อการผลิตลูกผสมเทเนอราให้มีศักยภาพสูงจึงมีความสำคัญ เนื่องจากลักษณะทางการเกษตรที่สำคัญของปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่เป็นลักษณะเชิงปริมาณ (Corley and Tinker, 2003) เช่น ผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลายและองค์ประกอบผลผลิต และลักษณะการเจริญทางลำต้นซึ่งมียีนควบคุมหลายคู่ จึงมีอิทธิพลของสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องสูง ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์เพื่อพัฒนาประชากรปาล์มน้ำมันในลักษณะดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการประเมินอัตราพันธุกรรมของลักษณะต่าง ๆ จากเชื้อพันธุกรรมที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม รวมทั้งการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก การศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการเติบโตทางลำต้น อัตราพันธุกรรมและสหสัมพันธ์ของกล้าปาล์มน้ำมันพันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1 ที่ได้จากต้นแม่ดูราที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะทำให้ทราบว่าแม่พันธุ์ต้นใดให้ต้นกล้าที่มีลักษณะที่ดี

## อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการศึกษาโดยใช้ต้นกล้าปาล์มน้ำมันพันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1 จำนวน 27 คู่ผสม ได้แก่ 31, 52, 59, 69, 81, 96, 106, 118, 129, 136, 142, 155, 171, 177, 184, 201, 203, 207, 222, 227, 229, 230, 232, 237, 239, 240 และ 202/6 ที่อายุ 3 เดือน แต่ละคู่ผสมใช้ต้นพ่อพิสิเฟอราต้นเดียวผสมกับต้นแม่ดูราที่แตกต่างกัน ย้ายปลูกต้นกล้าที่มีลักษณะปกติคู่ผสมละ 20 ต้น ในถุงขนาด 7 x 14 นิ้ว ใช้วัสดุปลูก ดิน : แกลบ อัตราส่วน 2 : 1 วางระยะห่าง 50 x 50 x 50 เซนติเมตร (แบบสามเหลี่ยมด้านเท่า) ในแปลงสาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ (พืชศาสตร์) คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ รดน้ำวันละ 2 ครั้ง เช้าเย็น การใส่ปุ๋ยใช้สูตร 15-15-6-4 สลับกับ 12-12-17-2 ใส่ทุก 2 สัปดาห์ ใช้แผนการผสมแบบ one-factor design (Bernardo, 2002) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด

(completely randomized design) สำหรับการบันทึกข้อมูลลักษณะทางลำต้น เก็บข้อมูลเมื่อต้นกล้าอายุ 12 เดือน สุ่มต้นกล้าจำนวน 5 ต้น/คู่ผสม 1 ต้นคือ 1 ซ้ำ เพื่อวัดการเจริญเติบโตแบบไม่ทำลายต้น ได้แก่ เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร) วัดสูงจากบริเวณผิวดินรอบโคนต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 0.5 เซนติเมตร ความยาวทางใบ (เซนติเมตร) วัดจากหนามข้อแรกถึงปลายใบ ความสูงต้น (เซนติเมตร) วัดจากผิวดินถึงหนามข้อแรก จำนวนใบโดยนับใบที่โผล่และแผ่กางออกทุกใบ ความยาวใบย่อย (เซนติเมตร) ความกว้างใบย่อย (เซนติเมตร) และข้อมูลที่เก็บแบบทำลายต้น ได้แก่ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น และราก และวัดพื้นที่ใบโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ รุ่น CID CI-202 เก็บข้อมูลแบบทำลายต้น สิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ (ต้น) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของแต่ละลักษณะโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ผสมโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) การวิเคราะห์ความแปรปรวนและค่าคาดหมายความแปรปรวน (Soonsuwon, 2006) (Table 1) คำนวณความแปรปรวนทางพันธุกรรม (Bernardo, 2002) และประเมินอัตราพันธุกรรม (Srinives, 1982) ดังนี้

โดยที่ d.f. = degrees of freedom, MS = mean square, EMS = expected mean square

n = จำนวนลูกผสมเทเนอราที่ได้จากต้นพ่อพิสิเฟอราต้นเดียวผสมกับต้นแม่ดูราที่แตกต่างกัน

r = จำนวนซ้ำ (จำนวนต้นปาล์มหรือตัวอย่างที่เก็บข้อมูล)

$\sigma^2_g$ = ความแปรปรวนของลูกผสมเทเนอราที่ได้จากต้นพ่อพิสิเฟอราเดียวกันผสมกับต้นแม่ดูราต่างกัน = $(MS_1 - MS_2)/r$

$\sigma^2_e$ = ความแปรปรวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อม

ภายใต้สมมุติฐานที่ต้นปาล์มที่ใช้ในการทดลองมีค่าสัมประสิทธิ์เลือดชิดเท่ากับ 0 (F = 0) และ ไม่มีอิทธิพลของ epistasis เกิดขึ้น (Bernardo, 2002)

ดังนั้น $\sigma^2_g = \sigma^2_{half\text{-}sibs} = Cov_{half\text{-}sibs} = {}^1/_4\, \sigma^2_A$

โดยที่ $\sigma^2_A$ = ความแปรปรวนที่เกิดจากการแสดงออกของยีนแบบบวก (additive)

การประมาณค่าอัตราพันธุกรรมอย่างแคบ (narrow sense heritability, $h^2_{ns}$ ) ของลักษณะต่าง ๆ ที่ศึกษา ทำได้ดังนี้

จาก $h^2_{ns} = \sigma^2_A / \sigma^2_{ph}$

ดังนั้น $h^2_{ns} = 4\, \sigma^2_g / \sigma^2_{ph}$

โดยที่ $\sigma^2_{ph}$ = ความแปรปรวนทั้งหมด = $\sigma^2_g + \sigma^2_e$

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่ศึกษา สามารถคำนวณได้จากสมการของ Steel and Torrie (1980) ดังนี้

$$r = \frac{\sum\left(X_i - \overline{X}\right)\left(Y_i - \overline{Y}\right)}{\sqrt{\sum\left(X_i - \overline{X}\right)^2 \sum\left(Y_i - \overline{Y}\right)^2}}$$

โดยที่ r = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ X และ Y,

$X_i$ = ตัวแปรของลักษณะ X ของตัวอย่างที่ i (i= 1, 2, 3…n)

$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยของลักษณะ X

$Y_i$ = ตัวแปรของลักษณะ Y ของตัวอย่างที่ i (i= 1, 2, 3…n)

$\overline{Y}$ = ค่าเฉลี่ยของลักษณะ Y

Table 1. Analysis of variance for agronomic characters

| Source | d.f. | MS | EMS |
|---|---|---|---|
| Half-sib progenies | n-1 | $MS_1$ | $\sigma^2_e + r\sigma^2_g$ |
| Error | r(n-1) | $MS_2$ | $\sigma^2_e$ |

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

### ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกล้าปาล์มน้ำมันลูกผสมพันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1

ความสูงลำต้นของกล้าปาล์มน้ำมันลูกผสมพันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1 จำนวน 27 คู่ผสม พบว่า คู่ผสมเบอร์ 202/6 มีความสูงลำต้นสูงที่สุด 32.1 เซนติเมตร ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 59, 81, 96, 136, 142, 155, 171, 184, 203, 207, 222, 227, 232, 237, 239 และ 240 แต่สูงกว่าคู่ผสมเบอร์ 31, 52, 69, 118, 129, 177, 201, 229 และ 230 โดยมีคู่ผสมเบอร์ 69 มีความสูงลำต้นน้อยที่สุด 16.7 เซนติเมตร คู่ผสมเบอร์ 240 มีความยาวทางใบสูงที่สุด 115.8 เซนติเมตร ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 59, 142, 184, 207, 222, 227, 237, 239 และ 202/6 แต่ยาวกว่าคู่ผสมเบอร์ 31, 52, 69, 81, 96, 106, 118, 129, 136, 155, 171, 177, 201, 203, 229, 230 และ 232 โดยเบอร์ 31 มีความยาวทางใบ 51.2 เซนติเมตร คู่ผสมเบอร์ 202/6 มีค่าความกว้างใบขนนกสูงที่สุด 3.2 เซนติเมตร ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 142, 171, 184, 207, 227 และ 240 แต่มีความแตกต่างทางสถิติคู่ผสมเบอร์ 31, 52, 59, 69, 81, 96, 106, 118, 129, 136, 155, 177, 201, 203, 222, 229, 230, 232, 237 และ 239 โดยเบอร์ 69 ค่าความกว้างใบขนนกต่ำที่สุด 1.7 เซนติเมตร คู่ผสมเบอร์ 184 ให้ค่าความยาวใบย่อยสูงที่สุด 49.7 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติกับทุกคู่ผสม โดยคู่ผสมเบอร์ 69 มีความยาวใบย่อยต่ำที่สุด 24.3 เซนติเมตร คู่ผสมเบอร์ 240 มีจำนวนใบย่อยสูงที่สุด 72.6 ใบ ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 59, 136, 142, 155, 184, 207, 222, 237 และ 202/6 แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 31, 52, 69, 81, 96, 106, 118, 129, 171, 177, 201, 203, 227, 229, 230, 232 และ 239 โดยคู่ผสมเบอร์ 31 มีจำนวนใบย่อยต่ำที่สุด 32.6 ใบ คู่ผสมเบอร์ 142 มีค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นสูงที่สุด 10.1 เซนติเมตร ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 59, 81, 136, 155, 184, 207, 222, 227, 232, 237, 239, 240 และ 202/6 แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 31, 52, 69, 96, 106, 118, 129, 171, 177, 201, 203, 229 และ 230 โดยมีคู่ผสมเบอร์ 69 มีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นต่ำที่สุด 4.4 เซนติเมตร คู่ผสมเบอร์ 202/6 ให้ค่าจำนวนใบสูงที่สุด 19.6 ใบ ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 240 แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับคู่ผสมอื่นๆ โดยคู่ผสมเบอร์ 31 มีจำนวนใบต่ำที่สุด 12.1 ใบ (Table 2)

ในการเปรียบเทียบลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นคู่ผสมที่มีค่าความยาวทางใบมากอาจจะส่งผลให้มีพื้นที่ใบมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นปาล์มน้ำมันมีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย Hardon (1976) ต้นปาล์มที่มีความยาวทางใบมากแสดงว่ามีจำนวนใบย่อยสูงทำให้มีพื้นที่ใบมากซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืชทำให้พืชต้นนั้นมีการเจริญเติบโตได้ดี Sujitto *et al.* (2017) รายงานว่าความสูงต้นเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างทางใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งส่งผลต่อการสร้างดอก หากต้นปาล์มมีความสูงเพิ่มขึ้นก็ย่อมมีโอกาสเป็นไปได้ที่จะให้ผลผลิตทะลายเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น คู่ผสมปาล์มน้ำมันที่มีพื้นที่ใบและความสูงมากอาจเป็นตัวชี้วัดหนึ่งในการคัดเลือกคู่ผสมปาล์มน้ำมันที่มีการเจริญเติบโตที่ดีในระยะกล้า

### น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าปาล์มน้ำมันลูกผสมพันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1

สำหรับลักษณะน้ำหนักสดพบว่า คู่ผสมเบอร์ 203 มีน้ำหนักสดใบสูงที่สุด 1227.8 กรัม ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์59, 177, 222, 227, 239, 240 และ 202/6 แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 31, 52, 69, 81, 96, 106, 118, 129, 136, 142, 155, 171, 184, 201, 207, 229, 230, 232 และ 237 โดยคู่ผสมเบอร์ 31 มีน้ำหนักสดใบต่ำที่สุด 92.0 กรัม คู่ผสมเบอร์ 239 มีน้ำหนักสดลำต้นสูงที่สุด 777.6 กรัม ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 59, 81, 136, 142, 171, 177, 184, 201, 203, 207, 222, 227, 230, 240 และ 202/6 แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 31, 52, 69, 96, 106, 118, 129, 155, 229, 232

Table 2. Vegetative characters of variety SUB PSU 1 oil palm seedlings at 12 months old

| Genotypes | H (cm) | RL (cm) | LW (cm) | LL (cm) | LN (leaf) | TD (cm) | FN (leaf) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 17.3e1 | 51.2i | 1.9gh | 24.9fg | 32.6g | 4.6f | 12.1k |
| 52 | 25.0b-d | 78.7d-g | 2.4d-g | 32.2c-g | 55.9c-f | 7.3de | 15.0ij |
| 59 | 29.7a-c | 93.5a-f | 2.5b-f | 37.1b-e | 62.0a-f | 8.6a-e | 17.8b-d |
| 69 | 16.7e | 54.7hi | 1.7h | 24.3g | 37.0g | 4.4f | 14.3j |
| 81 | 26.9a-d | 79.5d-g | 2.3e-g | 30.9c-g | 54.6c-f | 8.1a-e | 15.8e-j |
| 96 | 28.3a-d | 75.2e-i | 2.3e-g | 32.3c-g | 55.4c-f | 7.7c-e | 15.2f-j |
| 106 | 24.5b-d | 72.6f-i | 2.1fg | 31.3c-g | 56.8c-f | 6.8e | 15.8e-j |
| 118 | 23.4d | 68.3g-i | 2.2fg | 28.8e-g | 49.7f | 7.1e | 16.7c-h |
| 129 | 23.9d | 73.0f-i | 2.4c-f | 29.0d-g | 54.1d-f | 7.0e | 16.1d-i |
| 136 | 30.2ab | 91.4b-g | 2.7b-e | 38.3bc | 60.7a-f | 9.8ab | 17.8b-d |
| 142 | 32.0a | 103.9a-c | 2.8a-c | 37.1b-e | 70.4ab | 10.1a | 17.8b-d |
| 155 | 27.0a-d | 91.0b-g | 2.5b-f | 30.6c-g | 60.3a-f | 8.3a-e | 16.3c-i |
| 171 | 27.4a-d | 91.2b-g | 2.8a-c | 38.1b-d | 55.9c-f | 7.9b-e | 16.9c-f |
| 177 | 23.8d | 71.0f-i | 2.3e-g | 28.3e-g | 51.9ef | 7.4de | 16.7c-h |
| 184 | 30.2ab | 104.2a-c | 3.0ab | 49.7a | 66.0a-d | 9.3a-d | 17.8b-d |
| 201 | 24.1cd | 83.8c-g | 2.7b-e | 33.6b-f | 51.5ef | 7.4de | 16.7c-h |
| 203 | 29.1a-d | 79.2d-g | 2.5b-f | 31.8c-g | 58.5b-f | 8.0b-e | 17.2c-e |
| 207 | 29.8a-c | 100.7a-d | 2.9ab | 38.5bc | 61.6a-f | 8.6a-e | 16.9c-g |
| 222 | 28.9a-d | 94.9a-f | 2.6b-f | 36.4b-e | 62.9a-f | 8.7a-e | 16.9c-g |
| 227 | 29.8a-c | 92.1a-g | 2.8a-d | 35.6b-e | 57.2b-f | 8.7a-e | 16.9c-g |
| 229 | 25.1b-d | 77.8d-h | 2.4c-g | 31.6c-g | 49.7f | 7.5de | 16.3c-i |
| 230 | 25.4b-d | 74.8e-i | 2.2e-g | 31.6c-g | 51.9ef | 7.1e | 16.3c-i |
| 232 | 26.2a-d | 84.3c-g | 2.5b-f | 35.4b-e | 58.1b-f | 8.7a-e | 17.6b-e |
| 237 | 28.3a-d | 92.1a-g | 2.6b-f | 35.2b-e | 63.8a-e | 8.6a-e | 18.0bc |
| 239 | 30.0a-c | 98.4a-e | 2.6b-f | 38.1b-d | 58.5b-f | 8.7a-e | 17.6b-e |
| 240 | 31.9a | 115.8a | 2.9ab | 41.4b | 72.6a | 9.7a-c | 19.1ab |
| 202/6 | 32.1a | 114.0ab | 3.2a | 38.3bc | 67.8a-c | 9.8ab | 19.6a |
| F - test | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| CV (%) | 14.21 | 18.75 | 12.35 | 17.42 | 15.49 | 16.77 | 6.96 |

[1] = Values followed by different letters are significantly different according to DMRT

** Significant at difference $P \leq 0.01$ level

H = Height, RL = Rachis length, LW = Leaflet width, LL = Leaflet length, LN = Leaflet number, TD = Trunk diameter, FN = Foliar number

และ 237 โดยคู่ผสมเบอร์ 31 มีน้ำหนักสดลำต้นต่ำที่สุด 103.2 กรัม คู่ผสมเบอร์ 142 มีน้ำหนักสดรากสูงที่สุด 849.6 กรัม ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 59, 81, 136, 177, 184, 201, 203, 207, 222, 227, 239, 240 และ 202/6 แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 31, 52, 69, 96, 106, 118, 129, 155, 171, 229, 230, 232 และ 237 โดยคู่ผสมเบอร์ 31 มีน้ำหนักสดรากน้อยที่สุด 93.9 กรัม คู่ผสมเบอร์ 240 มีน้ำหนักแห้งใบสูงที่สุด 605.5 กรัม ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 203, 227, 239 และ 202/6 แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับคู่ผสมอื่นๆ โดยคู่ผสมเบอร์ 31 มีน้ำหนักแห้งใบต่ำที่สุด 22.2 กรัม คู่ผสมเบอร์ 239 มีน้ำหนักแห้งลำต้นสูงที่สุด 242.0 กรัม ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 59, 81, 136, 142, 171, 177, 184, 201, 203, 207, 222, 240 และ 202/6 แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 31, 52, 69, 96, 106, 118, 129, 155, 227, 229, 230, 232 และ 237 โดยคู่ผสมเบอร์ 31 มีน้ำหนักสดลำต้นต่ำที่สุด 29.6 กรัม คู่ผสมเบอร์ 142 มีน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุด 324.7 กรัม ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 81, 136, 177, 184, 201, 203, 222, 227, 239, 240 และ 202/6 แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 31, 52, 59, 69, 96, 106, 118, 129, 155, 171, 207, 229, 230, 232 และ 237 โดยคู่ผสมเบอร์ 31 มีค่าของลักษณะน้ำหนักแห้งรากน้อยที่สุด 22.1 กรัม (Table 3)

Sophanodora *et al.* (2000) รายงานว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมจะทำให้การกระจายน้ำหนักแห้งในส่วนของรากและต้นมีความแปรปรวน หากพืชสังเคราะห์แสงได้ดีก็จะส่งผลให้การเจริญเติบโตของรากดีด้วย Sampet (1999) รายงานว่า การสะสมน้ำหนักแห้ง เป็นดัชนีบ่งบอกระดับการเจริญเติบโตของพืช และในขณะเดียวกันก็สามารถใช้เป็นดัชนีบอกระดับการให้ผลผลิตของพืชได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะพบอยู่เสมอว่าผลผลิตกับน้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์ในทางบวก ในส่วนของพื้นที่ใบของต้นกล้าปาล์มน้ำมันลูกผสมพันธุ์ทรัพย์ ม.อ. 1 จำนวน 27 คู่ผสม ที่อายุ 12 เดือน พบว่า คู่ผสมเบอร์ 239 มีค่าพื้นที่ใบ สูงที่สุด คือ 12,987.8 ตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติกับคู่ผสมเบอร์ 136, 240 และ 202/6 แต่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับคู่ผสมอื่นๆ โดยคู่ผสมเบอร์ 31 ที่มีพื้นที่ใบต่ำที่สุด 1,865.4 ตารางเซนติเมตร (Table 3)

**อัตราพันธุกรรมอย่างแคบ**

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะการเติบโตทางลำต้นของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน พบว่า ทุกลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ได้แก่ ความสูงต้น ความยาวทางใบ ความกว้างใบย่อย ความยาวใบย่อย จำนวนใบย่อย ขนาดลำต้น จำนวนทางใบ นำหนักสดใบ ต้น ราก น้ำหนักแห้ง ใบ ต้น ราก และพื้นที่ใบ ลักษณะเหล่านี้มีค่าอัตราพันธุกรรมอย่างแคบอยู่ในระดับต่ำ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.73 - 2.36 % (Table 4) ค่าเฉลี่ยทั้งหมด และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะทางการเกษตรของต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีค่าอัตราพันธุกรรมอย่างแคบอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งมีสาเหตุมาจากความแปรปรวนเนื่องจากยีนแบบบวกต่ำ แสดงให้เห็นว่าลูกผสมเทเนอรามีความแปรปรวนทางพันธุกรรมของยีนแบบบวกในลักษณะนั้น ๆ ต่ำด้วย สอดคล้องกับรายงานของ Corley and Tinker (2003) ที่รายงานว่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะเชิงปริมาณในปาล์มน้ำมัน เช่น ผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบผลผลิต และลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นโดยทั่วไปมีค่าอยู่ในระดับต่ำเนื่องจากมียีนควบคุมหลายคู่และมีอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องสูง อย่างไรก็ตาม ค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะต่าง ๆ อาจมีความแปรปรวนตั้งแต่ต่ำจนถึงสูง (ระหว่าง 0 - 100) ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพันธุกรรมของเชื้อพันธุ์ สภาพแวดล้อม และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (Rafii *et al.*, 2002) แม่และพ่อพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่ใช้ในปัจจุบันมีฐานความแปรปรวนทางพันธุกรรมที่ค่อนข้างแคบเนื่องจากโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์มักมีการใช้ฐานพันธุกรรมจากปาล์ม

Table 3. Fresh weight, dry weight and leaf area of oil palm seedlings varieties of SUB PSU 1 at 12 months old

| Genotypes | Fresh weight (g) | | | Dry weight (g) | | | Leaf area ($cm^2$/plant) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Leaf | Trunk | Root | Leaf | Trunk | Root | |
| 31 | 92.0d | 103.2i[1] | 93.9g | 22.2d | 29.6j | 22.1h | 1865.4h |
| 52 | 274.6d | 210.6f-i | 193.0d-g | 81.8d | 65.0f-j | 56.6e-h | 3219.5f-h |
| 59 | 626.1a-d | 514.5a-h | 466.9a-g | 201.7b-d | 161.7a-g | 154.6b-h | 6477.3b-f |
| 69 | 246.0d | 140.5hi | 135.2fg | 88.6d | 45.2ij | 38.7h | 2111.8gh |
| 81 | 440.2cd | 648.9a-d | 696.4a-c | 134.3cd | 189.5a-d | 223.6a-d | 8967.6b-d |
| 96 | 311.6d | 281.1d-i | 317.1c-g | 154.3cd | 93.9d-j | 120.6b-h | 5226.3d-h |
| 106 | 228.3d | 163.2g-i | 151.7fg | 96.2d | 55.5h-j | 50.3f-h | 3307.5f-h |
| 118 | 262.0d | 243.7e-i | 262.2c-g | 91.3d | 76.7e-j | 70.0d-h | 3728.9f-h |
| 129 | 154.1d | 152.9hi | 158.5fg | 45.7d | 48.0ij | 46.6gh | 5227.2d-h |
| 136 | 547.5b-d | 607.9a-e | 640.6a-d | 203.4b-d | 221.0ab | 234.2a-c | 10740.3ab |
| 142 | 419.8cd | 725.1ab | 849.6a | 172.1b-d | 166.1a-f | 324.7a | 8675.6b-e |
| 155 | 226.0d | 175.1f-i | 184.4e-g | 83.3d | 59.1g-j | 53.7e-h | 4471.5e-h |
| 171 | 189.5d | 419.5a-i | 370.6b-g | 62.3d | 139.7a-i | 117.9b-h | 6723.8b-f |
| 177 | 634.2a-d | 487.9a-i | 507.3a-g | 204.9b-d | 147.0a-i | 176.3a-h | 6909.5b-f |
| 184 | 419.4cd | 535.9a-g | 517.7a-g | 148.9cd | 177.7a-e | 176.6a-h | 8043.3b-e |
| 201 | 524.2b-d | 659.1a-d | 614.9a-e | 203.6b-d | 208.7a-c | 211.8a-f | 8931.3b-d |
| 203 | 1227.8a | 556.7a-f | 632.7a-e | 468.4a-c | 157.5a-h | 204.4a-g | 7444.3b-f |
| 207 | 563.2b-d | 549.2a-f | 483.3a-g | 209.7b-d | 158.7a-h | 162.2b-h | 6248.8c-g |
| 222 | 619.7a-d | 704.1a-c | 644.0a-d | 186.1b-d | 217.9a-c | 221.7a-d | 8548.3b-e |
| 227 | 993.8a-c | 691.9a-c | 578.9a-f | 443.9a-c | 113.3c-j | 184.4a-h | 7304.9b-f |
| 229 | 546.0b-d | 332.5c-i | 309.8c-g | 209.4b-d | 99.8d-j | 102.1c-h | 5195.2d-h |
| 230 | 475.6cd | 406.4a-i | 370.4b-g | 134.9cd | 118.0b-j | 120.5b-h | 6492.3b-f |
| 232 | 437.0cd | 291.8d-i | 257.8c-g | 155.9cd | 87.9d-j | 86.0c-h | 5734.3d-h |
| 237 | 408.2cd | 385.0b-i | 377.3b-g | 201.9b-d | 118.7b-j | 124.2b-h | 6655.4b-f |
| 239 | 1121.4ab | 777.6a | 801.7ab | 505.4ab | 242.0a | 266.4ab | 12987.8a |
| 240 | 1045.1a-c | 645.2a-d | 630.2a-e | 605.5a | 212.6a-c | 213.4a-e | 9449.1a-d |
| 202/6 | 641.4a-d | 684.2a-c | 666.6a-c | 306.0a-d | 210.2a-c | 237.9a-c | 10349.9a-c |
| F-test | ** | ** | ** | * | ** | ** | ** |
| CV (%) | 51.7 | 35.19 | 41.88 | 70.7 | 32.52 | 44.86 | 26.2 |

[1] = Values followed by different letters are significantly different according to DMRT

* = Significant difference at $P \leq 0.05$ level, ** Significant difference at $P \leq 0.01$ level

Table 4. Analysis of variance and narrow sense heritability ($h^2_{ns}$) of vegetative characters of oil palm seedlings

| Characters | means | MS | | CV (%) | $h^2_{ns}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Progenies | Error | | |
| Height | 27.27 | 76.50** | 14.64 | 14.03 | 1.83 |
| Rachis length | 87.41 | 1,251.17** | 256.78 | 18.33 | 1.75 |
| Leaflet width | 2.55 | 0.56** | 0.10 | 12.13 | 1.96 |
| Leaflet length | 34.38 | 141.06** | 35.28 | 17.28 | 1.50 |
| Leaflet number | 57.69 | 381.56** | 77.82 | 15.29 | 1.75 |
| Trunk diameter | 81.62 | 942.13** | 181.63 | 16.51 | 1.82 |
| Foliar number | 16.92 | 11.11** | 1.35 | 6.88 | 2.36 |
| Leaf fresh weight | 447.91 | 90,603.17** | 24,850.60 | 35.19 | 1.38 |
| Trunk fresh weight | 441.19 | 95,816.28** | 34,139.04 | 41.88 | 1.06 |
| Root fresh weight | 506.47 | 1,77015.61** | 68,549.83 | 51.70 | 0.96 |
| Leaf dry weight | 134.11 | 7,986.16** | 1,901.91 | 32.52 | 1.56 |
| Trunk dry weight | 148.19 | 12,809.10** | 4,420.03 | 44.86 | 1.10 |
| Root dry weight | 200.81 | 42,603.44** | 20,159.99 | 70.71 | 0.73 |
| Leaf area | 6,705.07 | 14,355,888.41** | 3,085,577.39 | 26.20 | 1.69 |

** Significant at difference $P \leq 0.01$ level

น้ำมันเดลิ ดูราซึ่งกำเนิดมาจากปาล์มน้ำมันเพียง 4 ต้นในประเทศอินโดนีเซีย การคัดเลือกและผสมพันธุ์จากรุ่นหนึ่งไปอีกรุ่นหนึ่งยิ่งทำให้ฐานความแปรปรวนลดน้อยลง (Eksomtramage and Eksomtramage, 2010; Eksomtramage, 2015) ดังนั้น ค่าอัตราพันธุกรรมอย่างแคบที่อยู่ในระดับต่ำจะทำค่าเฉลี่ยของแต่ละลักษณะทางการเกษตรสูงขึ้นเหมาะที่จะใช้ในการผลิตลูกผสม

**สหสัมพันธ์**

จากการศึกษาสหสัมพันธ์ของลักษณะการเติบโตทางลำต้นในกล้าปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอราคู่ผสมต่างๆที่อายุ 12 เดือน พบว่า ลักษณะความสูงต้น ความยาวทาง ความยาวใบย่อย ความกว้างใบย่อย จำนวนใบย่อย เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น จำนวนทางใบ มีสหสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) ส่วนลักษณะน้ำหนักสดและแห้งของใบ ลำต้น ราก และพื้นที่ใบ พบว่า ทุกลักษณะมีความสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเช่นกัน (Table 6) ซึ่งมีการศึกษาว่าสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิต พบว่า จำนวนทางใบ พื้นที่ใบ ความสูงต้น มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับจำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลาย (Kaewpradub and Eksomtramage, 2010) สอดคล้องกับรายงานของ Eksomtramage and Eksomtramage (2010) ที่กล่าวว่าลักษณะทางลำต้นที่มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิต ได้แก่ ขนาดลำต้น ความยาวใบ พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งใบ ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเหล่านี้บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในกระบวนการสร้างอาหารจากการสังเคราะห์แสงของใบ การใช้และการสะสมอาหารในส่วนต่าง ๆ ของลำต้นที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต

Table 5. Correlation coefficients of vegetative characters of oil palm seedlings

| Characters | H | RL | LW | LL | LN | TD | FN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | - | | | | | | |
| RL | 0.87** | - | | | | | |
| LW | 0.69** | 0.73** | - | | | | |
| LL | 0.76** | 0.87** | 0.62** | - | | | |
| LN | 0.79** | 0.88** | 0.61** | 0.75** | - | | |
| TD | 0.88** | 0.89** | 0.69** | 0.81** | 0.87** | - | |
| FN | 0.72** | 0.73** | 0.64** | 0.67** | 0.70** | 0.79** | - |

** Significantly different at $P \leq 0.01$ level

H = Height, RL = Rachis length, LW = Leaflet width, LL = Leaflet length, LN = Leaflet number, TD = Trunk diameter, FN = Foliar number

## สรุป

จากการศึกษาความแปรปรวนของลักษณะการเติบโตทางลำต้นของต้นกล้าปาล์มน้ำมันพันธุ์ทรัพย์ ม.อ.1 ที่ได้จากต้นแม่ต่างกัน พบว่า ทุกลักษณะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ยังพบว่ามีค่าอัตราพันธุกรรมอย่างแคบอยู่ในระดับต่ำระหว่าง 0.73 - 2.36 % และมีสหสัมพันธ์ในทางบวกของลักษณะการเติบโตทางลำต้นทุกลักษณะ โดยพบว่า มีทั้งหมด 8 คู่ผสมที่ให้ลักษณะการเติบโตของต้นกล้าที่ดี ได้แก่ คู่ผสมเบอร์ 59, 136, 142, 184, 227, 239, 240 และ 202 / 6 ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้จะสามารถเลือกใช้ต้นแม่พันธุ์เพื่อผลิตต้นกล้าที่มีลักษณะที่ดีต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสถานวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน ระยะที่ 2 คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อนุเคราะห์ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

Bernardo, A.B.I. 2002. Finding our voice(s): Philippine psychologists' contributions to global discourse in psychology. Asian Psychologist 3(1): 29-37.

Corley, R.H.V. and P.B. Tinker. 2003. The Oil Palm. 4th ed. Blackwell, Oxford. 592 p.

Eksomtramage, T. 2015. Oil Palm Breeding. 2nd ed. Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla. 463 p. (in Thai)

Eksomtramage, W. and T. Eksomtramage. 2010. Heritability and correlations of agronomic characters in tenera oil palm hybrid. Journal of Agriculture 26(3): 231-239. (in Thai)

Hardon, J.J. 1976. Oil palm breeding: introduction. pp. 89-108. *In*: R. H. V. Corley, J.J. Hardon and B. J. Wood (eds.). Oil Palm Research. Elsevier, Amsterdam.

Kaewpradub, T. and T. Eksomtramage. 2010. Correlation and heritability of agronomic characters in dura oil palm populations. King Mongkut's Agricultural Journal 28(1): 41-48. (in Thai)

Rafii, M.Y., N. Rajanaidu, B.S. Jalani and A. Kushairi. 2002. Performance and heritability estimations on oil palm progenies tested in different environments. Journal Oil Palm Research 14(1): 15-24.

Sampet, C. 1999. Crop Physiology. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 276 p. (in Thai)

Soonsuwon, W. 2006. Agricultural Research. Agricultural Innovation and Management Division (Plant Science), Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla. 294 p. (in Thai)

Sophanodora, P., W. Wunnachit, A. Kamnalrut, W. Soonsuwon, V. Somsap, C. Yenyongsawad and A. Rugkong. 2000. Principles of Crop Production. 2nd ed. Agricultural Innovation and Management Division (Plant Science), Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla. 190 p. (in Thai)

Srinives, P. 1982. Quantitative Genetics with Application to Plant Breeding. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 179 p. (in Thai)

Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 2nd ed. McGraw-Hill, New York. 633 p.

Sujitto, S., T. Eksomtramage and S. Duangpan. 2017. Growth and proline content of oil palm seedling of hybrid tenera in water stress condition. Songklanakarin Journal of Plant Science 4(1): 14-18. (in Thai)

# การคัดเลือกข้าวก่ำเพื่อธาตุเหล็กในเมล็ดและผลผลิตสูงในลูกผสมชั่วที่ 4 ถึงชั่วที่ 5 ระหว่างข้าวพันธุ์ก่ำหอม มช. และข้าวปทุมธานี 1

# Purple Rice Selection for High Grain Iron and Yield Rice Lines in F4 and F5 Generations from Cross Between Kum Hom Mor Chor and Pathum Thani 1

**ศิลป์ศุภา พูลละม้าย[1] ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย[1,2]**
**ต่อนภา ผุสดี[1,2] และ ศันสนีย์ จำจด[1,2*]**
Sinsupa Poonlamai[1], Chanakan Thebault Prom-u-thai[1,2],
Tonapha Pusadee[1,2] and Sansanee Jamjod[1,2*]

*[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] ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[2] Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
**Corresponding author: Email: sansanee.cm@gmail.com*

*(Received: 4 September 2021; Accepted: 15 November 2021)*

**Abstract:** Iron (Fe) is an essential element for human health, but the popular staple food as rice contains very low amount of Fe compares with the other grains. Adding Fe into rice grains is an alternative solution to solve the problem of Fe deficiency among rice consumers. This research aimed to select rice lines with high grain Fe concentration, black pericarp, and high yield by taking seeds from F3 population between Kum Hom Mor Chor (KHCMU), a photoperiod sensitivity with high grain Fe concentration > 10 mg/kg and Pathum Thani 1 (PTT1), a photoperiod insensitivity with high yield varieties. The 20 lines were used as a preliminary population in this study. The F4 generation was evaluated and selected in dry season, 2018 at the experimental field. At maturity, plants were harvested and recorded for color of pericarp and agronomic characteristics i.e., days to flowering, plant height and yield. The grain Fe concentration in brown rice was analysed and the high Fe concentration plants were selected for the representative of F5 population. The F5 population was continued to evaluate and select in wet season, 2018 by the plantation and management were similar to the F4 generation. In summary, 6 plants with high grain Fe concentration, black pericarp and high yield were selected. Grain Fe concentration in brown rice and yield of the selected lines were ranged between 13.3-17.5 mg/kg, and 24.6-47.2 g/plant which was 170-224% and 171-328% higher than PTT1 and KHCMU, respectively. These selected lines could be used as source of genetic materials for the development of new rice varieties with high grain Fe concentration, black pericarp, and high yield in the future.

**Keywords:** Selection, purple rice, high iron rice

**บทคัดย่อ**: ธาตุเหล็กเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อสุขภาพและร่างกายมนุษย์ ซึ่งข้าวนับเป็นอาหารหลักที่เป็นแหล่งพลังงานที่ประชากรส่วนใหญ่นิยมบริโภค แต่กลับพบว่ามีปริมาณธาตุเหล็กที่มีความจำเป็นต่อร่างกายน้อยกว่าธัญพืชชนิดอื่น ๆ ดังนั้นการเพิ่มธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาการขาดธาตุเหล็กของผู้บริโภคข้าว การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดสูง มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ และให้ผลผลิตสูง โดยคัดเลือกจากประชากรลูกผสมชั่วที่ 3 ระหว่างข้าวเหนียวก่ำหอม มช. ที่เป็นพันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดสูง และข้าวเจ้าปทุมธานี 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงและให้ผลผลิตสูง จำนวน 20 สายพันธุ์ มาเป็นประชากรตั้งต้น ปลูกคัดเลือกชั่วที่ 4 ในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2561 ในสภาพนาสวน แบบต้นต่อแถว บันทึกวันออกดอก ความสูงต้น น้ำหนักเมล็ดต่อต้น สีเยื่อหุ้มเมล็ด และวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้อง หลังจากนั้นคัดเลือกต้นที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดสูง ปลูกคัดเลือกต่อในชั่วที่ 5 ในฤดูนาปี พ.ศ. 2561 ปลูกและจัดการเช่นเดียวกับชั่วที่ 4 โดยสามารถคัดเลือกต้นที่มีธาตุเหล็กในเมล็ดสูง เยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ และให้ผลผลิตสูง ได้ทั้งหมด 6 ต้น มีธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องระหว่าง 13.3 - 17.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่มีธาตุเหล็กสูงกว่าพันธุ์พ่อปทุมธานี 170-224 % มีผลผลิตอยู่ระหว่าง 24.6 - 47.2 กรัมต่อต้น ซึ่งทุกสายพันธุ์มีผลผลิตมากกว่าพันธุ์แม่ก่ำหอม มช. 171 - 328 % และมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำตรงตามวัตถุประสงค์ สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้ในการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมที่สำคัญ เพื่อพัฒนาข้าวสายพันธุ์ใหม่ที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องสูง มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำและมีผลผลิตสูงได้ในอนาคต

**คำสำคัญ**: การคัดเลือก ข้าวก่ำ ข้าวเหล็กสูง

## คำนำ

ธาตุเหล็กเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์โดยเฉพาะเกี่ยวกับการสร้างเม็ดเลือด หากร่างกายขาดธาตุเหล็กจะส่งผลให้เกิดโรคโลหิตจาง มีประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อและสมองลดลง ภูมิคุ้มกันโรคต่ำ และมีพัฒนาการการเจริญเติบโตในวัยเด็กลดลง (Wanachiwanawin, 2016) ปกติมนุษย์จะได้รับธาตุเหล็กจากแหล่งอาหารหลัก เช่น เนื้อสัตว์และธัญพืชชนิดต่าง ๆ รวมไปถึงข้าวที่บริโภคอยู่เป็นประจำทุกวัน (Sawangwongsin, 1998) ข้าวนับเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่ประชากรส่วนใหญ่นิยมบริโภค (Graham *et al.*, 2001) ดังนั้นการเพิ่มธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาการขาดธาตุเหล็ก โดยเฉพาะประชากรกลุ่มเสี่ยงที่มีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก และไม่ได้มีการเสริมธาตุเหล็กจากแหล่งอาหารอื่น ๆ

การวิจัยก่อนหน้านี้โดย Prom-u-thai (2003) ได้ศึกษาความแปรปรวนของปริมาณธาตุเหล็กในพันธุกรรมข้าวไทย และพบพันธุ์ข้าวเหนียวดำพื้นเมืองที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องสูง จากนั้นได้พัฒนาสายพันธุ์ด้วยวิธี Pure line selection จนได้ประชากรที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดสูง ชื่อว่าพันธุ์ "ก่ำหอม มช." ซึ่งเป็นข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองชนิด japonica (Mackill, 1995) มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ มีธาตุเหล็กในเมล็ดสูง (14.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่ให้ผลผลิตต่ำ (300 กิโลกรัมต่อไร่) ดังนั้น การนำข้าวพันธุ์ก่ำหอม มช. มาใช้ประโยชน์จึงควรปรับปรุงพันธุ์ให้มีผลผลิตสูงขึ้น แต่ยังคงไว้ด้วยปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดสูง เพื่อเป็นการเพิ่มประโยชน์ทางโภชนาการและปริมาณของผลผลิต จากการศึกษาของ Jaksomsak (2007) ได้ศึกษาการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะปริมาณธาตุเหล็กสูงในพันธุ์ข้าวก่ำหอม มช. และปรับปรุงพันธุ์โดยผสมกับข้าวพันธุ์สมัยใหม่คือ ชัยนาท 1 ซึ่งเป็นข้าวชนิด indica ให้ผลผลิตสูง (754 กิโลกรัมต่อไร่) แต่จากการศึกษาพบว่าลูกผสมชั่วที่ 2 เป็นหมันทั้งหมด เนื่องจากข้าว indica และ japonica มีพันธุกรรมแตกต่างกันมาก จึงทำให้เกิดความเข้ากันไม่ได้ทางพันธุกรรม (genetic incompatibility) ส่งผลให้ลูกผสมเป็นหมัน (Oka, 1974) อย่างไรก็ตาม

Khodruankeaw *et al*. (2020) ได้สร้างลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวพันธุ์ก่ำหอม มช. และพันธุ์ปทุมธานี 1 ซึ่งเป็นพันธุ์สมัยใหม่ เพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวเหนียวพันธุ์ก่ำหอม มช. โดยลูกผสมทั้งหมดไม่เป็นหมันให้ผลผลิตเป็นปกติ และพบว่าปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดและผลผลิตของประชากรลูกผสมชั่วที่ 2 มีการกระจายตัวกว้างและมีการกระจายตัวนอกเหนือขอบเขตของพันธุ์พ่อแม่ (transgressive segregation) แต่ลูกผสมส่วนใหญ่ยังคงให้ผลผลิตต่ำ ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 6.6 กรัมต่อต้น

สำหรับงานทดลองนี้เป็นงานทดลองต่อเนื่อง ซึ่งนำเมล็ดพันธุ์ชั่วที่ 3 ที่ได้จากการศึกษาของ Khodruankeaw *et al*. (2020) ซึ่งได้คัดเลือกต้นที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขึ้นไป จำนวน 20 สายพันธุ์ มาเป็นประชากรตั้งต้น ปลูกประเมินและคัดเลือกต่อในชั่วที่ 4 และ 5 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดสูงทั้งสายพันธุ์ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ และให้ผลผลิตสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ก่ำหอม มช. ดั้งเดิม ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมที่สำคัญในการพัฒนาข้าวสายพันธุ์ใหม่ที่มีผลผลิตและปริมาณธาตุเหล็กสูงได้ในอนาคต

## อุปกรณ์และวิธีการ

### พันธุกรรม

ศึกษาประชากรลูกผสมระหว่างพันธุ์แม่ คือ ก่ำหอม มช. (KHCMU) เป็นข้าวไร่พื้นเมืองชนิด tropical japonica มีลักษณะเป็นข้าวเหนียว พันธุ์ไวแสง มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ มีธาตุเหล็กในเมล็ดสูง แต่ให้ผลผลิตต่ำ และพันธุ์พ่อ คือ ปทุมธานี 1 เป็นข้าวนาสวนพันธุ์ปรับปรุงสมัยใหม่ชนิด indica มีลักษณะเป็นข้าวเจ้า พันธุ์ไม่ไวแสง ต้นเตี้ยให้ผลผลิตสูง แต่มีธาตุเหล็กในเมล็ดต่ำ ปลูกชั่วที่ 1 และ 2 ในกระถาง ปี พ.ศ. 2559 (Khodruankeaw *et al*., 2020) ในฤดูนาปี ปี พ.ศ. 2560 ปลูกชั่วที่ 3 ในกระถางจำนวน 400 ต้น คัดเลือกต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำและนำไปวิเคราะห์ธาตุเหล็กในเมล็ด หลังจากนั้นคัดเลือกต้นที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดสูงสุดระหว่าง 10.1 - 12.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้จำนวน 20 ต้น โดยทั้ง 20 ต้น (สายพันธุ์) จะเป็นตัวแทนสายพันธุ์ชั่วที่ 4 และใช้ในการศึกษาครั้งนี้

### การคัดเลือกลูกผสมชั่วที่ 4

ปลูกคัดเลือกสายพันธุ์ลูกผสมชั่วที่ 4 ในแปลงทดลอง ฤดูนาปรัง ระหว่างเดือนมกราคม - พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2561 เพาะเมล็ดข้าวลูกผสมชั่วที่ 4 จำนวน 20 สายพันธุ์และพันธุ์พ่อแม่ในถาดเพาะกล้า เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วัน ย้ายปักดำในแปลงทดลองขนาด 3.5 x 12.5 เมตร ในสภาพข้าวนาสวน ระยะปลูก 25 x 25 เซนติเมตร จำนวน 1 ต้นต่อหลุม ปลูกสายพันธุ์ละ 2 แถว แถวละ 14 ต้น ความยาวแถว 3.5 เมตร และสายพันธุ์พ่อแม่ พันธุ์ละ 1 แถว คั่นระหว่างลูกผสมชั่วที่ 4 ทุก ๆ 5 สายพันธุ์ หลังย้ายปลูก 30 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15 - 15 - 15 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ และหลังจากย้ายปลูก 60 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46 - 0 - 0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ในแต่ละสายพันธุ์ บันทึกอายุออกดอก คัดเลือกด้วยตาเปล่าหลังต้นข้าวออกดอก 15 - 20 วัน โดยคัดเลือกต้นที่ออกรวงสม่ำเสมอ จำนวนหน่อต่อกอสูง ไม่มีการเข้าทำลายของโรคแมลง สายพันธุ์ละ 3 ต้น และทำเครื่องหมายติดต้นที่คัดเลือก เมื่อถึงระยะสุกแก่ คัดกรองเบื้องต้นโดยใช้เมล็ดรวมจากทุกต้นภายในสายพันธุ์ ต้นละเท่ากัน นำเมล็ดมารวมกันเพื่อวิเคราะห์ธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องเบื้องต้น โดยใช้เทคนิค dry ashing และวัดค่าปริมาณธาตุเหล็กโดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrometry (AA) ตามวิธีของ Zarcinas *et al*. (1987) และคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดแบบรวมสูงกว่าพันธุ์แม่ก่ำหอม มช. ซึ่งเป็นพันธุ์แม่ ได้จำนวน 8 สายพันธุ์ เก็บเกี่ยวต้นภายใน 8 สายพันธุ์ที่คัดเลือกเบื้องต้นไว้ โดยวัดความสูงต้นจากระดับผิวดินถึงคอรวง นับจำนวนรวงต่อต้น ชั่งน้ำหนักเมล็ดต่อต้น แกะเปลือกเมล็ดข้าวเพื่อประเมินสีเยื่อหุ้มเมล็ด นำต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องแบบแยกต้น จากนั้นคัดเลือกต้นที่มีปริมาณธาตุเหล็ก

มากกว่าค่าเฉลี่ยของพันธุ์แม่ เป็นตัวแทนชั่วที่ 5 เพื่อปลูกคัดเลือกในฤดูถัดไป

**การคัดเลือกลูกผสมชั่วที่ 5**

ปลูกในแปลงทดลอง ฤดูนาปี ระหว่างเดือนสิงหาคม - ธันวาคม ปี พ.ศ. 2561 เพาะเมล็ดข้าวลูกผสมชั่วที่ 5 ที่คัดเลือกมาจากลูกสมชั่วที่ 4 ที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องสูง และมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ จำนวน 18 สายพันธุ์และพันธุ์พ่อแม่ สายพันธุ์ ละ 1 แถว แถวละ 12 ต้น ความยาวแถวละ 3 เมตร และสายพันธุ์พ่อแม่ พันธุ์ละ 1 แถว คั่นระหว่างสายพันธุ์ลูกผสมชั่วที่ 5 ทุก ๆ 10 สายพันธุ์ ซึ่งมีวิธีการปลูก ดูแล จัดการ คัดเลือกต้นและบันทึกข้อมูลลักษณะทางพืชไร่ภายในสายพันธุ์ ๆ ละ 3 ต้น เช่นเดียวกับในลูกผสมชั่วที่ 4 จากนั้นทดสอบชนิดแป้งด้วยวิธีการติดสีสารละลายไอโอดีน (potassium iodine, KI) และนำเมล็ดไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องแบบแยกต้นเช่นเดียวกับในลูกผสมชั่วที่ 4

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

ในการวิเคราะห์ข้อมูลประชากรลูกผสมชั่วที่ 4 และ 5 วิเคราะห์ช่วงของการกระจายตัว (range) ค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, sd) เทียบกับพันธุ์พ่อแม่

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

**การคัดเลือกลูกผสมชั่วที่ 4**

<u>การคัดกรองเบื้องต้น</u>

วิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดแบบเก็บรวม พันธุ์พ่อแม่มีค่าเท่ากับ 7.2 และ 12.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ลูกผสมชั่วที่ 4 จำนวน 20 สายพันธุ์ มีค่าตั้งแต่ 9.3 - 15.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Figure 1) คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องสูงกว่าพันธุ์แม่ก่ำหอม มช. ได้จำนวน 8 สายพันธุ์ เพื่อศึกษารายละเอียดของลักษณะทางพืชไร่และปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดของต้นเดี่ยว ๆ ภายในสายพันธุ์ที่คัดเลือกไว้ 8 สายพันธุ์ ๆ ละ 3 ต้น รวม 24 ต้น

<u>การคัดเลือกต้นเดี่ยว</u>

*ลักษณะทางพืชไร่*

จากการคัดเลือก 8 สายพันธุ์ ๆ ละ 3 ต้น รวม 24 ต้น ได้ศึกษารายละเอียดของลักษณะทางพืชไร่และปริมาณธาตุ เหล็กในเมล็ดของต้นเดี่ยว ๆ พบว่า พันธุ์พ่อแม่มีอายุออกดอกเฉลี่ย 119.9 และ 88.7 วัน ตามลำดับ (ออกดอกระหว่าง วันที่ 28 - 30 เมษายน 2561) วันออกดอกเฉลี่ยของลูกผสมชั่วที่ 4 เท่ากับ 94.3 วัน ซึ่งมีอายุออกดอกในช่วงตั้งแต่ 80 - 117 วัน (Figure 2a) สำหรับลักษณะความสูงต้น

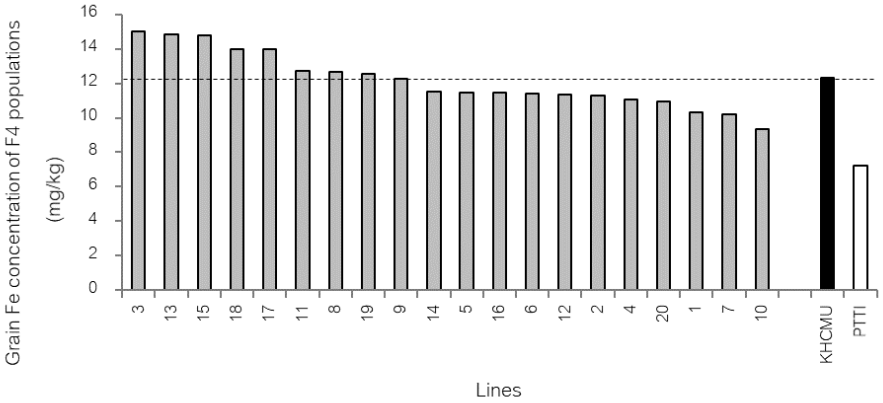


Figure 1. Grains Fe concentrations of 20 lines in F4 population and parents (KHCMU and PTT1)

พันธุ์พ่อและแม่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 79.7 และ 70.3 เซนติเมตร ตามลำดับ ลูกผสมชั่วที่ 4 มีความสูงเฉลี่ย 74.8 เซนติเมตร มีการกระจายนอกเหนือขอบเขตพ่อแม่ มีค่าระหว่าง 42-120 เซนติเมตร (Figure 2b) ส่วนผลผลิตเฉลี่ยต่อต้นพบว่าพันธุ์พ่อปทุมธานี 1 มีผลผลิตสูงเฉลี่ยเท่ากับ 51 กรัมต่อต้น ขณะที่พันธุ์แม่ให้ผลผลิตต่ำเพียง 5 กรัมต่อต้น ลูกผสมชั่วที่ 4 มีการกระจายตัวระหว่าง 7.1 - 45.9 กรัมต่อต้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.9 กรัมต้น โดยส่วนใหญ่กระจายตัวในช่วง 10 - 30 กรัมต่อต้น (Figure 2c)

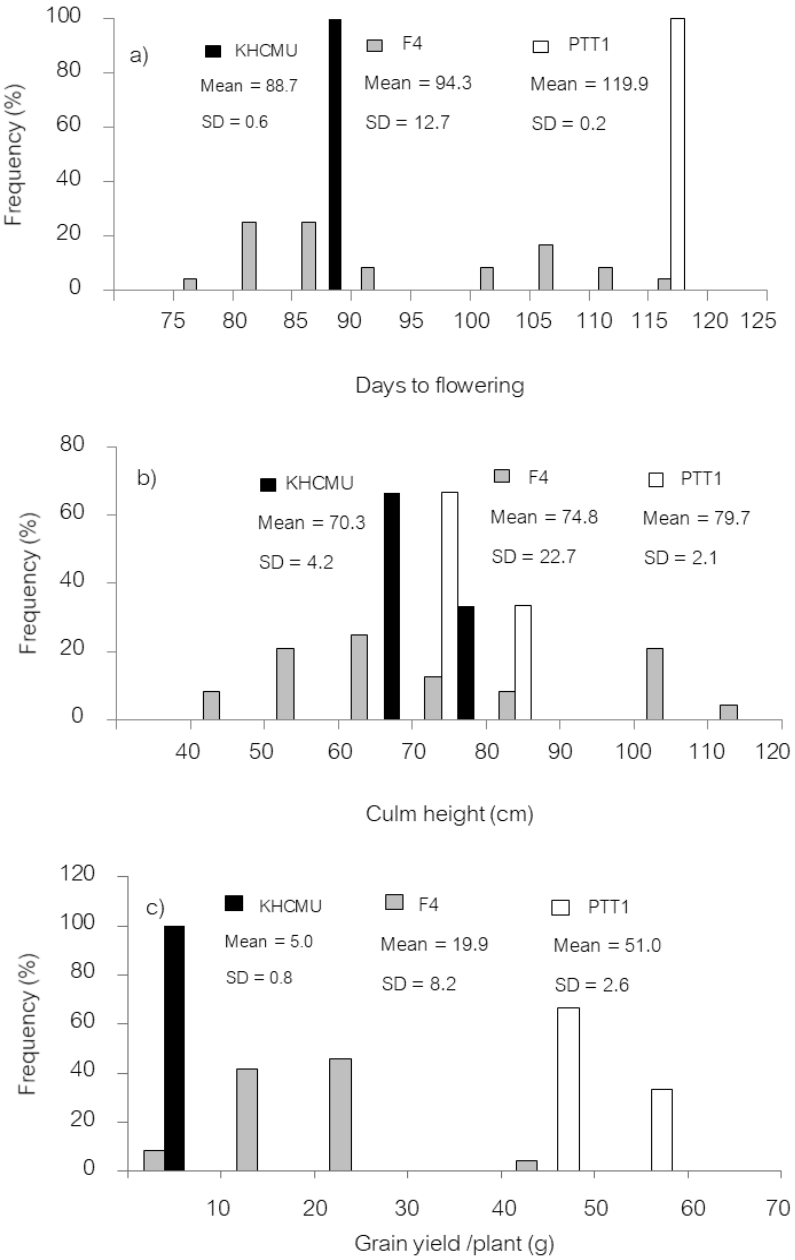


Figure 2. Frequency distribution (%) of agronomic traits of 24 plants in F4 population and parents (KHCMU and PTT1); a) Days to flowering, b) Culm height and c) Grain yield per plant

*ปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้อง*

ต้นที่คัดเลือก 24 ต้น พบหนึ่งต้นมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาว นำเมล็ดจากเฉพาะต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ 23 ต้นและพันธุ์พ่อแม่ไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องแบบแยกต้น พบว่า พันธุ์แม่ธาตุเหล็กสูงมีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องระหว่าง 11.9 - 13.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเฉลี่ย 12.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่พันธุ์พ่อมีค่าระหว่าง 7.4 - 7.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เฉลี่ยเท่ากับ 7.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลูกผสมชั่วที่ 4 ต้นเดี่ยวจากสายพันธุ์ที่คัดกรองเบื้องต้นกระจายตัวให้ปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องสูงกว่าพันธุ์พ่อ มีค่าระหว่าง 9.7 - 18.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Figure 3) แสดงว่าการคัดเลือกเบื้องต้นจากการกรองโดยใช้การวิเคราะห์รวมคัดกรองในขั้นแรกสามารถพบต้นที่มีปริมาณธาตุเหล็กสูงภายในสายพันธุ์ที่ได้จากการคัดเลือกแบบรวมเมล็ดภายในสายพันธุ์ จากผลการวิเคราะห์คัดเลือกต้นที่มีธาตุเหล็กสูงเท่ากับหรือมากกว่าพันธุ์แม่ระหว่าง 12.5 - 18.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้ทั้งหมด 18 ต้นเป็นตัวแทนสายพันธุ์คัดเลือกต่อในชั่วที่ 5

**การคัดเลือกลูกผสมชั่วที่ 5**

*ลักษณะทางพืชไร่*

จำนวนวันออกดอกของลูกผสมชั่วที่ 5 มีค่าระหว่าง 63 - 107 วัน (ออกดอกระหว่างวันที่ 14 - 17 ตุลาคม 2561) เฉลี่ยเท่ากับ 81.0 วัน ซึ่งอยู่ในช่วงของพันธุ์พ่อแม่ที่มีวันออกดอกเฉลี่ยเท่ากับ 108 และ 66 วัน ตามลำดับ (Figure 4a) ส่วนความสูงต้นพันธุ์พ่อและแม่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.0 และ 70.3 เซนติเมตร ตามลำดับ ลูกผสมชั่วที่ 5 มีความสูงเฉลี่ย 83.1 เซนติเมตร ซึ่งพบการกระจายตัวอยู่นอกเหนือขอบเขตพันธุ์พ่อแม่ มีค่าระหว่าง 54 - 148 เซนติเมตร (Figure 4b) ในขณะที่ผลผลิตเฉลี่ยต่อต้นของลูกผสมชั่วที่ 5 มีค่าเท่ากับ 22.3 กรัมต่อต้น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 5.4 - 48.8 กรัมต่อต้น โดยมีการกระจายตัวนอกเหนือขอบเขตพ่อแม่ มีค่าเฉลี่ย 31.1 และ 14.4 กรัมต่อต้นตามลำดับ (Figure 4c)

*ปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้อง*

จากลูกผสมชั่วที่ 5 ทั้งหมด 54 ต้น พบต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวจำนวน 5 ต้น นำเมล็ดจากต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ 49 ต้น และพันธุ์พ่อแม่ไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องแบบแยกต้น พบว่า มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องระหว่าง 6.9 - 19.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ระหว่างพันธุ์พ่อซึ่งมีค่าระหว่าง 7.3-8.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเฉลี่ย 7.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพันธุ์แม่ซึ่งมีค่าระหว่าง 13.6-14.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ย 14.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ตามลำดับ (Figure 5)

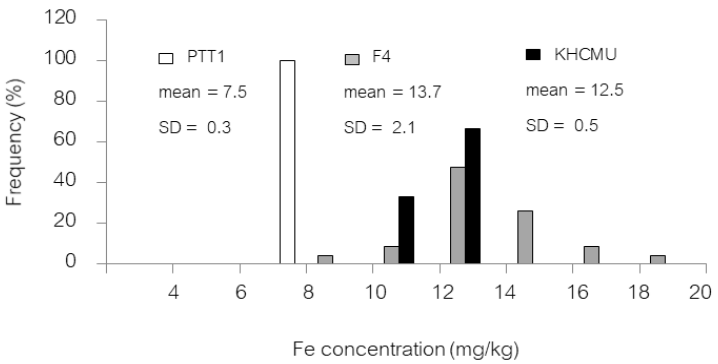


Figure 3. Frequency distribution (%) of grain Fe concentration of selected plants in F4 population and parents (KHCMU and PTT1)

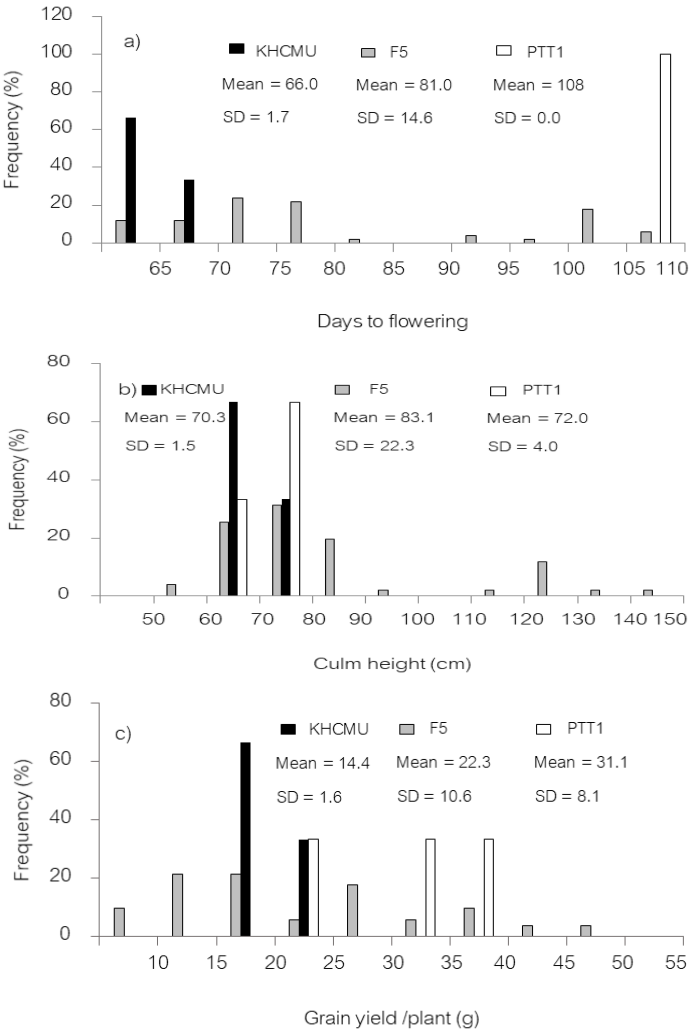


Figure 4. Frequency distribution (%) of agronomic traits of 54 plants in F5 population and parents (KHCMU and PTT1); a) Days to flowering, b) Culm height and c) Grain yield per plant

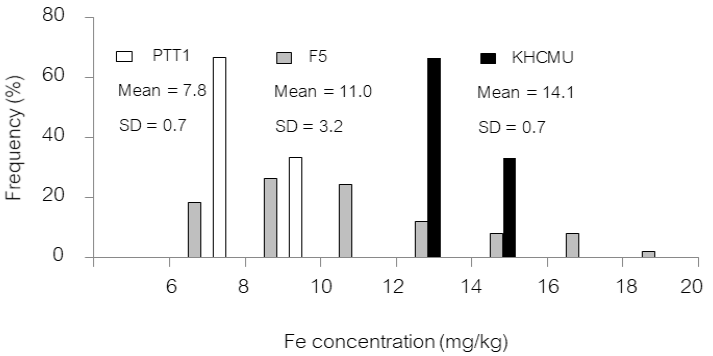


Figure 5. Frequency distribution (%) of grain Fe concentration individually from 17 lines of F5 populations, 49 plants and parents (KHCMU and PTT1)

**การกระจายตัวระหว่างปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องและผลผลิต**

ในลูกผสมชั่วที่ 4 พบความสัมพันธ์แบบผกผัน (r = -0.589***, *P* < 0.001) ระหว่างปริมาณธาตุเหล็กกับผลผลิตต่อต้นภายในประชากรที่คัดเลือก ลูกผสมส่วนใหญ่ที่ให้ธาตุเหล็กสูงมีผลผลิตต่ำใกล้เคียงพันธุ์แม่ ส่วนที่เหลือกระจายตัวระหว่างพันธุ์พ่อแม่ค่อนไปทางพันธุ์แม่

ผลที่ได้สอดคล้องกับงานทดลองของ Khodruankeaw *et al*. (2020) ที่รายงานว่าลูกผสมมีการกระจายตัวในทางลบระหว่างปริมาณธาตุเหล็กกับผลผลิต อย่างไรก็ตาม Khodruankeaw *et al*. (2020) พบว่า มีการกระจายตัวของบางต้นที่ให้ผลผลิตสูงและมีค่าเหล็กสูงจึงทำให้มีโอกาสคัดเลือกทั้งสองลักษณะไปพร้อมกันได้ ในชั่วนี้พบต้นที่มีธาตุเหล็กต่ำกว่าพันธุ์แม่ 5 ต้น ที่เหลือมีค่าเหล็กระหว่าง 12.5 - 18.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และผลผลิตระหว่าง 7.1 - 50 กรัมต่อต้น ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าพันธุ์แม่หรือระหว่างพ่อแม่ (Figure 6a) จึงคัดเลือกต้นที่เหลือทั้ง 18 ต้น ปลูกในชั่วถัดไป โดยคาดว่ามีโอกาสพบต้นที่ กระจายตัวให้ลูกที่มีธาตุเหล็กและผลผลิตสูง

ในชั่วที่ 5 ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดกับผลผลิต พบ 13 ต้น มีปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าหรือเท่ากับพันธุ์แม่ มีผลผลิตระหว่าง 56.4 - 47.2 กรัมต่อต้น สามารถคัดเลือกลูกผสมได้ทั้งหมด 6 ต้น มีค่าผลผลิตสูงกว่าค่าเฉลี่ยประชากร อยู่ด้านมุมขวาบนของภาพ (Figure 6b) ทุกต้นมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ เป็นชนิดข้าวเจ้าจำนวน 3 ต้น และข้าวเหนียวจำนวน 3 ต้น ส่วนใหญ่มีอายุออกดอกอยู่ระหว่างพันธุ์พ่อแม่ คือ 76 - 103 วัน โดยพันธุ์พ่อแม่ออกดอก 108 และ 66 วัน ตามลำดับ และพบ 1 พันธุ์ออกดอกเร็วกว่าพันธุ์แม่ คือ 63 วัน

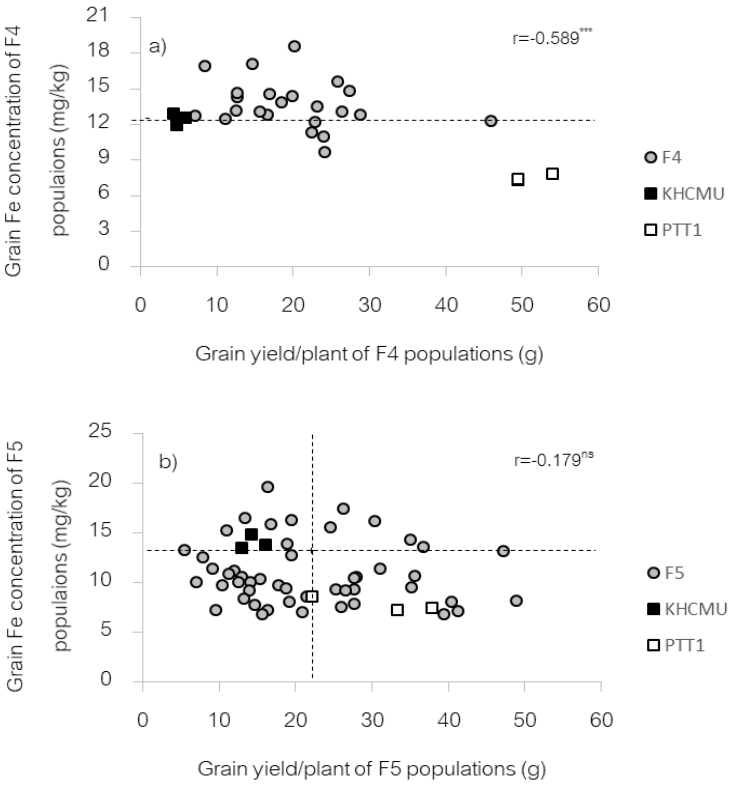


Figure 6. Distribution between grain Fe concentration and grain yield/plant from a) F4 and b) F5 generations and parents (KHCMU and PTT1)

สำหรับความสูงต้น พันธุ์พ่อแม่มีความสูงต้น 72 และ 70 เซนติเมตร ตามลำดับ ลูกผสมต้นที่คัดเลือกพบการกระจายตัวอยู่นอกเหนือขอบเขตพันธุ์พ่อแม่ มีค่าระหว่าง 54 - 124 เซนติเมตร ในขณะที่จำนวนรวงต่อต้นของต้นที่คัดเลือกมีค่าอยู่ระหว่าง 9 - 21 รวง พันธุ์พ่อและแม่ มีค่า 15 และ 9 รวงต่อต้น พบ 2 สายพันธุ์มีจำนวนรวงมากกว่าพันธุ์พ่อและแม่ โดยต้นที่คัดเลือกมีปริมาณธาตุเหล็กระหว่าง 13.3 - 17.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าปริมาณธาตุเหล็กที่พบในพันธุ์พ่อปทุมธานี 170 - 224 % และมีผลผลิตต่อต้นอยู่ระหว่าง 24.6 - 47.2 กรัมต่อต้น สูงกว่าผลผลิตของพันธุ์แม่ก่ำหอม มช. 171 - 328 % (Table 1)

การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีการคัดเลือกโดยวิเคราะห์ธาตุเหล็กในเมล็ดแบบรวมคัดกรองในช่วงแรกตามด้วยคัดเลือกต้นเดี่ยว ปริมาณธาตุเหล็กและผลผลิตของต้นเดี่ยวคัดเลือกในชั่วที่ 5 พบว่า มีการตอบสนองต่อการคัดเลือกเพื่อลักษณะเมล็ดสีดำ ซึ่งพบว่าสายพันธุ์ส่วนใหญ่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำทุกต้น แต่อย่างไรก็ตามยังคงพบสายพันธุ์ที่มีการกระจายตัวให้สีขาวทุกต้นและต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวผสมต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำอยู่ โดยเมื่อนำต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำจากชั่วที่ 4 มาปลูกและคัดเลือกในชั่วที่ 5 จำนวนสายพันธุ์ละ 3 ต้น รวม 54 ต้น พบต้นที่มีเมล็ดสีดำจำนวน 49 ต้น และเป็นสีขาวจำนวน 5 ต้น สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Wongput (2019) คัดเลือกลูกผสมระหว่างข้าวก่ำดอยสะเก็ดและปทุมธานี 1 โดยนำต้นที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำในชั่วที่ 4 มาปลูกคัดเลือกในชั่วที่ 5 พบสายพันธุ์ที่ให้เยื่อหุ้มเมล็ดสีดำทุกต้นสูงถึง 54 สายพันธุ์จากทั้งหมด 64 สายพันธุ์ และ 2 สายพันธุ์มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวทุกต้น ส่วนที่เหลือ 8 สายพันธุ์พบการกระจายตัวของสีเยื่อหุ้มเมล็ด โดย Somboon *et al.* (2017) ได้ศึกษาสีเยื่อหุ้มเมล็ดในลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวดำกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 พบว่า สีเยื่อหุ้มเมล็ดถูกควบคุมด้วยยีน 2 คู่และมีการแสดงออกแบบ epistasis การคัดเลือก

Table 1. Grain characteristics, agronomical characteristics and Fe concentration of 6 selected plants in F5 population and parents (PTT1 and KHCMU)

| Parent/ Selection | Pericarp color | Endosperm type | Days to flowering | Culm height (cm) | Number of panicles/ plant | Fe concentration (mg/kg) | Grain yield (g/plant) | Fe concentration | | Grain yield | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | % of KHCMU | % of PTT1 | % of KHCMU | % of PTT1 |
| KHCMU | Black | glutinous | 66 (1.7)[a] | 70 (1.5) | 9 (1.7) | 14.1 (0.7) | 14.4 (1.6) | 100 | 181 | 100 | 41 |
| PTT1 | White | Non-glutinous | 108 (0) | 72 (4) | 15 (1.5) | 7.8 (0.7) | 34.8 (8.1) | 55 | 100 | 242 | 100 |
| 19-3-2 | Black | Non-glutinous | 77 | 73 | 21 | 17.5 | 26.2 | 124 | 224 | 182 | 75 |
| 11-3-1 | Black | Non-glutinous | 103 | 124 | 9 | 16.2 | 30.3 | 115 | 208 | 210 | 87 |
| 19-3-1 | Black | glutinous | 76 | 63 | 13 | 15.6 | 24.6 | 111 | 200 | 171 | 71 |
| 17-1-2 | Black | glutinous | 79 | 54 | 14 | 14.3 | 35.0 | 101 | 183 | 243 | 101 |
| 3-1-1 | Black | Non-glutinous | 63 | 85 | 12 | 13.6 | 36.7 | 97 | 175 | 255 | 105 |
| 17-1-1 | Black | glutinous | 76 | 75 | 18 | 13.3 | 47.2 | 94 | 170 | 328 | 136 |
| | | Mean | 79.0 | 79.0 | 14.5 | 15.1 | 33.3 | 107.0 | 193.3 | 231.5 | 95.8 |
| | | SD | 13.1 | 24.5 | 4.3 | 1.6 | 8.3 | 11.6 | 20.9 | 57.6 | 23.9 |

[a] Mean and standard deviation from 3 plants

แบบต้นเดี่ยวในลักษณะนี้จึงมีประสิทธิภาพสูงสามารถคัดได้ตั้งแต่ในชั่วต้น ๆ เนื่องจากถูกควบคุมด้วยยีนน้อยคู่ ส่วนปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องเป็นลักษณะทางปริมาณ (quantitative trait) ถูกควบคุมด้วยยีนจำนวนมาก (polygene) การแสดงออกของฟีโนไทป์ (phenotype) จึงมีความแปรปรวนมาก ซึ่งความแปรปรวนที่เกิดขึ้นนี้ไม่ได้เกิดจากจีโนไทป์ (genotype) เพียงอย่างเดียวแต่มีสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย (Kearsey and Pooni, 1996) แต่จากการทดสอบธาตุเหล็ก ในเมล็ดข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุงของ Gregorio *et al*. (2000) โดยใช้พันธุ์พื้นเมืองที่มีปริมาณธาตุเหล็กสูงจำนวน 4 พันธุ์ และพันธุ์ปรับปรุงจำนวน 3 พันธุ์ เมื่อปลูกทดสอบในลูกผสมชั่วที่ 1 พบว่า มีความแตกต่างของปริมาณธาตุเหล็กในแต่ละคู่ผสมทั้งพันธุ์พ่อแม่และลูกผสมชั่วที่ 1 แสดงว่าพันธุกรรมมีผลต่อปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดมากกว่าในสภาพแวดล้อม เช่นเดียวกับ Karladee (2002) พบว่า ปัจจัยหลักที่เป็นตัวกำหนดความแปรปรวนของลักษณะปรากฏ (phenotypic variation) ของลักษณะปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้อง คือความแปรปรวนที่เกิดจากพันธุกรรม (genotypic variation) ซึ่งการแสดงออกของปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องถูกควบคุมโดยยีนแบบข่มไม่สมบูรณ์ (partially dominant) จนถึงข่มแบบสมบูรณ์ (complete dominant) ขึ้นอยู่กับการรวมตัวกันของคู่ผสม (Jaksomsak, 2007) การคัดเลือกลูกผสมเพื่อปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องสูงจึงมีความสำคัญในการสร้างแหล่งพันธุกรรมที่สำคัญในการพัฒนาข้าวสายพันธุ์ใหม่ที่มีผลผลิตและปริมาณธาตุเหล็กสูงได้ในอนาคต

สำหรับปริมาณธาตุเหล็กและผลผลิตพบการกระจายตัวของลูกผสมในขอบเขตกว้างโดยเฉพาะชั่วที่ 4 พบความสัมพันธ์ในทางลบและไม่พบความสัมพันธ์ในชั่วที่ 5 อย่างไรก็ตามพบการกระจายตัวของลูกผสมชั่วที่ 5 ที่ให้ผลผลิตและธาตุเหล็กในเมล็ดสูง แสดงว่ามีความเป็นไปได้ที่จะปรับปรุงพันธุ์ข้าวก่ำที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดสูงและมีผลผลิตสูงร่วมด้วย ศูนย์วิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) ได้คัดเลือกลูกผสมระหว่างพันธุ์ข้าวผลผลิตสูงสมัยใหม่ IR72 กับข้าวพื้นเมืองธาตุเหล็กสูงของอินเดีย (Zawa Bonday) ได้สายพันธุ์ธาตุเหล็กสูง IR68144-3B-2-2-3 แต่พบว่า มีผลผลิตน้อยกว่า IR72 ประมาณ 10% (Gregorio *et al*., 2000) จากงานทดลองนี้พบต้นข้าวที่คัดเลือกในลูกผสมชั่วที่ 5 บางต้นมีปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าพันธุ์แม่ (19 - 3 - 2) หรือมีผลผลิตสูงกว่าพันธุ์พ่อ (17 – 1 - 1) (Table 1) ซึ่งเกิดจากมีการกระจายตัวของผลผลิตและธาตุเหล็กนอกเหนือขอบเขตของพันธุ์พ่อแม่ในลูกผสมชั่วที่ 4 และ 5 เช่นเดียวกับที่พบในชั่วที่ 2 ในคู่เดียวกัน (Khodruankeaw *et al*., 2020) โดยต้นที่คัดเลือกไว้จะได้นำไปปลูกเพื่อยืนยันผลและคัดเลือกในชั่วต่อไป

## สรุป

การศึกษาในครั้งนี้ได้แสดงผลการคัดเลือกข้าวลูกผสมระหว่างข้าวพันธุ์ก่ำหอม มช. และ ปทุมธานี 1 เพื่อลักษณะปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดสูง มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำ และให้ผลผลิตสูง โดยได้ประเมินลักษณะทางพืชไร่ ลักษณะสีเยื่อหุ้มเมล็ด และปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องในชั่วที่ 4 และ 5 พบการกระจายตัวทั้งระหว่างสายพันธุ์และภายในสายพันธุ์ในลักษณะทางสัณฐานทางพืชไร่ และปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้อง สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องและผลผลิตในชั่วที่ 4 พบว่า มีความสัมพันธ์แบบผกผัน ส่วนในชั่วที่ 5 ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องและผลผลิต อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาในชั่วที่ 4 สามารถคัดเลือกลูกผสมโดยใช้สีเยื่อหุ้มเมล็ดและปริมาณธาตุเหล็กในชั่วที่ 4 ได้จำนวน 18 ต้น และสามารถคัดเลือกลูกผสมในชั่วที่ 5 ที่มีลักษณะตรงตามวัตถุประสงค์ได้ทั้งหมด 6 ต้น มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องระหว่าง 13.3 - 17.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบต้นที่มีค่าสูงกว่าพันธุ์พ่อปทุมธานี 170 - 224 % มีผลผลิตอยู่ระหว่าง 24.6 - 47.2 กรัมต่อต้น ซึ่งทุกสายพันธุ์มีผลผลิตมากกว่าพันธุ์แม่ก่ำหอม มช. 171 - 328 % และมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำตรงตามวัตถุประสงค์

## เอกสารอ้างอิง

Graham, R.D., R.M. Welch and H.E. Bouis. 2001. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: Principles, perspectives and knowledge gaps. Advances in Agronomy 70: 77-142.

Gregorio, G.B., D. Senadhira, H. Htut and R.D. Graham. 2000. Breeding for trace mineral density in rice. Food and Nutrition Bulletin 21(4): 382-386.

Jaksomsak, P. 2007. Genetic control of iron content in rice grain. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 93 p. (in Thai)

Karladee, D. 2002. Behavior of gene controlling iron accumulation in $F_1$ rice seed. Journal of Agriculture 18(2): 119-123. (in Thai)

Kearsey, M.J. and H.S. Pooni. 1996. The Genetical Analysis of Quantitative Traits. 1st ed. Chapman and Hall, London. 396 p.

Khodruankeaw, T., C.T. Prom-u-thai., T. Pusadee and S. Jamjod. 2020. Evaluation of progeny population between upland rice KumHomMorChor and photoperiod insensitive rice varieties. Khon Kaen Agriculture Journal 48(3): 535-546. (in Thai)

Mackill, D.J. 1995. Classifying japonica rice cultivars with RAPD markers. Crop Science 35(3): 889-894.

Oka, H. 1974. Analysis of genes controlling $F_1$ sterility in rice by the use of isogenic lines. Genetics 77(3): 521-534.

Prom-u-thai, C. 2003. Iron (Fe) in rice grain. Ph.D. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 227 p.

Sawangwongsin, S. 1998. The application of protection motivation theory and group process for iron deficiency anemia prevention behaviors among pregnant women attending natal care service at Pranungklao Hospital in Nonthaburi province. M.S. Thesis. Mahidol University, Bangkok. 196 p. (in Thai)

Somboon, P., C.T. Prom-u-thai., T. Pusadee and S. Jamjod. 2017. Gene segregation for anthocyanin contents in $F_2$ population between purple glutinous rice from highland and Pathum Thani 1 grown at lowland and highland locations. Journal of Agriculture 33(3): 323-332. (in Thai)

Wanachiwanawin, W. 2016. Look for risk factors to diagnose iron deficiency anemia. Journal of Hematology and Transfusion Medicine 26(1): 7-8. (in Thai)

Wongput, C. 2019. Selection of purple rice lines for photoperiod insensitivity during $F_4$ to $F_6$ generations between Kum Doi Saket and Pathum Thani 1. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 64 p. (in Thai)

Zarcinas, B.A., B. Cartwright and L.R. Spouncer. 1987. Nitric acid digestion and multi-element analysis of plant material by inductively coupled plasma spectrometry. Communications in Soil Science and Plant Analysis 18(1): 131-146.

# การเกิดความต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่มในประชากรหญ้าแดงต้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าว

# Occurrence of Herbicide Multiple-Resistance in Wrinkle Duck-beak (*Ischaemum rugosum* Salisb.) Population Resistant to Pyribenzoxim in Paddy Fields

**กนกวรรณ ดาราหมาน จำเนียร ชมภู และ ทศพล พรพรหม***

Kanokwan Daramarn, Jamnian Chompoo and Tosapon Pornprom*

*ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140*

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

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

*(Received: 10 October 2021; Accepted: 30 December 2021)*

**Abstract:** Wrinkle duck-beak is a common weed of paddy fields, which is most often controlled by pyribenzoxim, acetolactate synthase (ALS) inhibitors. Currently, failures in controlling this weed have been reported by farmers in Krachan sub-district, U-Thong district, Suphan Buri, after several years of successful control. This study was conducted to determine whether wrinkle duck-beak populations have developed resistance to pyribenzoxim. Weed seeds were collected from farmer's fields to determine the physiological response to pyribenzoxim under greenhouse conditions. Both the resistant and susceptible wrinkle duck-beak biotypes were investigated for $I_{50}$ based on its visual injury and $GR_{50}$ based on plant height and fresh weight at 3, 7, 14 and 21 days after application. The resistance index of the resistant wrinkle duck-beak was 31.43 - 62.36 folds higher than that of the susceptible biotype. Additionally, multiple-resistance of pyribenzoxim-resistant wrinkle duck-beak for alternative management strategies using across mode of action of herbicides were studied. The results indicate that the alternative herbicides used to control pyribenzoxim-resistant wrinkle duck-beak were controlled by profoxydim (Inhibitors of ACCase) and propanil (Inhibitors of photosynthesis at PS II) at the recommended rate for each herbicide. The results suggest that farmers should rotate profoxydim and propanil, which is a different herbicide site of action, to control and reduce the probability of pyribenzoxim-resistant wrinkle duck-beak in paddy fields.

**Keywords:** ALS-Inhibitors, multiple-resistance, pyribenzoxim, wrinkle duck-beak

**บทคัดย่อ**: หญ้าแดงเป็นวัชพืชที่พบทั่วไปในนาข้าว ส่วนใหญ่ถูกควบคุมโดยการใช้สารไพริเบนโซซิม ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetolactate synthase (ALS) ในปัจจุบันเกษตรกรหลายรายในพื้นที่ ตำบลกระจัน อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี เริ่มสังเกตเห็นว่าการใช้สารไพริเบนโซซิมไม่สามารถควบคุมหญ้าแดงได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งก่อนหน้านี้มีประสิทธิภาพในการควบคุมได้ดี การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ให้แน่ชัดว่าหญ้าแดงมีการพัฒนาความต้านทานต่อสารสารไพริเบนโซซิม จริงหรือไม่ เก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าแดงจากแปลงเกษตรกรที่มีปัญหาเนื่องจากการใช้สารไพริเบนโซซิม เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าแดงที่มีต่อสารไพริเบนโซซิมในสภาพเรือนทดลอง เมื่อพิจารณาค่า $I_{50}$ จากความเป็นพิษ และค่า $GR_{50}$ จากความสูงและน้ำหนักสดของหญ้าแดงทั้งสองไบโอไทป์ ที่ 3, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า ไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีของความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์ที่อ่อนแอมากถึง 31.43 - 62.36 เท่า จากนั้น ศึกษาความต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่มของหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานไปยังสารในกลุ่มอื่นๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน พบว่า สาร profoxydim (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) และ propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในระบบแสง II) มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารไพริเบนโซซิมได้ตามอัตราแนะนำของสารในแต่ละชนิด จากข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้ เกษตรกรควรจะหมุนเวียนการใช้สาร profoxydim และ propanil ซึ่งมีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน เพื่อควบคุมและลดจำนวนประชากรของหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าวต่อไป

**คำสำคัญ**: สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ความต้านทานสารหลายกลุ่ม สารไพริเบนโซซิม หญ้าแดง

## คำนำ

จากข้อมูลการสำรวจเกี่ยวกับวัชพืชต้านทานสารของประเทศสหรัฐอเมริกา Heap (2021) ได้รายงานว่า มีการระบาดของวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชทั่วโลก จำนวน 266 ชนิด (พวกใบกว้าง จำนวน 153 ชนิด และพวกวงศ์หญ้า จำนวน 113 ชนิด) ซึ่งวัชพืชได้มีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารขึ้นมาในตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชมากถึง 21 ตำแหน่ง จาก 31 ตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืช มีการแพร่กระจายในพืชปลูก 95 ชนิด ในสภาพพื้นที่ทางการเกษตรมากกว่า 71 ประเทศทั่วโลก พบว่า หญ้า *Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fernald เกิดความต้านทานต่อสาร pyribenzoxim ในประเทศจีน (Wang *et al.,* 2018) และมีรายงานว่า หญ้า *Descurainia sophia* (L.) เกิดควานต้านทานต่อสาร tribenuron-methyl สามารถเกิดความต้านทานข้ามต่อสาร halosulfuron-methyl, flumetsulam, imazethapyr และ pyribenzoxim (Deng *et al.,* 2016) เช่นเดียวกับหญ้า *Lolium perenne* เกิดความต้านทานต่อสาร imazamox และ mesosulfuron สามารถเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร pinoxaden (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetyl CoA carboxylase หรือ ACCase) (Tehranchiar *et al.,* 2019) เป็นต้น สำหรับสถานการณ์การเกิดวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชในประเทศไทยนั้น ได้มีรายงานการระบาดของหญ้าดอกขาว (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees) ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase (Maneechote *et al.,* 2005) เช่นเดียวกัน Pornprom *et al.* (2006) รายงานว่า หญ้าดอกขาวต้านทานสาร fenoxaprop-P-ethyl ในนาข้าวบางพื้นที่ ในเขตสะพานสูง กรุงเทพฯ จากนั้น ได้มีรายงานว่า หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.) ต้านทานสาร bispyribac-sodium ในบางพื้นที่ของ อำเภอบางปะหัน และ อำเภอนครหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (Posawat *et al.,* 2015) ต่อมา ได้มีรายงานว่า หญ้าแดง (*Ischaemum rugosum* Salisb.) ต้านทานสาร bispyribac-sodium ในข้าวนาหว่านน้ำตม ในบางพื้นที่ของ อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี และอำเภอสามโก้ จังหวัดอ่างทอง (Montatip *et al.,*

2017) และกกหนวดปลาดุก (*Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl) ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าวบางพื้นที่ของ อำเภอบางปลาม้า จังหวัดสุพรรณบุรี และ อำเภอสรรคบุรี จังหวัด ชัยนาท (Phinyosak *et al*., 2017) เป็นต้น จะสังเกตได้ว่าการเกิดวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืช ส่วนใหญ่มักจะพบในเขตพื้นที่ภาคกลางและในเขตจังหวัดภาคเหนือตอนล่างของประเทศ ในปัจจุบันนี้ได้มีการทำนาข้าวแบบหว่านน้ำตมกันอย่างแพร่หลาย วัชพืชเป็นปัญหาหลักที่สำคัญในนาข้าว เกษตรกรยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้สารกำจัดวัชพืชในการควบคุมวัชพืช อย่างไรก็ตาม การใช้สารดังกล่าวนี้ติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้มีวิวัฒนาการเกิดเป็นวัชพืชต้านทานสาร และสามารถถ่ายทอดลักษณะที่ต้านทานไปยังเมล็ดและส่วนที่ใช้ขยายพันธุ์ได้ จึงมีการแพร่ระบาดของวัชพืชต้านทานสารอย่างรุนแรงในนาข้าว ซึ่งต้องหาแนวทางในการควบคุมและจัดการวัชพืชต้านทานสาร เพื่อช่วยลดและป้องกันการแพร่ระบาดของประชากรวัชพืชที่ต้านทานสารในนาข้าวต่อไป

หญ้าแดงเป็นวัชพืชที่พบทั่วไปและเป็นปัญหาในนาข้าว อายุปีเดียว ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ชอบขึ้นในพื้นที่แห้งชื้น มักพบในสภาพที่มีน้ำท่วมขัง และมีการแพร่ระบาดอย่างกว้างขวาง ออกดอกตลอดปี ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว ทำให้ได้รับความเสียหายมากถึง 70 - 80 % (Barkworth, 2020) เกษตรกรนิยมนำสารกำจัดวัชพืชมาใช้ในการควบคุมหญ้าแดงในนาข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เช่น bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ penoxsulam เป็นต้น โดยพ่นสารที่ระยะ 7 - 15 วันหลังหว่านข้าว ในช่วง 2 - 3 ปีที่ผ่านมา เกษตรกรหลายรายในเขตพื้นที่ ตำบลกระจัน อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ได้รายงานว่า มีการระบาดอย่างรุนแรงของหญ้าแดงในนาข้าว การใช้สาร pyribenzoxim มีประสิทธิภาพในการควบคุมประชากรหญ้าแดงลดลง ซึ่งก่อนหน้านี้หลายปี การใช้สารชนิดนี้ มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าแดงได้ดี (Montatip *et al.,* 2017; Sookgul *et al.,* 2017) ดังนั้น การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประชากรของหญ้าแดงมีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานต่อสาร pyribenzoxim ในนาข้าวหรือไม่ และพิสูจน์ให้แน่ชัดว่าประชากรของหญ้าแดงที่ต้านทานสาร pyribenzoxim อาจจะเกิดความต้านทานไปยังสารกำจัดวัชพืชกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งของสารภายในพืชที่แตกต่างกัน ที่นิยมนำมาใช้สำหรับการควบคุมหญ้าแดงในนาข้าว ผลการวิจัยในครั้งนี้ สามารถเป็นแนวทางให้เกษตรกรสามารถเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชได้หลายกลุ่มที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งของสารภายในพืชที่แตกต่างกัน โดยมีการสลับหมุนเวียนการใช้สาร เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมและกำจัดหญ้าแดงที่ต้านทานสารไพริเบนโซซิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่เป็นพิษต่อพืชปลูก (ข้าว) และประหยัดต้นทุน สำหรับการทำนาข้าวแบบหว่านน้ำตมต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมหญ้าแดง

เก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าแดงที่สุกแก่ทางสรีรวิทยาจำนวน 20 แหล่ง ในพื้นที่ ตำบลกระจัน อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า พื้นที่จำนวน 17 แหล่ง เกิดปัญหาหญ้าแดงมีการพัฒนาความต้านทานสาร pyribenzoxim เรียกว่า ไบโอไทป์ต้านทานสาร (resistant-biotype) ในขณะที่พื้นที่อีก 3 แหล่ง ไม่พบปัญหาหญ้าแดงต้านทานสาร pyribenzoxim เรียกว่า ไบโอไทป์ที่อ่อนแอ (susceptible-biotype)

### การทดลองที่ 1 การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าแดงที่มีต่อสาร pyribenzoxim

นำเมล็ดหญ้าแดงทั้งไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสารประมาณ 30 เมล็ด เพาะลงในกระถางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว ที่มีดินร่วนเป็นวัสดุปลูก รดน้ำให้ชุ่มทุกวัน วันละ 1 ครั้ง เก็บไว้ในสภาพเรือนทดลอง จนกระทั่งต้นกล้าของ

หญ้าแดงมีอายุ 10 วันหลังงอก (หรือวัชพืชมีใบจริง 2 - 4 ใบ) และถอนแยกให้เหลือ 20 ต้นต่อกระถาง วางแผนการทดลองแบบ split-plot design in CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยที่ปัจจัยหลัก คือ อัตราการใช้สาร pyribenzoxim จำนวน 6 อัตรา ได้แก่ 0, 15.63, 31.25, 62.50, 125 และ 250 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ (อัตราแนะนำ คือ 31.25 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) ส่วนปัจจัยรอง คือ หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอ และไบโอไทป์ต้านทานสาร จากนั้น พ่นสารกำจัดวัชพืชด้วยถังพ่นสารแบบสูบโยกสะพายหลังที่สามารถควบคุมแรงดันได้ ขนาดความจุ 15 ลิตร ใช้หัวฉีดรูปพัด (flat fan type) ใช้น้ำอัตรา 80 ลิตรต่อไร่ พ่นสารในอัตราที่กำหนดไว้ โดยมีหญ้าแดงที่ไม่ได้พ่นสารกำจัดวัชพืชเป็นตัวเปรียบเทียบความต้านทาน (ชุดควบคุม)

การบันทึกข้อมูล เปอร์เซ็นต์ของระดับความเป็นพิษของสารที่พืชได้รับ ที่ 3, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร ทำการประเมินด้วยระดับสายตา โดยให้คะแนนเป็นเปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยที่ 0 หมายถึง ไม่เป็นพิษต่อพืช และ 100 หมายถึง พืชตาย (Burrill *et al.,* 1976) วัดความสูง (หน่วยเป็น เซนติเมตร) และชั่งน้ำหนักสด (หน่วยเป็น กรัม) ของหญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสารเฉลี่ยจากจำนวน 5 ต้นต่อกระถาง ที่ 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร จากนั้นนำข้อมูลการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าแดงที่มีต่อสาร pyribenzoxim วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Fisher's protected least significant difference test (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ด้วยโปรแกรม R version 4.0.2 (Development Core Team, 2020) จากนั้น นำไปพิจารณาค่า $I_{50}$ คือ ปริมาณสารกำจัดวัชพืชที่ทำให้พืชตายไป 50 เปอร์เซ็นต์ของประชากรทั้งหมด และ $GR_{50}$ คือ ปริมาณของสารกำจัดวัชพืชที่ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง 50 % โดยวิธีของ PROC PROBIT ระดับความเชื่อมั่น 99 % ตามโปรแกรม PriProbit program version 1.63 (Sakuma, 1998) และพิจารณาค่าดัชนีของความต้านทานสาร (Resistance index) ตามวิธีของ Valverde *et al.,* (2000) จากสมการ ดังนี้

ดัชนีความต้านทานสาร = $I_{50}$ ของไบโอไทป์ต้านทานสาร/ $I_{50}$ ของไบโอไทป์ที่อ่อนแอ หรือ

ดัชนีความต้านทานสาร = $GR_{50}$ ของไบโอไทป์ต้านทานสาร/ $GR_{50}$ ของไบโอไทป์ที่อ่อนแอ

**การทดลองที่ 2 ความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าแดงไบโอไทป์ที่ต้านทานสาร** pyribenzoxim

นำเมล็ดหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารเพาะลงในกระถางที่เตรียมไว้ในสภาพเรือนทดลองโดยวิธีการเตรียมเมล็ดวัชพืช เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1 วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ เมื่อต้นกล้าของหญ้าแดงมีอายุ 10 วันหลังงอก พ่นสารตามที่กำหนดใน (Table 1) โดยมีหญ้าแดงที่ไม่ได้พ่นสารกำจัดวัชพืชเป็นตัวเปรียบเทียบความต้านทาน (ชุดควบคุม)

Table 1. Multiple - resistance herbicide treatments used during the experiment

| Herbicide | Site of action | a.i. (%) | Dosage (g a.i./ha) | Application timing (DAS) |
|---|---|---|---|---|
| 1. Control | - | - | - | - |
| 2. pyribenzoxim | ALS Inhibitors | 5 % EC | 31.25 | 10 |
| 3. profoxydim | ACCase Inhibitors | 7.5 % EC | 121.88 | 15 |
| 4. clomazone | Carotenoid Inhibitors | 48 % EC | 360 | 7 |
| 5. propanil | PS II Inhibitors | 36 % EC | 2025 | 15 |

a.i. (%) = percent active ingredient, g a.i./ha = grams active ingredient per hectare (1 ha = 6.25 rai)

DAS = days after sowing, EC = emulsifiable concentrate

การบันทึกข้อมูล เปอร์เซ็นต์ของระดับความเป็นพิษที่พืชได้รับ ที่ 5, 10 และ 14 วันหลังจากได้รับสาร ทำการประเมินด้วยระดับสายตา โดยให้ระดับเปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ 0 ถึง 100 วัดความสูง (หน่วยเป็นเซนติเมตร) และชั่งน้ำหนักสด (หน่วยเป็น กรัม) เฉลี่ยจากจำนวน 5 ต้นต่อกระถาง ที่ 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร จากนั้น นำข้อมูลการตอบสนองของหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารที่มีต่อสารในกลุ่มอื่น ๆ ซึ่งมีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Fisher's protected LSD test ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยใช้โปรแกรม R Version 4.0.2 (Development Core Team, 2020)

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### การตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแดงที่มีต่อสาร pyribenzoxim

จากการประเมินระดับความเป็นพิษของหญ้าแดงที่มีต่อสาร pyribenzoxim ที่ 3, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า การใช้สาร pyribenzoxim ในแต่ละอัตรากับหญ้าแดงทั้งสองไบโอไทป์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยหญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอแสดงอาการเป็นพิษ มีการชะงักการเติบโตอย่างรวดเร็วและรุนแรงกว่าไบโอไทป์ต้านทานสาร ซึ่งการใช้สารในอัตราที่สูงขึ้นจะแสดงอาการได้รับพิษมากขึ้น โดยการใช้สารในอัตราแนะนำ 31.25 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีระดับความเป็นพิษ 36.25, 53.75, 58.75 และ 63.75 % ตามลำดับ ในขณะที่ไบโอไทป์ต้านทานสาร แสดงอาการได้รับพิษน้อยกว่า ทำให้มีการชะงักการเติบโตในช่วงแรก แต่การเติบโตมีการฟื้นตัวได้ตามปกติในเวลาต่อมา แม้ได้รับสารในอัตราที่สูงขึ้น ซึ่งหญ้า-แดงไบโอไทป์ต้านทานสาร มีระดับความเป็นพิษ 15, 32.50, 36.25 และ 40 % ตามลำดับ เมื่อได้รับสารในอัตราแนะนำ หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอเมื่อได้รับสารในอัตราที่เพิ่มขึ้น ทำให้ตายได้ ในขณะที่หญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสาร แสดงอาการเป็นพิษ แต่การเติบโตจะมีการฟื้นตัวได้ตามปกติในเวลาต่อมา (Figure 1a-d) เมื่อพิจารณาค่าดัชนีของความต้านทานสารจากอาการที่พืชได้รับพิษทั้งไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสาร ที่ 3, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีค่า $I_{50}$ เท่ากับ 7.77, 7.91, 7.66 และ 6.73 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ และไบโอไทป์ต้านทานสาร มีค่า $I_{50}$ เท่ากับ 477.78, 353.55, 308.89 และ 419.65 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีของความต้านทานสาร 61.49, 44.69, 40.33 และ 62.36 เท่า ตามลำดับ (Table 2)

การตอบสนองด้านความสูง พบว่า การใช้สาร pyribenzoxim ในแต่ละอัตรากับหญ้าแดงทั้งสองไบโอไทป์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยการตอบสนองด้านความสูงลดลงตามอัตราการใช้สารที่สูงขึ้น หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีการตอบสนองด้านความสูงมากกว่าหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสาร โดยที่การใช้สารในอัตราแนะนำ 31.25 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ พบว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีความสูง 10.90, 11.05, 11.78 และ 10.87 เซนติเมตร คิดเป็น 29.31 % ในขณะที่หญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารมีความสูง 28.07, 29.36, 27.41 และ 28.58 เซนติเมตร คิดเป็น 71.14 % ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร ส่วนหญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีความสูง 11.01, 10.44, 9.22 และ 8.89 เซนติเมตร คิดเป็น 24.63 % ในขณะที่หญ้าแดง-ไบโอไทป์ต้านทานสารมีความสูง 30.15, 31.09, 29.81 และ 29.99 เซนติเมตร คิดเป็น 73.00 % ที่ 30 วันหลังจากได้รับสาร เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Figure 2) เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสาร จากค่า $GR_{50}$ ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสาร มีค่า $GR_{50}$ เท่ากับ 9.70 และ 466.31 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 48.07 เท่า เมื่อพิจารณาที่ 30 วันหลังจากได้รับ

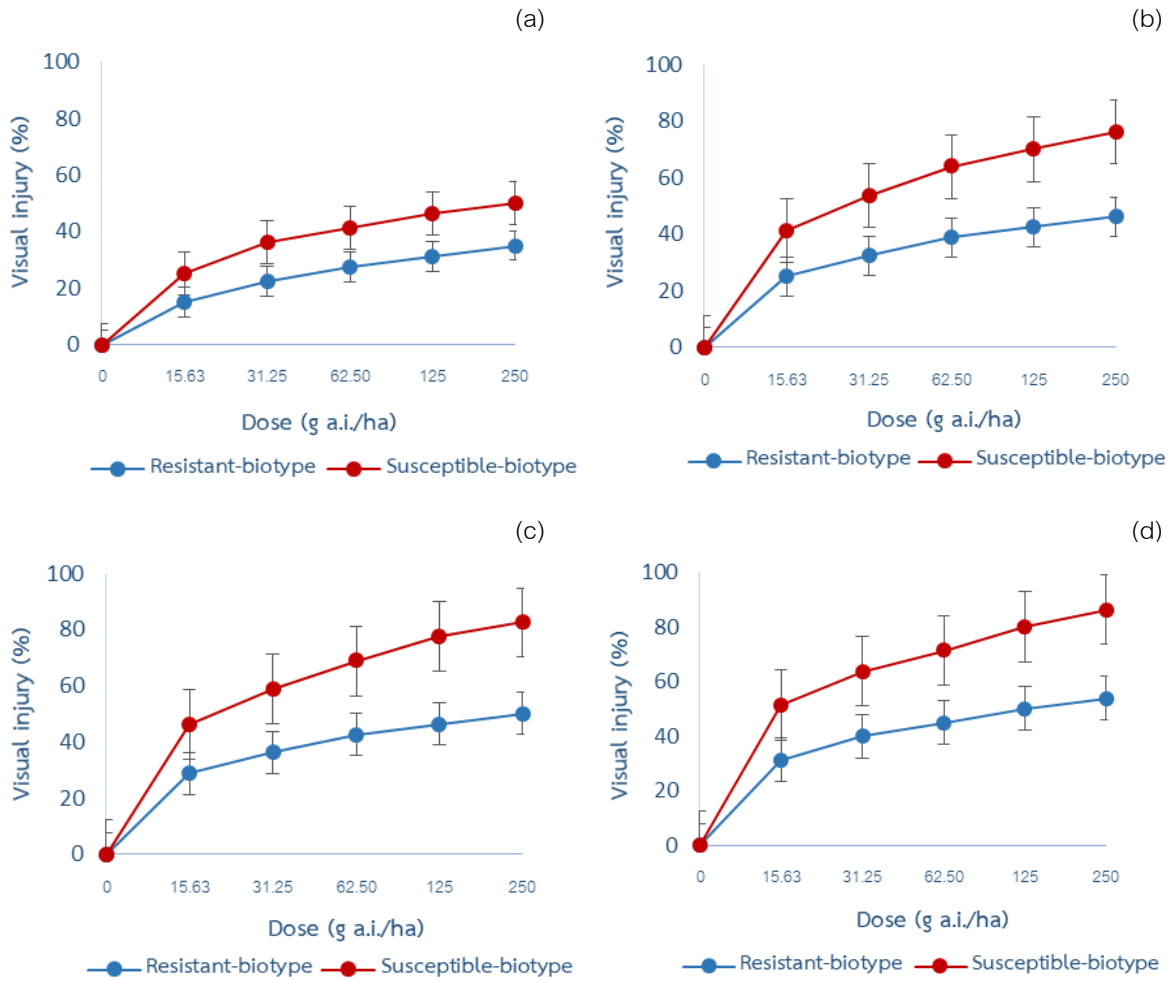


Figure 1. Visual injury of pyribenzoxim on susceptible and resistant-biotype at 3 (a), 7 (b), 14 (c) and 21 day after application (d). Vertical bars represent the mean ± standard error (n = 20).

Table 2. Resistance levels of pyribenzoxim in wrinkle duck-beak populations at U-Thong district, Suphanburi

| Wrinkle duck-beak biotypes | Visual injury ($I_{50}$) | | | | Plant height ($GR_{50}$) | | Fresh weight ($GR_{50}$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 DAA | 7 DAA | 14 DAA | 21 DAA | 21 DAA | 30 DAA | 21 DAA | 30 DAA |
| S-biotype | 7.77 | 7.91 | 7.66 | 6.73 | 9.70 | 7.80 | 4.02 | 2.60 |
| R-biotype | 477.78 | 353.55 | 308.89 | 419.65 | 466.31 | 391.67 | 126.33 | 94.75 |
| Resistance index | 61.49 | 44.69 | 40.33 | 62.36 | 48.07 | 50.21 | 31.43 | 36.44 |

$I_{50}$ = The herbicides rate required to cause 50 % injury

$GR_{50}$ = The herbicides rate to reduce plant growth by 50% relative to untreated control

DAA = Day after application

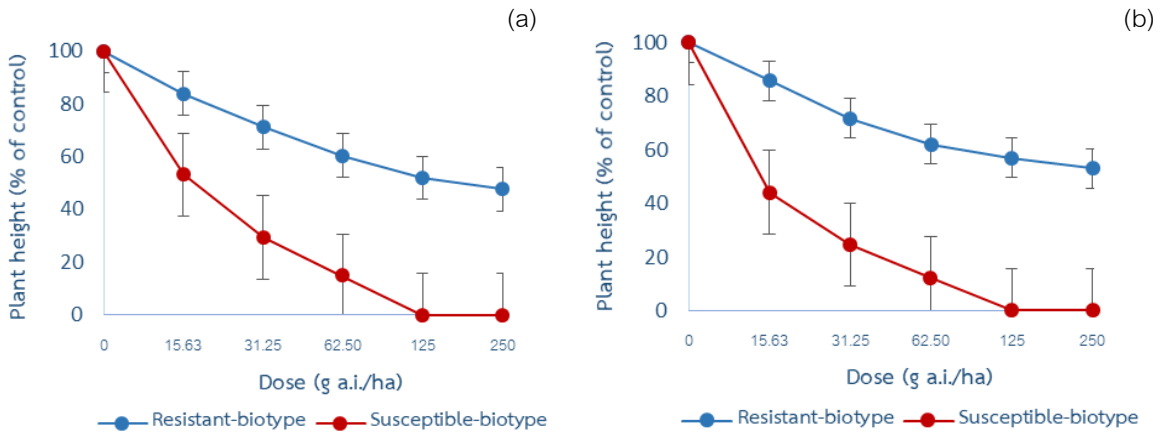


Figure 2. Effect of pyribenzoxim on plant height on susceptible and resistant-biotype at 21 day after application (DAA) (a) and 30 DAA (b). Vertical bars represent the mean ± standard error (n =

สารหญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสาร มีค่า $GR_{50}$ เท่ากับ 7.80 และ 391.67 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 50.21 เท่า (Table 2) สอดคล้องกับ หญ้าข้าวนกต้านทานต่อสาร penoxsulam ซึ่งมีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชเช่นเดียวกับสาร pyribenzoxim พบว่า ไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีการเจริญเติบโตด้านความสูงน้อยกว่าไบโอไทป์ ต้านทานสาร (Ioannis *et al.*, 2018)

การตอบสนองของด้านน้ำหนักสด พบว่าการใช้สาร pyribenzoxim ในแต่ละอัตรากับหญ้าแดงทั้งสองไบโอไทป์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยน้ำหนักสดลดลงตามอัตราการใช้สารที่สูงขึ้น หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีการตอบสนองด้านน้ำหนักสดมากกว่าหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสาร โดยที่การใช้สารในอัตราแนะนำ 31.25 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ พบว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีน้ำหนักสด 1.19, 1.80, 0.70 และ 0.68 กรัม คิดเป็น 8.96 % ในขณะที่หญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารมีน้ำหนักสด 7.72, 5.72, 4.65 และ 6.71 กรัม คิดเป็น 44.54 % ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร ส่วนหญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีน้ำหนักสด 0.57, 0.42, 1.42 และ 0.51 กรัม คิดเป็น 4.35 % ในขณะที่หญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารมีน้ำหนักสด 7.89, 9.92, 8.94 และ 8.99 กรัม คิดเป็น 51.06 % ที่ 30 วันหลังจากได้รับสาร เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Figure 3) เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสาร ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่าหญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสาร มีค่า $GR_{50}$ เท่ากับ 4.02 และ 126.33 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 31.43 เท่า เมื่อพิจารณาที่ 30 วันหลังจากได้รับสาร หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสาร มีค่า $GR_{50}$ เท่ากับ 2.60 และ 94.75 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 36.44 เท่า (Table 2) โดยสอดคล้องกับการศึกษาการสะสมน้ำหนักสดของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีแนวโน้มลดลงมากกว่าไบโอไทป์ต้านทานสาร ซึ่งค่าดัชนีความต้านทานสารเท่ากับ 10.20 เท่า จากการใช้สาร bispyribac-sodium ซึ่งมีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชเช่นเดียวกับสาร pyribenzoxim (El-Naddy *et al.*, 2012)

การตอบสนองของหญ้าแดงที่มีต่อสาร pyribenzoxim เมื่อพิจารณาจากค่า $I_{50}$ ของระดับความเป็นพิษ และ $GR_{50}$ จากความสูงและน้ำหนักสด พบว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์ที่อ่อนแอมากถึง

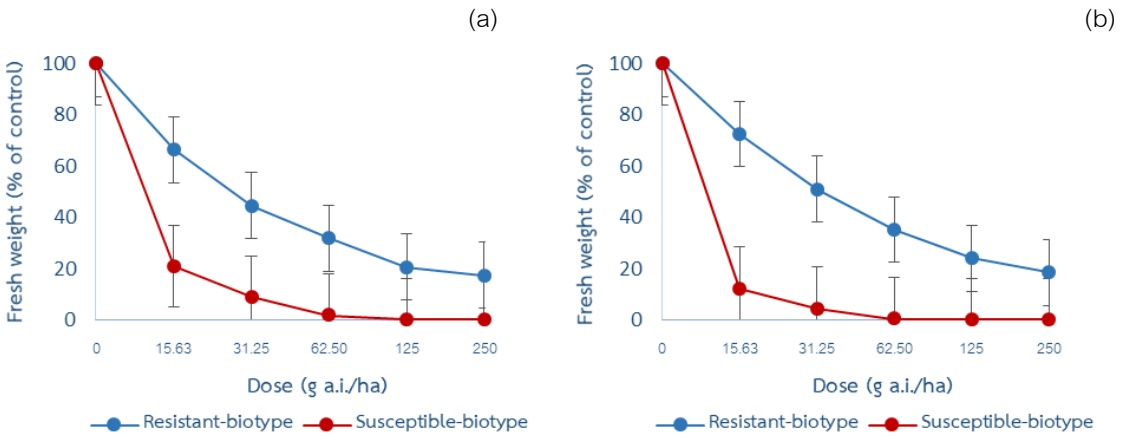


Figure 3. Effect of pyribenzoxim on fresh weight of on susceptible and resistant-biotype at 21 day after application (DAA) (a) and 30 DAA (b). Vertical bars represent the mean ± standard error (n =

31.43 - 62.36 เท่า กล่าวคือ การใช้สาร pyribenzoxim ที่อัตราแนะนำ (31.25 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอได้ดี แต่ไม่สามารถควบคุมไบโอไทป์ต้านทานสารได้ ดังนั้น การใช้สารที่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชตำแหน่งเดียวกัน ติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้วัชพืชมีวิวัฒนาการเกิดเป็นวัชพืชต้านทานสารขึ้นมาได้ จากการศึกษาวิจัยในช่วงที่ผ่านมา Riar *et al.* (2013) รายงานว่า หญ้าข้าวนกต้านทานสาร bispyribac - sodium และ penoxsulam ในนาข้าว ข้าวโพด และถั่วเหลือง ที่ปลูกบริเวณแม่น้ำอาร์คันซอและมิสซิส-ซิปปี สหรัฐอเมริกา และหญ้าแดงต้านทานสาร bispyribac-sodium ในนาข้าวประเทศโคลัมเบีย (Plaza and Hernández, 2014) ต่อมา ได้มีรายงานว่า หญ้า *Limnocharis flava* (L.) Buchenau เมื่อได้รับสารในแต่ละกลุ่ม (chemical family) ที่ต่างกัน แต่เป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เช่นเดียวกัน ได้แก่ กลุ่ม sulfonylurea (สาร bensulfuron-methyl, metsulfuron-methyl และ pyrazosulfuron-ethy), กลุ่ม pyrimidinylthio-benzoate (สาร pyribenzoxim และ bispyribac-sodium) เป็นต้น พบว่า ไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสาร มีค่าดัชนีความต้านทานสารมากกว่า 11.7, 9, 5.4, 4.6 และ 6 เท่า ตามลำดับ ในขณะที่การใช้สารกลุ่ม imidazolinone (สาร imazethapyr) และกลุ่ม triazolopyrimidine (สาร penoxsulam) โดยที่การใช้ในอัตราที่ต่ำกว่าอัตราแนะนำนั้น สามารถควบคุมวัชพืชทั้งไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสารได้อย่างสมบูรณ์ แสดงว่า วัชพืชชนิดนี้มีวิวัฒนาการเกิดความต้าน-ทานสารในกลุ่ม sulfonylurea แต่ไม่เกิดความต้านทานสารในกลุ่ม imidazolinone และ triazolopyrimidine แม้ว่าสารในกลุ่มดังกล่าวนี้ จะมีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาการยับยั้งพืชในตำแหน่งเดียวกัน (Zakaria *et al.*, 2018) จากนั้น Fang *et al.* (2019) รายงานว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอเริ่มแสดงอาการได้รับพิษต่อสาร penoxsulam ในอัตราที่ต่ำกว่าอัตราแนะนำ (อัตราแนะนำ คือ 15-30 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) แต่ไบโอไทป์ต้านทานสารเริ่มแสดงอาการได้รับพิษ เมื่อใช้สารอัตรา 50.96 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ แสดงว่า อาการที่พืชได้รับจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้สารที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับ หญ้ายาง (*Euphorbia heterophylla* L.) ทั้งไบโอไทป์ต้านทานสารและไบโอไทป์ที่อ่อนแอ เมื่อได้รับสาร imazamox อัตรา 1,250.20 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ทำให้น้ำหนักสดของไบโอไทป์ต้านทานสารลดลง 50 % ในขณะที่ไบโอไทป์ที่อ่อนแอ เมื่อได้รับสาร อัตรา 7.4 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ทำให้น้ำหนักสดลดลง

50 % แสดงให้เห็นว่า การใช้สาร imazamox อัตราแนะนำ 40 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ไม่สามารถควบคุมหญ้ายางไบโอไทป์ต้านทานสารได้ (Rojano-Delgado *et al.,* 2019)

**ความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าแดงไบโอไทป์ที่ต้านทานสาร** pyribenzoxim

การศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าแดงไบโอไทป์ที่ต้านทานสาร pyribenzoxim (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS) ไปยังสารกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน ได้แก่ profoxydim (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) clomazone (สารที่ยับยั้งการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์) และ propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในระบบแสง II) เป็นต้น เมื่อพิจารณาจากระดับความเป็นพิษของหญ้าแดง ที่ 5, 10 และ 14 วันหลังจากได้รับสาร รวมทั้งพิจารณาจากความสูงและน้ำหนักสด ที่ 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร (Table 3) พบว่า การประเมินความเป็นพิษ ความสูง และน้ำหนักสดของสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยหลังจากได้รับสาร profoxydim และ propanil หญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสาร แสดงอาการได้รับพิษ มีการชะงักการเจริญเติบโต และตายไปในที่สุด ในขณะที่เมื่อได้รับสาร clomazone แสดงอาการเป็นพิษเล็กน้อย มีการชะงักการเจริญเติบโตในช่วงแรก แต่สามารถเจริญเติบโตเป็นปกติได้ในเวลาต่อมา ดังนั้น การใช้สารชนิดนี้ ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารลดลง จากการประเมินการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสาร pyribenzoxim ไปยังสารกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน พบว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ที่ต้านทานสาร pyribenzoxim มีการพัฒนาเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร clomazone อย่างไรก็ตาม หญ้าแดงไบโอไทป์ที่ต้านทานสาร pyribenzoxim ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร profoxydim และ propanil

ในช่วงที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาการเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มของวัชพืชที่ต้านทานสารหลายชนิด โดยที่ Fischer *et al.* (2000) รายงานว่า *Echinochloa oryzoides* มีความต้านทานสาร

Table 3. Multiple-resistance of pyribenzoxim wrinkle duck-beak resistant to the other herbicides mode of action

| Herbicide | Dose | Visual injury (%) | | | Plant height (cm) | | Fresh weight (g) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (g a.i./ha) | 5 DAA | 10 DAA | 14 DAA | 21 DAA | 30 DAA | 21 DAA | 30 DAA |
| 1. Control | 0 | 0 d | 0 e | 0 e | 33.53 a | 38.21 a | 2.28 a | 3.07 a |
| 2. pyribenzoxim | 31.25 | 12.50 c | 20.00 d | 33.75 d | 25.38 b | 27.67 b | 1.68 b | 1.79 b |
| 3. profoxydim | 121.88 | 33.75 b | 57.50 b | 82.50 b | 0 d | 0 d | 0 d | 0 d |
| 4. clomazone | 240.00 | 37.50 b | 50.00 c | 53.75 c | 19.93 c | 21.26 c | 0.77 c | 1.13 c |
| 5. propanil | 2025.00 | 97.50 a | 100.00 a | 100.00 a | 0 d | 0 d | 0 d | 0 d |
| F - test | | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| C.V. (%) | | 16.55 | 4.91 | 9.07 | 2.84 | 3.14 | 5.79 | 3.74 |

Means followed by different letters within a column are significantly different (LSD) and ** significantly different at $P < 0.01$

DAA = Day after application

molinate และ thiobencarb ส่วน *E. phyllopogon* มีความต้านทานสาร bispyribac-sodium, fenoxaprop-P-ethyl, molinate และ thiobencarb แต่วัชพืชทั้งสองชนิดไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร propanil และมีรายงานว่า ประชากรของหญ้าข้าวนกที่ต้านทานสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในตัวอย่างหญ้าข้าวนกจำนวน 14 ตัวอย่าง โดยที่มีจำนวน 7 ตัวอย่าง ที่มีความต้านทานสูงต่อสารในกลุ่มที่ยับยั้งเอนไซม์ ALS ในขณะที่มีจำนวน 2 ตัวอย่าง มีความต้านทานต่อสารในกลุ่ม Sulfonylurea แต่จะไม่เกิดความต้านทานต่อสารในกลุ่ม Imidazolinone นอกจากนี้ ยังมีจำนวนอีก 5 ตัวอย่าง ที่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase แสดงให้เห็นว่า วัชพืชที่ต้านทานสารกำจัดวัชพืชชนิดใดชนิดหนึ่งนั้น สามารถเกิดความต้านทานข้าม และความต้านทานสารหลายกลุ่ม ทำให้การควบคุมและกำจัดด้วยสารชนิดเดิม มีประสิทธิภาพลดลง (Panozzo *et al.,* 2013) นอกจากนี้ หญ้าข้าวนกต้านทานสาร penoxsulam สามารถเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร cyhalofop-butyl, fenoxaprop-P-ethyl และ metamifop ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase (Chen *et al.,* 2016) และหญ้าข้าวนกต้านทานสาร bispyribac-sodium (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS) เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร quinclorac (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช) (Posawat *et al.,* 2015) เช่นเดียวกับกกหนวดปลาดุกต้านทานสาร chlorimuron-ethyl + metsulfuron-methyl (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS) และ clomazone (สารที่ยับยั้งการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์) ไม่สามารถควบคุมกกหนวดปลาดุกไบโอไทป์ต้านทานสารได้ (Phinyosak *et al*., 2018) และหญ้า *Lolium perenne* เกิดความต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ได้แก่ สาร imazamox และ mesosulfuron เป็นต้น สามารถเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร pinoxaden (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) (Tehranchiar *et al.,* 2019) ซึ่งมีข้อสังเกตว่า วัชพืชที่ต้านทานสารชนิดใดชนิดหนึ่งนั้น มีโอกาสที่จะพัฒนาเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกันได้ จากการศึกษาในครั้งนี้ จะเห็นว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ที่ต้านทานสาร pyribenzoxim มีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร clomazone อย่างไรก็ตาม ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร profoxydim และ propanil เนื่องจากสาร clomazone ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ 1-deoxy-D-xyulose 5-phosphate synthetase (DOXP synthase) ในการสังเคราะห์ isoprenoids ในกระบวนการสังเคราะห์รงควัตถุแคโรทีนอยด์ ส่วนสาร profoxydim ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetyl CoA carboxylase ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์พวกกรดไขมันภายในพืช และสาร propanil ยับยั้งการสังเคราะห์แสงซึ่งจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงของระบบ PS II (Pornprom, 2017) ดังนั้น ควรแนะนำเกษตรกรให้เลือกใช้สารที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าแดง โดยมีการสับเปลี่ยนหมุนเวียนการใช้สารในแต่ละกลุ่มที่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน เพื่อช่วยลดและป้องกันการแพร่ระบาดของประชากรหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าว อย่างไรก็ตาม จะต้องทำการตรวจและติดตามหญ้าแดงต้านทานสาร pyribenzoxim ในนาข้าว ในพื้นที่ที่มีการใช้สารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS อย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้พิจารณาประกอบในการวางแผนเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชในอนาคต ซึ่งเป็นการป้องกันและการจัดการปัญหาวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชในนาข้าวในระยะยาวต่อไป

## สรุป

การศึกษาในครั้งนี้ เพื่อเป็นทางเลือกในการใช้สารที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน สำหรับนำไปใช้ในการป้องกันและการจัดการวัชพืชหญ้าแดงที่ต้านทานสาร

pyribenzoxim ในนาข้าว เมื่อพิจารณาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารและไบโอไทป์ที่อ่อนแอที่มีต่อสาร pyribenzoxim จากค่า $I_{50}$ ของระดับความเป็นพิษ และ $GR_{50}$ จากความสูงและน้ำหนักสด พบว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์ที่อ่อนแอมากถึง 31.43-62.36 เท่า เมื่อพิจารณาความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารไปยังสารในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน พบว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสาร มีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร clomazone (สารที่ยับยั้งการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์) แต่ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร profoxydim (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) และ propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในระบบแสง II) ดังนั้น ควรแนะนำให้เกษตรกรมีการหมุนเวียนการใช้สาร profoxydim และ propanil เพื่อควบคุมและลดจำนวนประชากรของหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสาร pyribenzoxim ในนาข้าวต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

Barkworth, M.E. 2020. *Ischaemum rugosum* Salisb. (Online). Available: http://dev.Semanticfna.org/Ischaemum_rugosum (June 11, 2021).

Burrill, L.C., J. Cardenas and E. Locatelli. 1976. Field Manual for Weed Control Research. International Plant Protection Center, Oregon State University, Corvallis. 63 p.

Chen, G., Q. Wang, Z. Yao, L. Zhu and L. Dong. 2016. Penoxsulam-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in rice fields in China. Weed Biology and Management 16(1): 16-23.

Deng, W., Q. Yang, H.T. Jiao, Y.Z. Zhang, X.F. Li and M.Q. Zheng. 2016. Cross-resistance pattern to four AHAS-inhibiting herbicides of tribenuron-methyl-resistant flixweed (*Descurainia sophia*) conferred by Asp-376-Glu mutation in AHAS. Journal of Integrative Agriculture 15(11): 2563-2570.

Development Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. (Online). Available: http://www.R-project.org (February 21, 2021).

Development Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. (Online). Available: http://www.R-project.org (February 21, 2021).

El-Naddy, M.F., A.M. Hamza, and A.S. Derbalah. 2012. *Echinochloa colona* resistance to bispyribac-sodium in Egypt-occurrence and identification. Journal of Plant Protection Research 1(1): 139-145.

Fang, J., Y. Zhang, T. Liu, B. Yan, J. Li and L. Dong. 2019. Target-site and metabolic resistance mechanisms to penoxsulam in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*(L.) P. Beauv). Journal of Agricultural and Food Chemistry 67(29): 8085-8095.

Fischer, A.J., C.M. Ateh, D.E. Bayer and J.E. Hill. 2000. Herbicide-resistant *Echinochloa oryzoides* and *E. phyllopogon* in California *Oryza sativa* Fields. Weed Science 48(2): 225-230.

Heap, I. 2021. International survey of herbicide resistant weeds. (Online). Available: http://www.weedscience.org/Home.aspx (December 15, 2021).

Vasilakoglou, I., K. Dhima, and T. Gitsopoulos. 2018. Management of penoxsulam- and bispyribac-resistant late watergrass

(*Echinochloa phyllopogon*) biotypes and rice sedge (*Cyperus difformis*) in rice. Chilean Journal of Agricultural Research. 78(2): 276-286.

Maneechote, C., S. Samanwong, X.Q. Zang and S.B. Powles. 2005. Resistance to ACCase-inhibiting herbicides in sprangletop (*Leptochloa chinensis*). Weed Science 53(3): 290-295.

Montatip, W., J. Chompoo and T. Pornprom. 2017. Bispyribac-sodium resistance wrinkle grass (*Ischaemum rugosum* Salisb.) in direct-seeded rice. pp. 933-946. *In*: Proceedings of the 13th National Plant Protection Conference, Trang. (in Thai)

Panozzo, S., L. Scarabel, P.J. Tranel and M. Sattin. 2013. Target-site resistance to ALS inhibitors in the polyploid species *Echinochloa crus-galli*. Pesticide Biochemistry and Physiology 105(2): 93-101.

Phinyosak, R., J. Chompoo and T. Pornprom. 2017. The occurrence of multiple herbicide resistance in a population of tall fringe rush sedge resistant to ALS-inhibiting herbicides in rice fields. pp. 382-397 *In*: Proceedings of the 13th National Plant Protection Conference, Trang. (in Thai)

Plaza, G. and F.A. Hernández. 2014. Effect of zone and crops rotation on *Ischaemum rugosum* and resistance to bispyribac-sodium in Ariari, Colombia. Planta Daninha 32(3): 591-599.

Pornprom, T. 2017. Herbicides: Principles and mode of action. 3rd ed. Chulalongkorn University Press, Bangkok. 405 p. (in Thai)

Pornprom, T., P. Mahatamnuchoke and K. Usui. 2006. The role of altered acetyl-CoA carboxylase in conferring resistance to fenoxaprop-P-ethyl in Chinese sprangletop (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees). Pest Management Science 62(11): 1109-1115.

Posawat, S., S. Chintakanun, J. Chompoo and T. Pornprom. 2015. Investigation of bispyribac-sodium resistant barnyardgrass in direct-seeded rice fields. pp. 116-117. *In*: Proceedings of the 12th National Plant Protection Conference, Chiang Rai. (in Thai)

Riar, D.S., J.K. Norsworthy, V. Srivastava, V. Nandula, J.A. Bond and R.C. Scott. 2013. Physiological and molecular basis of acetolactate synthase-inhibiting herbicide resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). Journal of Agricultural and Food Chemistry 61(2): 278-289.

Rojano-Delgado, A.M., J.M. Portugal, C. Palma-Bautista, R. Alcántara-de la Cruz, J. Torra, E. Alcántara and R. De Prado. 2019. Target site as the main mechanism of resistance to imazamox in a *Euphorbia heterophylla* biotype. Scientific Reports. 9(1): 15423, doi: 10.1038/s41598-01951682-z.

Sakuma, M. 1998. Probit analysis of preference data. Applied Entomology and Zoology. 33(3): 339-347.

Sookgul, P., W. Montatip and T. Pornprom. 2017. Multiple herbicide resistance in wrinkle grass (*Ischaemum rugosum* Salisb.) in direct-seeded rice. pp. 947-961. *In*: Proceedings of the 13th National Plant Protection Conference, Trang. (in Thai)

Tehranchian, P., V.K. Nandula, M. Matzrafi and M. Jasieniuk. 2019. Multiple herbicide resistance in California Italian ryegrass

(*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*): characterization of ALS-inhibiting herbicide resistance. Weed Science 67(3): 273-280.

Valverde, B.E., C.R. Riches, and J.C. Caseley. 2000. Prevention and Management of Herbicide-Resistant Weeds in Rice: Experiences from Central America with *Echinochloa colona*. Camara de Insumos Agropecuarios de Costa Rica, San Jose.

Wang, J.J., X.J. Li, D. Li, Y.J. Han, Z. Li, H.L. Yu and H.L. Cui. 2018. Non-target-site and target-site resistance to AHAS inhibitors in American sloughgrass (*Beckmannia syzigachne*). Journal of Integrative Agriculture 17(12): 2714-2723.

Zakaria, N., M.S. Ahamad-Hamdani and A.S. Juraimi. 2018. Patterns of resistance to AHAS inhibitors in *Limnocharis flava* from Malaysia. Plant Protection Science 54(1): 48-59.

# การประเมินประสิทธิภาพสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอก สำหรับการควบคุมวัชพืชในแปลงปทุมมาลานนาสโนว์

# Evaluation of Pre-emergence Herbicides Efficiency for Weed Control in *Curcuma* Lanna Snow Fields

**อภิรัฐ บัณฑิต[1*] กนกวรรณ ปัญจะมา[1,3] ชาติชาย เขียวงามดี[2]**
**โสระยา ร่วมรังษี [1,3] และ ภารดี ธรรมาภิชัย[1]**
Apirat Bundit[1*], Kanokwan Panjama[1,3], Chatchai Khiewngamdee[2],
Soraya Ruamrungsri[1,3] and Paradee Thammapichai[1]

*[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]คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[2]Faculty of Economics, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
*[3]ศูนย์บริการการพัฒนาขยายพันธุ์ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ. หางดง จ. เชียงใหม่ 50230*
*[3]H.M. the King's Initiative Centre for Flower and Fruit Propagation, Hang Dong, Chiang Mai 50230, Thailand*
**Corresponding author: Email: apirat.b@cmu.ac.th*

*(Received: 14 May 2021; Accepted: 14 October 2021)*

**Abstract:** Weeds are a major problem for *Curcuma* hybrid cultivation at every growth stage, thereby increasing farmers' cost of labor. Using pre-emergence herbicides may help reduce the cost, but it could have an undesirable impact on plant growth. Therefore, the objective of this research is to assess the effects of pre-emergence herbicide application on *Curcuma* Lanna Snow germination and growth as well as weed control efficiency, including the incremental costs for using each herbicide. The results showed that application of atrazine at 270 g ai/rai, indaziflam at 10 g ai/rai, isoxaflutole+cyprosulfamide at 9.6+9.6 g ai/rai, oxyfluorfen at 47 g ai/rai, pendimethalin at 198 g ai/rai, and sulfentrazone at 115 g ai/rai did not differ significantly and resulted in 74.5 % average weed control efficacy 14 days after application, and did not adversely affect germination, plant height, leaf width, first-leaf unfolding time, and dry weight of *C.* Lanna Snow 21 days after application. However, marginal analysis revealed that using atrazine as a means for weed control is the most economically efficient. Information about germination, plant growth, weed control efficiency, and marginal efficiency of each chemical indicated that atrazine application was the optimum method for weed control in *C.* Lanna Snow.

**Keywords:** *Curcuma* Lanna Snow, pre-emergence herbicides, weed control

**บทคัดย่อ**: วัชพืชเป็นปัญหาสำคัญในทุกช่วงระยะการเจริญเติบโตของการปลูกปทุมมา ส่งผลให้เกษตรกรมีต้นทุนด้านแรงงานในการกำจัดวัชพืชที่ค่อนข้างสูง การใช้สารป้องกันกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกช่วยในการลดต้นทุนด้านแรงงานได้ อย่างไรก็ตามการใช้สารกำจัดวัชพืชอาจมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบหลังจากใช้สารป้องกันกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกที่มีต่อการงอกและการเจริญเติบโตของปทุมมาลานนาสโนว์ ตลอดจนการควบคุมวัชพืช รวมถึงวิเคราะห์ต้นทุนส่วนเพิ่มของกรรมวิธีการใช้สารแต่ละชนิด ผลการทดลองพบว่า การพ่นสาร atrazine อัตรา 270 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่, indaziflam อัตรา 10 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่, isoxaflutole + cyprosulfamide อัตรา 9.6 + 9.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่, oxyfluorfen อัตรา 47 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่, pendimethalin อัตรา 198 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ และ sulfentrazone อัตรา 115 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ สามารถควบคุมวัชพืชโดยรวม 14 วันหลังพ่นสาร ได้เฉลี่ยเท่ากับ 74.5 % และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยไม่ส่งผลเสียหายต่อการงอก ความสูง ความกว้างใบ การคลี่ใบแรก และน้ำหนักแห้งของปทุมมาลานนาสโนว์ 21 วันหลังพ่นสาร อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกรรมวิธีการใช้สารป้องกันกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอก พบว่า การพ่นสาร atrazine ให้ผลลัพธ์ที่มีความคุ้มค่ากับต้นทุนมากที่สุด จากข้อมูลพื้นฐานทางด้านการงอกและการเจริญเติบโตของพืช ความสามารถในการควบคุมวัชพืชของสาร และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกรรมวิธี ชี้ให้เห็นว่าควรเลือกใช้สาร atrazine ในการควบคุมวัชพืชก่อนงอกในแปลงปทุมมาลานนาสโนว์

**คำสำคัญ**: ปทุมมาลานนาสโนว์ สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอก การควบคุมวัชพืช

## คำนำ

วัชพืชเป็นศัตรูพืชที่สำคัญในแปลงปลูกพืช โดยส่งผลทำให้ผลผลิตของพืชปลูกลดลงหากมีวิธีการป้องกันกำจัดวัชพืชที่ไม่เหมาะสม (Mahajan and Chauhan, 2021; Pannacci *et al*., 2020) ซึ่ง Bharty and Kumar (2017) รายงานว่า การป้องกันกำจัดวัชพืชที่ไม่มีประสิทธิภาพส่งผลทำให้ผลผลิตของเหง้าขมิ้น (turmeric rhizome) ลดลง 70 - 80 % นอกจากนี้ การแข่งขันของวัชพืชส่งผลทำให้ความยาวของเหง้าขมิ้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการกำจัดวัชพืชด้วยมืออย่างบ่อยครั้ง (Eshetu *et al*., 2015) ดังนั้น ผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนของวัชพืชส่งผลทำให้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตของพืชปลูกลดลงได้

ปทุมมา จัดอยู่ในสกุลขมิ้น (*Curcuma*) ของวงศ์ขิง (Zingiberaceae) เป็นไม้หัว ล้มลุกอายุหลายปี มีลำต้นใต้ดินแบบเหง้า (Vichailak, 2005) ปทุมมาเป็นไม้ดอกเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยรองจากกล้วยไม้ โดยประเทศไทยส่งออกหัวพันธุ์ปทุมมาต่อปีประมาณ 2 - 3 ล้านหัว ไปยังประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และเนเธอร์แลนด์ (Kamenetsky and Okubo, 2013) เกษตรกรนิยมปลูกปทุมมาภายใต้สภาพแปลงปลูก การจัดการแปลงปลูกปทุมมาอย่างเหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของดอกและหัวพันธุ์ วัชพืชเป็นปัญหาที่สำคัญมากในช่วงแรกของการปลูกปทุมมา ทำให้เกษตรกรสิ้นเปลืองแรงงานในการป้องกันกำจัด โดยทั่วไป เกษตรกรผู้ปลูกปทุมมาไถพรวนดิน เพื่อเตรียมแปลงและกำจัดวัชพืชภายในแปลงปลูก หลังจากนั้นจึงมีการใช้วัสดุคลุมดิน หรือใช้แรงงานคนในการป้องกันกำจัดวัชพืชในแปลงปลูกปทุมมา (Vichailak, 2005) จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งวิธีการป้องกันกำจัดวัชพืชที่กล่าวมาข้างต้นนั้น เป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองแรงงานและวัสดุมาก การใช้สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอก (pre-emergence herbicide) เป็นวิธีการป้องกันกำจัดวัชพืชที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถปฏิบัติงานได้รวดเร็ว อาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการป้องกันกำจัดวัชพืชในช่วงแรกของการปลูกปทุมมา (Bundit, 2019) มีรายงานว่า สาร atrazine, metribuzin, oxadiargyl และ pendimethalin เป็นสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกที่สามารถใช้ควบคุมวัชพืชได้ในขมิ้น (Bharty and Kumar, 2017) อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบรายงานการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกภายใต้สภาพแปลงปลูกปทุมมา

ในประเทศไทย ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงทำเพื่อประเมินผลกระทบหลังจากใช้สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกที่มีต่อการงอกและการเติบโตของปทุมมาภายใต้สภาพแปลงปลูก และประเมินความสามารถในการควบคุมวัชพืชของสารกำจัดวัชพืชเพื่อเป็นทางเลือกการใช้สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกสำหรับการป้องกันกำจัดวัชพืชในปทุมมาต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

การประเมินผลกระทบต่อปทุมมาและความสามารถในควบคุมวัชพืชหลังจากใช้สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกภายใต้สภาพแปลงปลูก ดำเนินการศึกษาวิจัย ณ แปลงทดลองของศูนย์บริการการพัฒนาขยายพันธุ์ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนกรกฎาคม - กันยายน พ.ศ. 2562 เตรียมหัวพันธุ์ปทุมมาพันธุ์ลานนาสโนว์ (Lanna Snow) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 - 2.5 เซนติเมตร จำนวน 432 หัว ปลูกลงแปลงขนาด 1.2 x 1.5 เมตร ใช้ระยะปลูกระหว่างต้น 30 x 30 เซนติเมตร จำนวน 12 ต้นต่อแปลงย่อย คลุมแปลงด้วยแกลบข้าวปริมาณ 2 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย และให้น้ำแบบฉีดฝอยสัปดาห์ละ 3 ครั้ง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 9 กรรมวิธี ดัง Table 1 โดยทำการพ่นสารด้วยถังพ่นสารแบบสะพายหลัง (knapsack) ที่มีหัวฉีดรูปพัดริมเสมอ (flat fan) กำหนดปริมาณน้ำยาต่อพื้นที่ (spray volume) เท่ากับ 80 ลิตรต่อไร่ บันทึกข้อมูลการงอกและการเจริญเติบโตของปทุมมา และการควบคุมวัชพืชของแต่ละกรรมวิธี ดังต่อไปนี้

**1) เปอร์เซ็นต์การงอกของหัวพันธุ์และการเติบโตของปทุมมา**

- เปอร์เซ็นต์การงอกของหัวพันธุ์ ด้วยการนับจำนวนต้นปทุมมาที่โผล่พ้นผิวดิน แล้วจึงนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การงอกด้วยสมการ (จำนวนหัวที่งอก /จำนวนหัวที่ปลูก) x 100 ที่ 21 วันหลังพ่นสาร
- ความสูงของต้น ด้วยการวัดจากโคนต้นถึงปลายใบที่สูงที่สุดเมื่อรวบใบที่ 21 วันหลังพ่นสาร มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
- ความกว้างใบ ด้วยการวัดจากส่วนที่กว้างที่สุดของแผ่นใบที่ 21 วันหลังพ่นสาร มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
- การคลี่ใบแรก ด้วยการนับจำนวนวันตั้งแต่เริ่มพ่นสารจนกระทั่งปทุมมาใบแรกคลี่ออก มีหน่วยเป็นวัน

Table 1. Herbicide rates and experimental methods used in the *Curcuma* Lanna Snow fields

| No. | Treatment | Rate (g ai[3]/rai) |
|---|---|---|
| 1 | Hand weeding (at 1 and 2 WAP[1]) | - |
| 2 | Weedy check | - |
| 3 | Atrazine 90 % WG | 270 |
| 4 | Diclosulam 84 % WG | 12.6 |
| 5 | Indaziflam 50 % W/V SC | 10 |
| 6 | Isoxaflutole + Cyprosulfamide 24 % + 24% W/V SC[2] | 9.6 + 9.6 |
| 7 | Oxyfluorfen 23.5 % W/V EC | 47 |
| 8 | Pendimethalin 33 % W/V EC | 198 |
| 9 | Sulfentrazone 48 % W/V SC | 115 |

[1]WAP = week after planting
[2]Pre - mixed herbicide
[3]ai = active ingredient

- น้ำหนักแห้งของปทุมมา ด้วยการชั่งน้ำหนักโดยนำส่วนเหนือดินของต้นปทุมมาที่มีอายุ 21 วันหลังพ่นสาร ไปอบที่อุณหภูมิ 60 ˚C นาน 2 สัปดาห์ มีหน่วยเป็นกรัมต่อต้น

**2) ความสามารถในการควบคุมวัชพืช**

ประเมินจากการควบคุมวัชพืชโดยรวม (total weed; TW) และการควบคุมวัชพืชแต่ละชนิด ประกอบด้วย วัชพืชใบกว้าง (broadleaf weed; BL) วัชพืชใบแคบ (narrow leaf weed; NL) และกก (sedge; SG) โดยการประเมินด้วยสายตา (visual rating) ประยุกต์ตามวิธีการของ Vanhala *et al.* (2004) มีระดับการประเมินที่ 0 ถึง 100 % ได้แก่ ที่ระดับ 0 % คือไม่สามารถควบคุมวัชพืชได้, ที่ระดับ 50 % คือควบคุมวัชพืชได้ปานกลาง และที่ระดับ 100 % คือควบคุมวัชพืชได้ทั้งหมด เปรียบเทียบกับการกำจัดวัชพืชด้วยมือ (hand weeding) และการปล่อยวัชพืชขึ้นรบกวน (weedy check) เก็บบันทึกข้อมูลที่ 7 และ 14 วันหลังการพ่นสาร มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

**3) การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

นำข้อมูลเปอร์เซ็นต์การงอกของหัวพันธุ์และการเจริญเติบโตของปทุมมา และการควบคุมวัชพืชของแต่ละกรรมวิธี ไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Fisher's protected least significant difference test (LSD test)

**4) การวิเคราะห์สัดส่วนการงอกและการควบคุมวัชพืชส่วนเพิ่มต่อต้นทุนส่วนเพิ่มของกรรมวิธีการใช้สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอก**

เพื่อทำการระบุว่ากรรมวิธีใดให้ผลลัพธ์หรือประโยชน์ดีที่สุดต่อต้นทุนที่เสียไป งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์สัดส่วนการงอกและการควบคุมวัชพืชส่วนเพิ่มต่อต้นทุนส่วนเพิ่ม โดยใช้หลักการวิเคราะห์ส่วนเพิ่ม (marginal analysis) ซึ่งการเปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการงอกต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุน และร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการควบคุมวัชพืชต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุน ของแต่ละกรรมวิธี โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

- การคำนวณต้นทุนรวม ประกอบด้วย ค่าสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอก ค่าแรงงาน และค่าดำเนินการปลูกและดูแลรักษา ร้อยละการงอกของปทุมมา และร้อยละการควบคุมวัชพืช

- กำหนดให้กรรมวิธีการปล่อยวัชพืชขึ้นรบกวนเป็นฐาน (based-line) คำนวณร้อยละต้นทุนรวมส่วนเพิ่ม ร้อยละการงอกส่วนเพิ่ม และร้อยละการควบคุมวัชพืชส่วนเพิ่ม ของแต่ละกรรมวิธีเมื่อเทียบกับกรรมวิธีการปล่อยวัชพืชขึ้นรบกวน ซึ่งการคำนวณมีดังต่อไปนี้

ร้อยละต้นทุนรวมส่วนเพิ่ม คำนวณจากสูตร

$$MC_i = \frac{TC_i - TC_w}{TC_w} \times 100$$

โดย $MC_i$ คือ ร้อยละต้นทุนรวมส่วนเพิ่มของกรรมวิธี $i$ , $TC_i$ คือ ต้นทุนรวมของกรรมวิธี $i$ และ $TC_w$ คือ ต้นทุนรวมของกรรมวิธีการปล่อยวัชพืชขึ้นรบกวน

ร้อยละการงอกส่วนเพิ่ม และร้อยละการควบคุมวัชพืชส่วนเพิ่ม คำนวณจากสูตร

$$MG_i = G_i - G_w \text{ และ}$$

$$MW_i = W_i - W_w$$

โดย $MG_i$ คือ ร้อยละการงอกส่วนเพิ่มของกรรมวิธี $i$ , $MW_i$ คือ ร้อยละการควบคุมวัชพืชส่วนเพิ่มของกรรมวิธี $i$ , $G_i$ และ $W_i$ คือ ร้อยละการงอก และร้อยละการควบคุมวัชพืชของกรรมวิธี $i$ ตามลำดับ ซึ่ง $G_w$ และ $W_w$ คือ ร้อยละการงอก และร้อยละการควบคุมวัชพืชของกรรมวิธีการปล่อยวัชพืชขึ้นรบกวน ตามลำดับ

หลังจากนั้น คำนวณและเปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการงอกต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุน และร้อยละการเปลี่ยนแปลงของการควบคุมวัชพืชต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของต้นทุน โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าทั้งสองค่า ซึ่งทำการกำหนดกรรมวิธีการปล่อยวัชพืชขึ้นรบกวนเป็นฐานในการเปรียบเทียบ โดยค่าตัวเลขมากจะแสดงถึงผลลัพธ์หรือความคุ้มค่าต่อต้นทุนที่สูงกว่าของกรรมวิธีการใช้สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกในการปลูกปทุมมา (Hutchinson, 2017)

## ผลการทดลอง

### ผลของสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกที่มีต่อการงอกและการเจริญเติบโตของปทุมมา

การศึกษาเปอร์เซ็นต์การงอกของหัวพันธุ์และการเติบโตของปทุมมาที่ 21 วันหลังการพ่นสาร พบว่า เปอร์เซ็นต์การงอกของหัวพันธุ์ ความสูง ความกว้างใบ การคลี่ใบแรก และน้ำหนักแห้งของปทุมมามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เปอร์เซ็นต์การงอกของหัวพันธุ์ พบว่า ทุกกรรมวิธีส่งผลทำให้ปทุมมามีการงอกไม่แตกต่างจากการกำจัดวัชพืชด้วยมือ อยู่ในช่วง 25.7 - 32.0 % และมีความสูงไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 31.3 - 32.9 เซนติเมตร ตามลำดับ ยกเว้นหลังการพ่นสาร diclosulam ส่งผลให้หัวปทุมมาไม่งอก ส่วนความกว้างใบของปทุมมา พบว่า การพ่นสารกำจัดวัชพืชทุกชนิด ยกเว้นสาร diclosulam, oxyfluorfen, pendimethalin และ sulfentrazone ส่งผลให้ต้นปทุมมามีความกว้างใบ 5.4 - 5.5 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างจากการกำจัดวัชพืชด้วยมือ (Table 2)

การคลี่ใบแรกของปทุมมา พบว่า การพ่นสารกำจัดวัชพืชทุกชนิดส่งผลทำให้เกิดการคลี่ใบแรกของปทุมมาช่วง 24.3 - 27.3 วันหลังการพ่นสาร การพ่นสาร atrazine ส่งผลทำให้เกิดการคลี่ใบแรกของปทุมมาที่จำนวนวันน้อยที่สุดคือ 22.0 วันหลังการพ่นสาร ในขณะที่จำนวนวันในการคลี่ของใบสำหรับกรรมวิธีอื่น ๆ ไม่แตกต่างกัน น้ำหนักแห้งของปทุมมา พบว่า การพ่นสารกำจัดวัชพืชทุกชนิดส่งผลทำให้ปทุมมามีน้ำหนักแห้งของลำต้นเหนือดินไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 0.29 - 0.38 กรัมต่อต้น ยกเว้นหลังการพ่นสาร diclosulam ไม่พบส่วนเหนือดินของต้นปทุมมา (Table 2)

Table 2. Effects of pre - emergence herbicides on mean germination rate and growth of *Curcuma* Lanna Snow at 21 days after application

| Treatment | Germination (%) | Plant height (cm) | Leaf width (cm) | First leaf unfold (day) | Dry weight (g) |
|---|---|---|---|---|---|
| Hand weeding | 27.1 a[2] | 31.9 a | 5.1 b | 27.2 a | 0.23 a |
| Weedy check | 26.4 a | 32.9 a | 5.3 ab | 25.0 ab | 0.33 a |
| AZ[1] | 31.9 a | 31.3 a | 5.5 ab | 22.0 b | 0.35 a |
| DL | 0.0 b | 0.0 b | 0.0 c | 0.0 c | 0.00 b |
| IF | 26.4 a | 31.8 a | 5.5 ab | 25.8 ab | 0.29 a |
| IT + CM | 28.5 a | 31.4 a | 5.4 ab | 25.8 ab | 0.36 a |
| OF | 32.0 a | 31.5 a | 5.6 a | 27.3 a | 0.36 a |
| PL | 31.9 a | 32.3 a | 5.7 a | 24.3 ab | 0.30 a |
| SZ | 25.7 a | 32.4 a | 5.6 a | 25.8 ab | 0.38 a |
| LSD | 8.40 | 2.41 | 0.51 | 5.06 | 0.15 |
| F - test | * | * | * | * | * |
| CV (%) | 22.67 | 5.86 | 7.21 | 15.46 | 36.66 |

[1] AZ = atrazine, DL = diclosulam, IF = indaziflam, IT + CM = isoxaflutole + cyprosulfamide, OF = oxyfluorfen, PL = pendimethalin, SZ = sulfentrazone

[2] Means within the same column followed by different letters are significantly difference between treatments by LSD test (*$P < 0.05$)

**ประสิทธิภาพของสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกในการควบคุมวัชพืช**

การประเมินประสิทธิภาพการควบคุมวัชพืชโดยรวม (TW) พบว่า การควบคุมวัชพืชโดยรวมหลังการพ่นสารแต่ละชนิดที่ 7 วัน มีระดับการประเมินอยู่ในช่วง 82.5 - 90.0 % มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) กับหลังการพ่นสารที่ 14 วัน ซึ่งมีระดับการประเมินอยู่ในช่วง 63.8 - 77.5 % ยกเว้นการพ่นสาร diclosulam ไม่มีความแตกต่างหลังการพ่นสารที่ 7 และ 14 วัน เมื่อประเมินประสิทธิภาพการควบคุมวัชพืชใบกว้าง (BL) พบว่า หลังการพ่นสารแต่ละชนิดที่ 7 วัน มีระดับการประเมินอยู่ในช่วง 95.5 - 100.0 % ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับหลังการพ่นสารที่ 14 วัน มีระดับการประเมินอยู่ในช่วง 97.0 - 99.8 % ยกเว้น การพ่นสาร oxyfluorfen, pendimethalin และ sulfentrazone มีการควบคุมวัชพืชใบกว้างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 14 วันหลังการพ่นสาร ส่วนการประเมินประสิทธิภาพการควบคุมวัชพืชใบแคบ (NL) พบว่า หลังการพ่นสารแต่ละชนิดที่ 7 วัน มีระดับการประเมินอยู่ในช่วง 98.8 - 100.0 % ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับหลังการพ่นสารที่ 14 วัน มีระดับการประเมินอยู่ในช่วง 99.3 - 100.0 % ยกเว้นการพ่นสาร sulfentrazone มีการควบคุมวัชพืชใบแคบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 14 วันหลังการพ่นสาร และการประเมินประสิทธิภาพการควบคุมกก (SG) พบว่า หลังการพ่นสารแต่ละชนิดที่ 7 วัน มีระดับการประเมินอยู่ในช่วง 85.0 - 96.5 % ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับหลังการพ่นสารที่ 14 วัน มีระดับการประเมินอยู่ในช่วง 81.3 - 98.0 % ยกเว้น การพ่นสาร atrazine, indaziflam และ isoxaflutole + cyprosulfamide มีการควบคุมกกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 14 วันหลังการพ่นสาร (Table 3)

พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระยะเวลาหลังการพ่นและการพ่นสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกแต่ละชนิดต่อประสิทธิภาพการควบคุมวัชพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) การพ่นสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกทุกชนิดมีการควบคุมวัชพืชโดยรวมลดลงที่ 14 วันหลังการพ่นสาร ที่ระดับการประเมินอยู่ในช่วง 63.8 - 77.5 % เมื่อเปรียบเทียบกับที่ 7 วันหลังการพ่นสาร มีระดับการประเมินอยู่ในช่วง 82.5 - 90.0 % ยกเว้นการพ่นสาร diclosulam ที่ไม่พบความแตกต่างหลังการพ่นในวันที่ 7 และ 14 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการควบคุมวัชพืชใบกว้าง พบว่า การพ่นสาร oxyfluorfen, pendimethalin และ sulfentrazone มีการควบคุมวัชพืชใบกว้างลดลงที่ 14 วันหลังการพ่นสาร ที่ระดับการประเมินอยู่ในช่วง 82.0 - 87.5 % เมื่อเปรียบเทียบกับที่ 7 วันหลังการพ่นสาร มีระดับการประเมินอยู่ในช่วง 95.5 - 100.0 % ในวัชพืชใบแคบ พบว่า การพ่นสาร sulfentrazone มีการควบคุมวัชพืชใบแคบลดลงที่ 14 วันหลังการพ่นสาร มีระดับการประเมิน 95.5 % เมื่อเปรียบเทียบกับที่ 7 วันหลังการพ่นสาร มีระดับการประเมิน 100.0 % และในต้นกก พบว่า การพ่นสาร atrazine, indaziflam และ isoxaflutole + cyprosulfamide มีการควบคุมต้นกกลดลงที่ 14 วันหลังการพ่นสาร ที่ระดับการประเมินอยู่ในช่วง 73.3 - 81.0 % เมื่อเปรียบเทียบกับที่ 7 วันหลังการพ่นสาร ซึ่งมีระดับการประเมินอยู่ในช่วง 86.3 - 90.3 %

**การวิเคราะห์สัดส่วนการงอกและการควบคุมวัชพืชส่วนเพิ่มต่อต้นทุนส่วนเพิ่มของกรรมวิธีการใช้สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอก**

การวิเคราะห์สัดส่วนการงอกและการควบคุมวัชพืชส่วนเพิ่มต่อต้นทุนส่วนเพิ่มของสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกด้วยการวิเคราะห์ส่วนเพิ่ม ผลการศึกษาพบว่า การพ่นสาร atrazine ให้ผลลัพธ์ที่มีความคุ้มค่ากับต้นทุนมากที่สุด ทั้งในแง่ของร้อยละการงอก และร้อยละการควบคุมวัชพืชโดยรวม โดยมีสัดส่วนการงอกและการควบคุมวัชพืชส่วนเพิ่มต่อต้นทุนส่วนเพิ่มคิดเป็น 1.44 กล่าวคือ ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 สามารถเพิ่มอัตราการงอกและอัตราการควบคุมวัชพืชได้เฉลี่ยถึงร้อยละ 1.44 แบ่งเป็นการเพิ่มอัตราการงอกร้อยละ 0.65 และการเพิ่มอัตราการควบคุมวัชพืชร้อยละ 2.24 เมื่อเทียบกับกรรมวิธีการปล่อยวัชพืชขึ้นรบกวน (based - case) ซึ่งอยู่ในระดับที่สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ รองลงมาคือ การพ่นสาร pendimethalin มีอัตราการงอกและอัตราการควบคุมวัชพืชเพิ่มขึ้น

Table 3. Effects of time and experimental methods on weed control efficiency after pre-emergence herbicide application in *Curcuma* Lanna Snow fields

| Time | Treatment | Weed control (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | TW[3] | BL | NL | SG |
| 7 DAA[1] | Hand weeding | 100.0 a[4] | 100.0 a | 100.0 a | 100.0 a |
| | Weedy check | 70.0 gh | 92.8 ab | 99.3 a | 78.0 efg |
| | AZ[2] | 82.5 de | 97.5 a | 98.8 a | 86.3 cd |
| | DL | 96.3 ab | 99.8 a | 100.0 a | 96.5 ab |
| | IF | 86.3 cd | 100.0 a | 100.0 a | 86.3 cd |
| | IT + CM | 90.0 bc | 99.8 a | 100.0 a | 90.3 bc |
| | OF | 88.0 cd | 100.0 a | 100.0 a | 88.0 cd |
| | PL | 82.5 de | 97.5 a | 100.0 a | 85.0 cde |
| | SZ | 85.0 cd | 95.5 a | 100.0 a | 89.5 bc |
| 14 DAA | Hand weeding | 100.0 a | 100.0 a | 100.0 a | 100.0 a |
| | Weedy check | 45.0 i | 76.3 d | 92.5 b | 76.3 fg |
| | AZ | 70.0 gh | 97.5 a | 99.3 a | 73.3 g |
| | DL | 97.8 a | 99.8 a | 100.0 a | 98.0 a |
| | IF | 73.8 fg | 99.5 a | 100.0 a | 74.3 fg |
| | IT + CM | 77.5 ef | 97.0 a | 99.5 a | 81.0 def |
| | OF | 73.8 fg | 87.5 bc | 100.0 a | 86.3 cd |
| | PL | 68.8 gh | 87.5 bc | 100.0 a | 81.3 def |
| | SZ | 63.8 h | 82.0 cd | 95.5 b | 86.3 cd |
| F - test (Time X Treatment) | | ** | ** | ** | ** |
| LSD ($P < 0.05$) | | 7.39 | 7.49 | 3.15 | 7.01 |
| CV (%) | | 4.16 | 3.89 | 1.60 | 3.81 |

[1] DAA = days after application

[2] AZ = atrazine, DL = diclosulam, IF = indaziflam, IT + CM = isoxaflutole + cyprosulfamide, OF = oxyfluorfen, PL = pendimethalin, SZ = sulfentrazone

[3] TW = total weed, BL = broadleaf weed, NL = narrowleaf weed, SG = sedges

[4] Means within the same column followed by different letters are significantly difference between treatments by LSD test at $P < 0.01$

ร้อยละ 0.46 และ 1.51 ต่อต้นทุนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ตามลำดับ โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.98 จะเห็นว่าการพ่นสาร atrazine ให้อัตราการงอกและควบคุมวัชพืชสูงกว่าการพ่นสาร pendimethalin ถึงร้อยละ 32 นอกจากนี้ การพ่นสาร diclosulam ให้อัตราการควบคุมวัชพืชส่วนเพิ่มสูงที่สุดถึงร้อยละ 2.82 อย่างไรก็ดี สารดังกล่าวมีผลยับยั้งการงอกของหัวปทุมมา ทำให้อัตราการงอกส่วนเพิ่มต่ำกว่ากรรมวิธีการปล่อยวัชพืชขึ้นรบกวน ถึงร้อยละ 1.89 ในส่วนของการกรรมวิธีกำจัดวัชพืชโดยการถอน ถึงแม้มีอัตราการควบคุมวัชพืชสูงที่สุด แต่ในแง่ของความคุ้มค่าต่อต้นทุนแล้วอยู่ในระดับต่ำที่สุด เนื่องจากมีต้นทุนที่สูง (Table 4)

## วิจารณ์

ผลกระทบหลังจากพ่นสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกแต่ละชนิดที่ 21 วัน พบว่า สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกส่วนใหญ่ไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของหัวพันธุ์ ความสูง ความกว้างใบ การคลี่ใบแรก และน้ำหนักแห้งของปทุมมา โดยมีเปอร์เซ็นต์การงอกของหัวพันธุ์ ความสูง และน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่การพ่นสาร oxyfluorfen, pendimethalin และ sulfentrazone ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยความกว้างใบมากกว่าการกำจัดวัชพืชด้วยมืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ การพ่นสาร atrazine ส่งผลทำให้ปทุมมาคลี่ใบแรกได้เร็วที่สุดที่ 22 วันหลังปลูก อาจมีความเป็นไปได้ว่า สาร atrazine, pendimethalin และ oxyfluorfen สามารถนำมาใช้ควบคุมวัชพืชในแปลงปลูกพืชที่มีลักษณะคล้ายขมิ้นได้ (Bharty and Kumar, 2017) ซึ่งปทุมมาเป็นพืชที่ปลูกขยายพันธุ์ด้วยส่วนลำต้นใต้ดินเช่นเดียวกับขมิ้น จึงสามารถใช้สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกดังกล่าวด้วยอัตราการใช้สารที่ใกล้เคียงกันได้ โดยไม่ส่งผลเสียหายต่อการงอกและการเจริญเติบโตของปทุมมา ยกเว้นการพ่นสาร diclosulam อัตรา 12.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ ส่งผลยับยั้งต่อการงอกของปทุมมาอย่างสมบูรณ์ กล่าวคือ หัวปทุมมาไม่สามารถงอกและเจริญเติบโตได้หลังมีการพ่นสาร ซึ่งสาร diclosulam จัดอยู่ในกลุ่มสาร triazolopyrimidine มีกลไกการยับยั้ง

Table 4. Marginal analysis for pre - emergence herbicides application in *Curcuma* Lanna Snow fields

| Treatments | MC[2] | MG[3] | MW[4] | MG to MC ratio | MW to MC ratio | Average |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Hand weeding | 80.0 | 0.7 | 42.5 | 0.01 | 0.53 | 0.27 |
| Weedy check | 0.0 | 0.0 | 0.0 | - | - | - |
| AZ[1] | 8.4 | 5.5 | 18.8 | 0.65 | 2.24 | 1.44 |
| DL | 14.0 | -26.4 | 39.5 | -1.89 | 2.82 | 0.47 |
| IF | 14.7 | 0.0 | 22.5 | 0.00 | 1.53 | 0.77 |
| IT + CM | 15.2 | 2.1 | 26.3 | 0.14 | 1.73 | 0.93 |
| OF | 22.0 | 5.6 | 23.4 | 0.25 | 1.06 | 0.66 |
| PL | 12.0 | 5.5 | 18.1 | 0.46 | 1.51 | 0.98 |
| SZ | 24.0 | -0.7 | 16.9 | -0.03 | 0.70 | 0.34 |

[1] AZ = atrazine, DL = diclosulam, IF = indaziflam, IT + CM = isoxaflutole + cyprosulfamide, OF = oxyfluorfen, PL = pendimethalin, SZ = sulfentrazone

[2] MC = percentage change of cost

[3] MG = percentage change of germination

[4] MW = percentage change of weed control

การสังเคราะห์เอนไซม์ acetolactate synthase (ALS) ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักที่มีบทบาทในการสังเคราะห์กรดอะมิโนในพืช (Matte *et al*., 2019) โดยการพ่นสาร diclosulam ที่อัตรา 12.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ อาจจะเป็นอัตราการใช้สารที่สูงเกินไปจึงส่งผลกระทบรุนแรงต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่สำคัญในปทุมมา ทำให้ไม่สามารถงอกและเจริญเติบโตได้ตามปกติหลังได้รับสารในช่วงเวลาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ควรมีการประเมินผลกระทบหลังจากพ่นสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกที่มีต่อผลผลิตของปทุมมา รวมถึงอัตราการใช้สารที่เหมาะสมต่อการปลูกปทุมมาต่อไป

สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกทุกชนิดมีแนวโน้มในการควบคุมวัชพืชโดยรวม วัชพืชใบกว้าง วัชพืชใบแคบ และกก ลดลง โดยหลังการพ่นสารที่ 7 วัน มีการควบคุมวัชพืชมากกว่าหลังการพ่นสารที่ 14 วัน เนื่องจาก การพ่นสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกภายใต้สภาพแปลงปลูกพืชในช่วงฤดูฝนอาจเกิดการชะล้างโดยน้ำฝน ส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกบริเวณเหนือผิวและใต้ผิวของดิน จึงส่งผลต่อความสามารถในการควบคุมวัชพืช ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Khalil *et al.* (2019) รายงานว่า ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาภายใน 14 วันหลังการพ่นสาร สามารถชะล้างสาร pyroxasulfone ภายในดินได้ ส่งผลทำให้ปริมาณของสาร pyroxasulfone ในดินลดลง อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติของดินที่มีความแตกต่างกันอาจส่งผลต่อการคงอยู่ของสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกแต่ละชนิดได้แตกต่างกันอีกด้วย โดยพบว่า การควบคุมวัชพืชโดยการใช้สาร alachlor และ linuron จะมีความเหมาะสมกับลักษณะดินแบบ peat soil (Rahman *et al*., 1976) ส่วนการควบคุมวัชพืชของสารกำจัดวัชพืชแต่ละชนิด พบว่า สารกำจัดวัชพืชทุกชนิดมีการควบคุมวัชพืชโดยรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นการพ่นสาร diclosulam อัตรา 12.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ มีการควบคุมวัชพืชโดยรวมได้มากที่สุดซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการกำจัดวัชพืชด้วยมือ อาจเป็นเพราะ การพ่นสาร diclosulam ที่อัตรา 12.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ มีปริมาณสารออกฤทธิ์ต่อพื้นที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการแนะนำการใช้สาร diclosulam ในการควบคุมวัชพืชในแปลงถั่วเหลือง ซึ่งใช้อัตราเพียง 3.5 และ 4.2 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ (Singh *et al*., 2009) การใช้ปริมาณสารออกฤทธิ์ต่อพื้นที่ปริมาณที่สูงดังกล่าว จึงส่งผลทำให้สารออกฤทธิ์คงอยู่ในดินได้ยาวนาน ทำให้มีการควบคุมวัชพืชในพื้นที่มีประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความสามารถในการควบคุมวัชพืชแต่ละชนิด พบว่า การพ่นสาร atrazine อัตรา 270 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่, diclosulam อัตรา 12.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่, indaziflam อัตรา 10 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ และ isoxaflutole + cyprosulfamide อัตรา 9.6 + 9.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ มีการควบคุมวัชพืชใบกว้างไม่แตกต่างทางสถิติกับการกำจัดวัชพืชด้วยมือ ส่วนการพ่นสาร atrazine อัตรา 270 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่, diclosulam อัตรา 12.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่, indaziflam อัตรา 10 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่, isoxaflutole + cyprosulfamide อัตรา 9.6 + 9.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่, oxyfluorfen อัตรา 47 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ และ pendimethalin อัตรา 198 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ มีการควบคุมวัชพืชใบแคบไม่แตกต่างทางสถิติกับการกำจัดวัชพืชด้วยมือ และการพ่นสาร diclosulam อัตรา 12.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ มีการควบคุมต้นกกไม่แตกต่างทางสถิติกับการกำจัดวัชพืชด้วยมือ เนื่องจากสารแต่ละชนิดอาจจะมีความสามารถในการควบคุมวัชพืชแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน กล่าวคือ สารบางชนิดมีความสามารถในการควบคุมวัชพืชแต่ละกลุ่มได้โดดเด่นแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินชนิดของสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกเพื่อควบคุมวัชพืชในมันสำปะหลัง โดยพบว่า การใช้สารแต่ละกรรมวิธีด้วยอัตราที่แตกต่างกันส่งผลต่อการควบคุมวัชพืชในกลุ่มที่เป็นวัชพืชใบกว้างและวัชพืชใบแคบได้แตกต่างกัน อีกทั้งการควบคุมวัชพืชของสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกขึ้นอยู่กับแหล่งของพื้นที่เพาะปลูกพืชด้วยเช่นกัน (Ekeleme *et al*., 2020) ดังนั้น ความสามารถในการควบคุมวัชพืชของสารแต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างกันได้

จากการประเมินความสามารถในการควบคุมวัชพืชของสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกแต่ละชนิด

แสดงให้เห็นว่า การพ่นสาร atrazine, indaziflam, isoxaflutole + cyprosulfamide, oxyfluorfen, pendimethalin และ sulfentrazone มีการควบคุมวัชพืชโดยรวมได้ดีใกล้เคียงกันซึ่งแตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีการกำจัดวัชพืชด้วยมือและการปล่อยให้วัชพืชขึ้นรบกวน อย่างไรก็ตาม การพ่นสาร diclosulam อัตรา 12.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ มีการควบคุมวัชพืชโดยรวมได้ดีที่สุด แต่ส่งผลยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของปทุมมา แสดงให้เห็นว่า การพ่นสาร diclosulam ที่อัตราดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมกับการควบคุมวัชพืชในแปลงปลูกปทุมมา อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์หลังการพ่นสาร แสดงให้เห็นว่า การพ่นสาร atrazine อัตรา 270 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ ให้ผลลัพธ์ที่มีความคุ้มค่ากับต้นทุนมากที่สุด ซึ่งข้อมูลพื้นฐานทางด้านการงอกและการเจริญเติบโตของพืช ความสามารถในการควบคุมวัชพืชของสาร และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกรรมวิธีหลังการพ่นสาร สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดในการตัดสินใจถึงการเลือกวิธีการป้องกันกำจัดวัชพืชได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการประเมินผลที่เกิดจากการใช้สารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกที่มีต่อการเจริญเติบโตของปทุมมาในช่วงแรก จึงควรมีการประเมินผลกระทบที่มีต่อผลผลิตดอกและหัวของปทุมมาในอนาคต แต่อย่างไรก็ตาม ปทุมมามีการเจริญเติบโตปกติที่ 21 วันหลังวันพ่นสาร เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีการกำจัดวัชพืชด้วยมือ ยกเว้นการพ่นสาร diclosulam อัตรา 12.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ ส่งผลให้ปทุมมามีการเจริญเติบโตผิดปกติ จึงเป็นไปได้ว่า การใช้ชนิดและอัตราของสารกำจัดวัชพืชแบบก่อนงอกที่มีความเหมาะสมจะไม่ส่งผลต่อผลผลิตดอกและหัวของปทุมมาในอนาคต

## สรุป

การพ่นสาร atrazine ที่อัตรา 270 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ เพื่อควบคุมวัชพืชหลังการปลูกปทุมมามีความเหมาะสมมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการพ่นสารชนิดอื่น ๆ ทั้งในด้านผลกระทบต่อพืชปลูก ความสามารถในการควบคุมวัชพืช และคุ้มค่ากับต้นทุนในการพ่นสาร อย่างไรก็ตาม การพ่นสาร diclosulam ที่อัตรา 12.6 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ มีผลยับยั้งการงอกและการเติบโตของปทุมมาอย่างสมบูรณ์

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์บริการการพัฒนาขยายพันธุ์ไม้ดอกไม้ผลบ้านไร่อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่, ทีมงานวิจัยทางด้านวิทยาการวัชพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และคุณองอาจ ศรีสงคราม บริษัท บาก้า จำกัด ที่สนับสนุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

Bharty, S. and P. Kumar. 2017. Effect of integrated weed management in turmeric (*Curcuma longa* L.) - A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 6(Suppl. 1): 707-716.

Bundit, A. 2019. Evaluation of preemergence herbicide efficacy for weed control in sugarcane field. Journal of Agriculture 35(3): 413-423. (in Thai)

Ekeleme, F., A. Dixon, G. Atser, S. Hauser, D. Chikoye, P.M. Olorunmaiye, A. Olojede, S. Korie and S. Weller. 2020. Screening preemergence herbicides for weed control in cassava. Weed Technology 34(5): 735-747.

Eshetu, T., M. Adissu and F. Asfaw. 2015. Effect of weed management methods on the growth and yield of turmeric in Metu, Illubabor, Ethiopia. International Journal of African and Asian Studies 11: 115-119.

Hossain, M.A. 2005. Agronomic practises for weed control in turmeric (*Curcuma longa* L.). Weed Biology and Management 5: 166-175.

Hutchinson, E. 2017. Principles of Microeconomics. 1st ed. University of Victoria (Uvic), Canada. 549 p.

Kamenetsky, R. and H. Okubo. 2013. Ornamental Geophytes: From Basic Science to Sustainable Production. CRC Press, New York. 598 p.

Khalil, Y., K. Flower, K.H.M. Siddique and P. Ward. 2019. Rainfall affects leaching of pre-emergent herbicide from wheat residue into the soil. PLoS ONE 14(2): e0210219, doi: 10.1371/journal.pone.0210219.

Matte, W.D., S.D. Cavalieri, C.S. Pereira, F.S. Ikeda and W.B. Costa. 2019. Residual activity of diclosulam applied to soybean on cotton crop in succession. Planta Daninha 37: e019181370, doi: 10.1590/s0100-83582019370100016.

Mahajan, G. and B.S. Chauhan. 2021. Interference of wild oat (*Avena fatua*) and sterile oat (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana*) in wheat. Weed Science 69(4): 485-491.

Pannacci, E., M. Farneselli, M. Guiducci and F Tei. 2020. Mechanical weed control in onion seed production. Crop Protection 135: 105221, doi: 10.1016/j.cropro.2020.105221.

Rahman, A., B. Burney, J.M. Whitham and B.E. Manson. 1976. A comparison of the activity of herbicides in peat and mineral soils. New Zealand Journal of Experimental Agriculture 4(1): 79-84.

Singh, S.P., V.P. Singh, R.C. Nainwal, N. Tripathi and A. Kumar. 2009. Efficacy of diclosulam on weeds and yield of soybean. Indian Journal of Weed Science 41(3&4): 170-173.

Vanhala, P., D. Kurstjens, J. Ascard, A. Bertram, D.C. Cloutier, A. Mead, M. Raffaelli and J. Rasmussen. 2004. Guidelines for physical weed control research: flame weeding, weed harrowing and intra-row cultivation. pp. 194-225. *In*: Proceedings of the 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Lillehammer.

Vichailak, O. 2005. Siam Tulip (*Curcuma alismatifolia*). Agricultural Co-operative Federation of Thailand Press, Bangkok. 131 p. (in Thai)

# ประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดราบางชนิดในการยับยั้งการงอกและการมีชีวิตของสปอร์ราแป้งสตรอว์เบอร์รี

# Fungicides Efficacy on Inhibition of Spore Germination and Viability of Strawberry Powdery Mildew

**รวิพล ต่ายคง[1] วิศิษฐ์ เจริญอึ๊ง[2] ทิพย์ประภา พรมเทพ[3]**
**มนัญชยา บุญตัว[3] และ เกวลิน คุณาศักดากุล[3*]**
Rawipon Taikhong[1], Wisit Jaroenueng[2], Tipprapa Promthep[3],
Mananchaya Boontua[3] and Kaewalin Kunasakdakul[3*]

*[1] งานบริหารงานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[1] Section of Research Administration and International Relations, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
*[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[2] Biotechnology Program, Graduate School, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
*[3] สาขาวิชาโรคพืช ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[3] Division of Plant Pathology, Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
**Corresponding author: Email: kaewalin.k3@gmail.com*

*(Received: 8 August 2021; Accepted: 10 November 2021)*

**Abstract**: This research aimed to study the efficacy of some fungicides for inhibition of powdery mildew fungi in strawberry plants. Twelve treatments were established using the highest recommended rate of contact fungicides; electrolyzed oxidized water (EOW), sulfur, aliphatic hydrocarbon, sodium bicarbonate, mancozab, and systemic fungicides; azoxystrobin, difenoconazole + azoxystrobin, triforine, metalaxyl, penthiopyrad, and carbendazim. Sterile distilled water was set as a comparing control treatment. After Incubating the fungus spore for 6, 12, 18 and 24 hours in each treatment, consistent results of spore germination and viability inhibitions over tested time were observed. The trials for 24 hours, we found that EOW, sulfur, aliphatic hydrocarbon, mancozeb, difenoconazole + azoxystrobin, triforine, metalaxyl, and penthiopyrad chemicals showed non-statistical significance of the high rate spore germinating inhibition at 99 - 100 %. However, FDA stained treatment for detecting spore viability under inverted fluorescent microscope, EOW, sulfur and aliphatic hydrocarbon treatments revealed non-statistical significance at very high rate to inhibit spore viability as consistent for the results of germinations trials. In case of mancozab, rate of spore germinating inhibition was very high at 99.81 %, but low rate at 54.43 % of spore viability inhibition was determined. Although sodium bicarbonate and

metalaxyl showed high percentage of spore germinating inhibition at 78.35 and 86.01 % respectively, the ability for inhibiting spore viability was not sufficient. This results revealed that some fungicides effectively inhibited spore germination of powdery mildew fungus but could not successfully suppress the disease due to ability to inhibit spore viability was not sufficient.

**Keywords:** Strawberry, powdery mildew spore, fungicide

**บทคัดย่อ**: การศึกษาการยับยั้งการงอกและการมีชีวิตของสปอร์ราแป้งสตรอว์เบอร์รี มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดรา 2 กลุ่ม รวม 11 กรรมวิธี คือ ประเภทสัมผัส ได้แก่ electrolyzed oxidized water (EOW), sulfur, aliphatic hydrocarbon, sodium bicarbonate และ mancozab และประเภทดูดซึม ได้แก่ azoxystrobin, difenoconazole + azoxystrobin, triforine, metalaxyl, penthiopyrad และ carbendazim โดยใช้ในอัตราแนะนำสูงสุด และมีน้ำกลั่นฆ่าเชื้อเป็นกรรมวิธีควบคุม ผลการทดลองหลังบ่มสปอร์ราแป้งบนเยื่อหอมที่แช่ในสารละลายสารป้องกันกำจัดราแต่ละชนิดที่ระยะเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง หลังการปลูกเชื้อ ให้ผลในทำนองเดียวกัน โดยการทดลองที่ 24 ชั่วโมง พบว่า สารป้องกันกำจัดราที่สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ราแป้งได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าสูงสุดที่ 99 - 100 % ได้แก่ EOW, sulfur, aliphatic hydrocarbon, mancozeb, difenoconazole + azoxystrobin, triforine, metalaxyl และ penthiopyrad และเมื่อนำสปอร์ในแต่ละกรรมวิธีมาย้อมด้วย FDA เพื่อตรวจสอบความมีชีวิตภายใต้กล้อง inverted fluorescent พบว่า EOW, sulfur และ aliphatic hydrocarbon มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันทางสถิติในการทำให้สปอร์ตายและสอดคล้องกับการยับยั้งการงอกที่สูงที่สุด แต่พบว่า mancozab แม้จะสามารถยับยั้งการงอกได้ถึง 99.81 % แต่พบการตายของสปอร์เพียง 54.43 % ส่วนกรณี sodium bicarbonate และ metalaxyl แม้จะสามารถยับยั้งการงอกได้ค่อนข้างสูงที่ 78.35 และ 86.01 % ตามลำดับ แต่พบว่าไม่สามารถลดความมีชีวิตของสปอร์ราแป้งได้ แสดงให้เห็นว่าสารป้องกันกำจัดราบางชนิดอาจมีผลในการชะลอการเข้าทำลายของเชื้อราแป้งด้วยการยับยั้งการงอกของสปอร์แต่อาจไม่สามารถควบคุมการเกิดโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากไม่สามารถยับยั้งการมีชีวิตของสปอร์ได้

**คำสำคัญ**: สตรอว์เบอร์รี สปอร์ราแป้ง สารป้องกันกำจัดรา

## คำนำ

สตรอว์เบอร์รี (*Fragaria x ananassa* Duchesne) จัดเป็นไม้ผลขนาดเล็กที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งปลูกได้ในพื้นที่ที่มีอากาศเย็นในเขตภาคเหนือของไทย และถือเป็นพืชที่มีความอ่อนแอต่อโรคและแมลงศัตรูมากชนิดหนึ่ง ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีโรงเรือนที่มีความทันสมัยเข้ามาใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิต เนื่องด้วยการผลิตในโรงเรือนที่มีการควบคุมบางปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม มักก่อให้เกิดสภาพที่มีความเข้มแสงต่ำ สภาพวันสั้น ความชื้นสูงและอุณหภูมิต่ำ (Maas, 1998) ซึ่งเป็นปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญและแพร่ระบาดของโรคราแป้ง เชื้อราสาเหตุโรคราแป้งได้แก่ *Podosphaera aphanis* var. *aphanis* (Meeboon *et al*., 2016) สามารถเข้าทำลายสร้างความเสียหายให้กับพืชได้รุนแรงและรวดเร็ว โดยจะพบอาการโรคคล้ายมีผงแป้งปกคลุมอยู่บนส่วน ใบ ก้านใบ และผล ทำให้ใบพืชมีอาการงอม้วนขึ้นคล้ายกับรูปถ้วย เมื่อเวลาผ่านไปการทำลายที่รุนแรงมากขึ้นจะทำให้เนื้อเยื่อพืชเกิดรอยไหม้เป็นแผลสีน้ำตาลแดง ในการควบคุมโรคราแป้งเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้สารป้องกันกำจัดราหลายชนิดและมักประสบปัญหาไม่สามารถควบคุมโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มีการใช้มากขึ้นทั้งจำนวนชนิดของสารและปริมาณ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการดื้อต่อ

สารป้องกันกำจัดราในราแป้งได้ ดังนั้น วัตถุประสงค์การทดลองครั้งนี้จึงได้คัดเลือกสารป้องกันกำจัดราบางชนิดที่เกษตรกรนิยมใช้ในการป้องกันกำจัดโรคราแป้งของสตรอว์เบอร์รี โดยมุ่งประเมินประสิทธิภาพในการยับยั้งการงอกและการฆ่าสปอร์ราแป้ง ของสารป้องกันกำจัดราประเภทสัมผัสและดูดซึม เพื่อให้ได้ข้อมูลสำคัญที่สามารถนำมาประกอบการเลือกใช้สารป้องกันกำจัดราในการควบคุมโรคราแป้งของสตรอว์เบอร์รีต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การศึกษาอาการและสัณฐานวิทยาสปอร์ราแป้ง

ศึกษาลักษณะอาการของโรคราแป้งของสตรอว์เบอร์รี โดยเก็บรวบรวมตัวอย่างที่พบการระบาดภายในแปลงเพาะปลูกสตรอว์เบอร์รี ภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (evaporative cooling system) คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ บันทึกลักษณะอาการของโรค และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสปอร์ราแป้งภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ได้แก่ ลักษณะเส้นใย รูปร่างและขนาดของสปอร์ และการงอกของสปอร์

### การเตรียมเยื่อหอมและสารละลาย

เตรียมเยื่อหอมโดยนำหอมหัวใหญ่สีขาวผ่าแบ่งครึ่ง ลอกใช้เฉพาะส่วนในของกาบใบที่มีลักษณะเป็นมันเงา จากนั้นตัดให้มีขนาด 0.5-1.0 x 0.5-1.0 เซนติเมตร แช่ในสารละลาย ethanol 95 % v/v เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น และล้างผ่านน้ำไหลอีกครั้งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นเตรียมสารป้องกันกำจัดราตามคำแนะนำในอัตราการใช้สูงสุด ประกอบด้วย 2 กลุ่มสาร ได้แก่ กลุ่มสารประเภทสัมผัส ได้แก่ electrolyzed oxidized water (EOW; 0.2%NaCl ผ่านกระแสไฟฟ้า 10 นาที), sulfur 0.8 กรัมต่อ200 มิลลิลิตร, aliphatic hydrocarbon 0.4 มิลลิลิตรต่อ200 มิลลิลิตร, sodium bicarbonate 1.5 กรัมต่อ200 มิลลิลิตร และ mancozab 0.6 กรัมต่อ 200 มิลลิลิตร และกลุ่มสารประเภทดูดซึม ได้แก่ azoxystrobin 0.1 มิลลิลิตรต่อ 200 มิลลิลิตร, difenoconazole + azoxystrobin 0.1 มิลลิลิตรต่อ200 มิลลิลิตร, triforine 0.2 มิลลิลิตรต่อ200 มิลลิลิตร, metalaxyl 0.3 กรัมต่อ200 มิลลิลิตร, penthiopyrad 0.1 มิลลิลิตรต่อ200 มิลลิลิตร และ carbendazim 2 มิลลิลิตรต่อ200 มิลลิลิตร โดยมีน้ำกลั่นฆ่าเชื้อเป็นกรรมวิธีควบคุม รวม 12 กรรมวิธี

### การยับยั้งการงอกของสปอร์

นำเยื่อหอมมาลอยบนผิวหน้าสารละลายของสารป้องกันกำจัดราในแต่ละกรรมวิธีเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำเยื่อหอมไปปลูกเชื้อด้วยสปอร์ราแป้งด้วยวิธีการกดกลุ่มสปอร์ราแป้งลงบนเยื่อหอม และนำเยื่อหอมกลับไปลอยบนผิวหน้าสารละลายดังเดิม บันทึกผล เมื่อเวลาผ่านไป 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงหลังการปลูกเชื้อ โดยนับจำนวนสปอร์ที่งอก (spore germination) ในแต่ละกรรมวิธี บันทึกผลกรรมวิธีละ 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) เปรียบเทียบโดยใช้วิธี least significant difference (LSD) วิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยคำนวณการยับยั้งการงอกของสปอร์ได้จากสูตร ดังนี้

การยับยั้งการงอกของสปอร์ (%)

$$= 100 - \left( \frac{\text{จำนวนสปอร์ที่งอก}}{\text{จำนวนสปอร์ที่นับทั้งหมด}} \times 100 \right)$$

### ความมีชีวิตรอดของสปอร์ราแป้ง

เตรียมสารละลาย fluorescein diacetate (FDA) ความเข้มข้น 1 % โดยใช้เอทานอล 99.99 % v/v เป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำไปเจือจางให้ได้สารลาย FDA ความเข้มข้น 0.1% เก็บสารละลายไว้ที่ 4 °C เพื่อใช้ในการย้อมตรวจสอบความมีชีวิตรอดของสปอร์ จากนั้นเตรียมสปอร์ราแป้งโดยเก็บรวบรวมใบสตรอว์-เบอร์รีที่แสดงอาการโรคราแป้งนำมาปัดสปอร์ลงในน้ำกลั่นฆ่าเชื้อ จากนั้นนำไปปั่นให้สปอร์ตกตะกอนโดยเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm นาน 1 นาที ล้างสปอร์ด้วยน้ำกลั่นฆ่าเชื้ออีกครั้งด้วยวิธีข้างต้น จากนั้น นำสปอร์แขวนลอยที่ได้มาผสมในอัตรา

1:1 (v/v) ในสารละลายของสารป้องกันกำจัดราแต่ละชนิด (ความเข้มข้น 2 เท่า) ให้มีความเข้มข้นเท่ากันกับการเตรียมสารละลายที่กล่าวไว้ข้างต้น จากนั้นบ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำสปอร์แขวนลอย 20 ไมโครลิตร หยดลงบนสไลด์หลุม พร้อมทั้งหยดสารละลาย FDA ความเข้มข้น 0.1 % ปริมาตรเท่ากันลงไป ผสมให้เข้ากันก่อนนำไปตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ inverted fluorescent microscope (Olympus IMT-2) บันทึกข้อมูลการมีชีวิตรอด (viable spore) โดยนับจำนวนสปอร์ที่เรืองแสงสีเขียวภายใต้แสง UV เปรียบเทียบกับจำนวนสปอร์ภายใต้แสงขาว บันทึกผลกรรมวิธีละ 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) เปรียบเทียบโดยใช้วิธี least significant difference (LSD) วิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยคำนวณการยับยั้งความมีชีวิตรอดของสปอร์ราแป้งได้จากสูตร ดังนี้

การยับยั้งความมีชีวิตรอดของสปอร์ (%)

$$=100-\left(\frac{\text{จำนวนสปอร์ที่เรืองแสง}}{\text{จำนวนสปอร์ที่นับทั้งหมด}}\times 100\right)$$

## ผลการทดลอง

### อาการและสัณฐานวิทยาสปอร์ราแป้ง

จากการศึกษาตัวอย่างสตรอว์เบอร์รีที่แสดงอาการโรคราแป้ง พบการเจริญของราแป้งบนผิวใบ ดอก และผล มีลักษณะเป็นกลุ่มเชื้อราสีขาวคล้ายผงแป้งปกคลุมกระจายบนผิวของพืช โดยอาการที่พบมักเกิดบนใบล่างก่อนเมื่อมีอาการรุนแรงเชื้อราแป้งจะปกคลุมทั่วทั้งใบ ทำให้ใบมีแผลสีน้ำตาล และใบมีลักษณะงอขึ้นห่อเป็นถ้วย (Figure 1A) และอาการบนดอกและผลจะมีเส้นใยสีขาวปกคลุม หากอาการรุนแรงจะปรากฏแผลสีน้ำตาลที่ฐานรองดอกทำให้ดอกไม่สามารถพัฒนาเป็นผลได้ (Figure 1B, C, D, E, F) ยังพบลักษณะราแป้งภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิด compound มีเส้นใยใสไม่มีสี (hyaline) primary spore มีผนังเรียบ รูปร่างทรงรีหรือทรงกระบอก มีลักษณะใส ไม่มีสี มีขนาดเฉลี่ย 15.50 x 27.75 μm และ secondary spore มีรูปร่างทรงรี ผนังเรียบ มีลักษณะใสไม่มีสี มีขนาดเฉลี่ย 16.87 x 27.37 μm ภายในประกอบด้วย fibrosin bodies (Figure 1H) ต่อกับก้านชูสปอร์ที่มีลักษณะใส ไม่มีสี มีขนาดเฉลี่ย 10.67 x 148.18 μm (Figure 1G) และรูปแบบการงอกของ conidia เป็นแบบ Fibroidium type (Figure 1I) ซึ่งเป็น asexual stage ของ *Oidium* subgen. *Fibroidium* สาเหตุโรคราแป้งของสตรอว์เบอร์รี

### การยับยั้งการงอกของสปอร์

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดราในการยับยั้งการงอกของสปอร์ราแป้งบนเยื่อหอมที่ลอยบนสารละลายของสารป้องกันกำจัดราชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่า ในชุดควบคุม สปอร์ของราแป้งมีร้อยละของการงอกเพิ่มขึ้นในทุกช่วงเวลา และสามารถงอก 100 % ที่ 24 ชั่วโมง สังเกตจากการพบ germ tube เจริญออกมาจากปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือกลางสปอร์ ซึ่งสปอร์ที่ไม่งอกจะไม่พบ germ tube นี้ (Figure 2) สำหรับการยับยั้งการงอกของสปอร์ราแป้งโดยสารป้องกันกำจัดราประเภทสัมผัสจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ EOW, sulfur, aliphatic hydrocarbon และ mancozab พบว่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงที่สุดที่ 100 % ไม่แตกต่างทางสถิติในทุกช่วงระยะเวลา สำหรับ sodium bicarbonate มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระหว่าง 68.94 - 78.35 % ในระยะเวลา 6 - 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนการยับยั้งการงอกโดยสารป้องกันกำจัดราประเภทดูดซึมจำนวน 6 ชนิด พบว่า 3 ชนิด ได้แก่ difenoconazole + azoxystrobin, triforine และ penthiopyrad มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงที่สุดไม่แตกต่างทางสถิติในทุกช่วงระยะเวลาและไม่แตกต่างจากสารประเภทสัมผัสที่กล่าวข้างต้น เมื่อตรวจนับการงอกของสปอร์ในกรรมวิธีต่าง ๆ หลังการบ่มเชื้อ 24 ชั่วโมง พบว่า sodium bicarbonate มีการยับยั้งการงอกของสปอร์อยู่ที่ 78.35 % สำหรับสารประเภทดูดซึม พบว่า azoxystrobin และ carbendazim มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการงอกของสปอร์อยู่ในช่วง 44.39 - 49.54 % ซึ่งต่ำกว่าสารป้องกันกำจัดราประเภทสัมผัสที่กล่าวข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1)

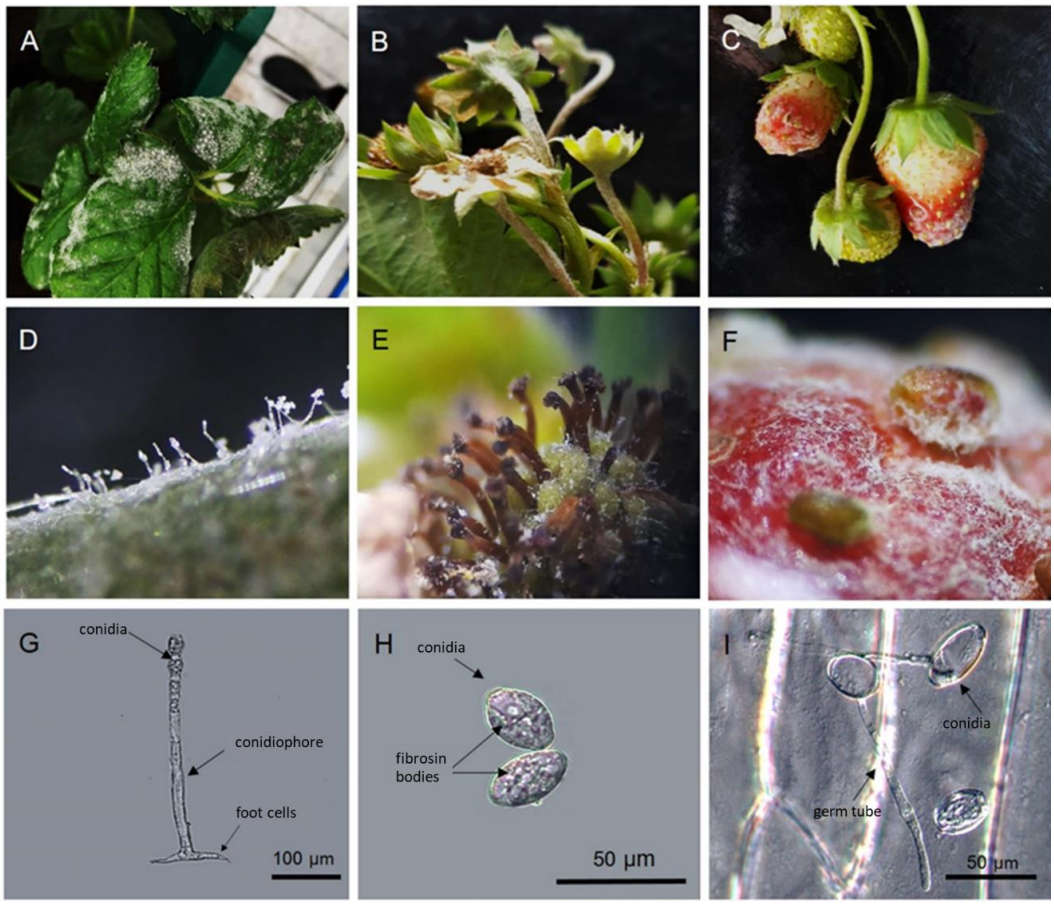


Figure 1. Symptoms of strawberry powdery mildew and morphology of fungus pathogen under microscope. A and D: symptom on leaves; B and E: symptom on flowers; C and F: symptom on fruits; G: conidiophore and conidia; H: conidia; I: germination of conidia

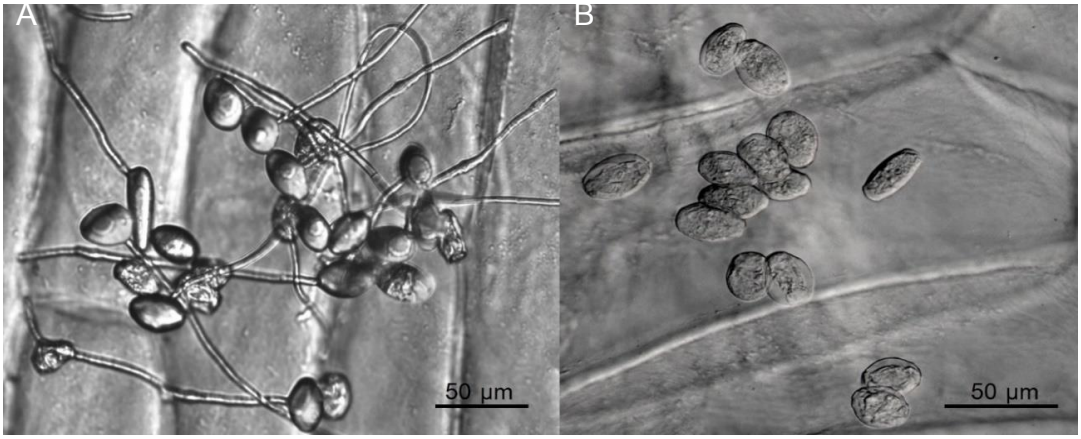


Figure 2. Characteristics of strawberry powdery mildew spore after incubating for 24 hours. A; spore germination in sterile distilled water (control) B; non germinating spore in sulfur treatment

Table 1. Percentages inhibition of spore germination and viability of powdery mildew fungus after incubating in 11 fungicides at 6, 12, 18 and 24 hours

| Treatment | | % Inhibition of spore germination[1] | | | | % Inhibition of spore viability[2] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 6 hrs | 12 hrs | 18 hrs | 24 hrs | 24 hrs |
| control | sterile distilled water (DI water) | 43.33[e3] | 23.06[e] | 10.05[f] | 0.00[d] | 0.00[d] |
| fungicides | EOW | 100.00[a] | 100.00[a] | 100.00[a] | 100.00[a] | 93.34[a] |
| | sulfur | 100.00[a] | 100.00[a] | 100.00[a] | 100.00[a] | 91.56[a] |
| | aliphatic hydrocarbon | 100.00[a] | 100.00[a] | 100.00[a] | 100.00[a] | 89.05[a] |
| | sodium bicarbonate | 68.94[c] | 60.59[c] | 79.61[c] | 78.35[b] | 0.00[d] |
| | mancozab | 99.67[a] | 99.79[a] | 99.72[a] | 99.81[a] | 54.43[bc] |
| fungicides | azoxystrobin | 75.08[c] | 50.87[d] | 60.36[d] | 44.39[c] | 93.82[a] |
| | difenoconazole + azoxystrobin | 99.16[a] | 98.51[a] | 99.80[a] | 99.71[a] | 60.59[b] |
| | triforine | 98.72[ab] | 96.93[ab] | 99.46[a] | 99.73[a] | 59.72[b] |
| | metalaxyl | 92.33[b] | 88.26[b] | 90.12[b] | 86.01[ab] | 0.00[d] |
| | penthiopyrad | 99.68[a] | 99.87[a] | 100.00[a] | 99.76[a] | 48.10[c] |
| | carbendazim | 56.04[d] | 66.34[c] | 35.88[e] | 49.54[c] | 68.59[b] |
| CV% | | 4.47 | 6.40 | 6.07 | 11.66 | 11.06 |
| LSD | | 6.48 | 8.84 | 8.31 | 15.68 | 8.49 |

[1] Inhibition percentages of spore germination in different time compared with control

[2] Inhibition percentages of spore viability after dyeing by FDA solution

[3] Values with the same letter within a column are not significant at $P \geq 0.05$

**การมีชีวิตของสปอร์**

การตรวจสอบการมีชีวิตรอดของสปอร์-ราแป้งที่สัมผัสกับสารละลายของสารป้องกันกำจัดราชนิดต่าง ๆ หลังการย้อมด้วย FDA และตรวจดูการเรืองแสงของสปอร์ภายใต้กล้อง inverted fluorescent microscope จากผลการทดลองที่แสดงใน Table 1 ข้างต้น พบว่า สปอร์ราแป้งที่สัมผัสกับสาร 4 ชนิด มีเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการมีชีวิตรอด (เปอร์เซ็นต์สปอร์ตาย) สูงที่สุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ได้แก่ azoxystrobin, EOW, sulfur และ aliphatic hydrocarbon โดยมีร้อยละการยับยั้งการมีชีวิตรอดเท่ากับ 93.82, 93.34, 91.56 และ 89.05 % ตามลำดับ ขณะที่ sodium bicarbonate และ metalaxyl ไม่มีการตายของสปอร์เลย (Figure 3) ส่วน carbendazim, difenoconazole + azoxystrobin, triforine และ mancozab มีร้อยละการยับยั้งการมีชีวิตรอดหรือทำให้สปอร์ราแป้งตายได้เท่ากับ 68.59, 60.59, 59.72 และ 54.43% ตามลำดับ

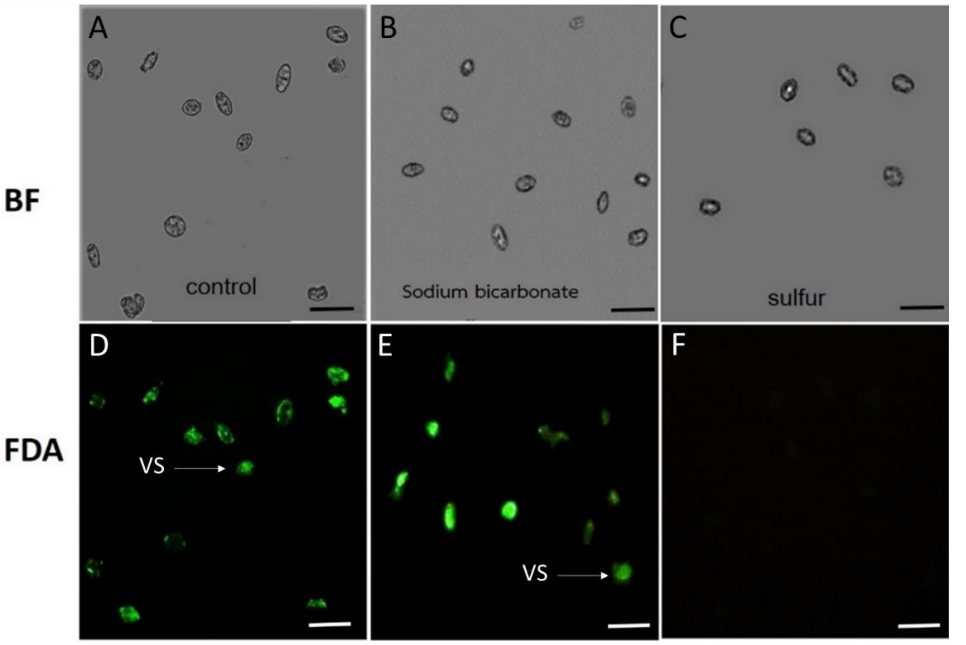


Figure 3. Viability of powdery mildew spore after 24 h incubation in sterile distilled water (control A,D), sodium bicarbonate (B,E) and sulfer (C,F) visualized using inverted fluorescent microscope under bright field (BF) and bandpass filter for fluorescein diacetate (FDA). Spore exhibit green fluorescence with FDA indicating viable spore (VS), dead spore were not fluoresced. Scale bars indicate 50 μm

## วิจารณ์ผลการทดลอง

อาการและสัณฐานวิทยาสปอร์ราแป้งที่พบในการทดลองเป็นไปตามลักษณะการจำแนกจัดเป็นชนิด *P. aphanis* โดย Ale-Agha *et al*. (2008), Braun (1985), Calis *et al*. (2015), Glawe (2006) และ Meeboon *et al*. (2016) และเมื่อนำมาทดสอบกับสารป้องกันกำจัดราประเภทสัมผัส ได้แก่ EOW, sulfur และ aliphatic hydrocarbon มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการงอกและการมีชีวิตของสปอร์ราแป้งสูงที่สุด (100.00 %) ไม่แตกต่างกัน โดย EOW มีฤทธิ์เป็นกรดของ hypochlorous acid (HOCl) ซึ่งสามารถใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Kim *et al*., 2000) และ Boonmee and Kunasakdakul (2013) ได้รายงานว่าสามารถนำมาใช้ในการควบคุมโรคราแป้งของพืชวงศ์แตงได้ดี ส่วน sulfur จากรายงาน Tammasorn *et al*. (2017) พบว่า สามารถลดการงอกของสปอร์ราแป้งลงได้ถึง 87.32 - 93.66 % ที่อัตราการใช้ 15 และ 30 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ตามลำดับ และคาดว่าในสาร aliphatic hydrocarbon มีความสามารถในการเคลือบพื้นผิวของสปอร์ทำให้เกิดการขัดขวางการแลกเปลี่ยนของอากาศ (Reid and Seifert, 1982) สำหรับ sodium bicarbonate ที่พบว่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการงอกของสปอร์ราแป้งสตรอว์เบอร์รีได้ค่อนข้างดีที่ 60.59 - 79.61 % สอดคล้องกับรายงานของ Demir *et al*. (1997), Fallik *et al*. (1997) และ Tammasorn *et al*. (2017) อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ได้เสนอผลการตรวจสอบความมีชีวิตรอดของสปอร์ราแป้งด้วยการย้อมสาร FDA และตรวจดูการเรืองแสงของสปอร์ภายใต้กล้อง inverted fluorescent microscope ซึ่งจะแสดงถึงการมีกิจกรรมของเอนไซม์เอสเทอเรสของสปอร์ที่ยังคงมีชีวิต (Boyd *et al*., 2008) สปอร์ที่สัมผัสกับ sodium bicarbonate แม้จะสามารถยับยั้งการงอกได้ แต่ไม่สามารถทำให้สปอร์ตายได้เลยแสดง

ให้เห็นว่าการใช้ sodium bicarbonate อาจชะลอการเข้าทำลายพืชแต่ไม่สามารถควบคุมโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับกรณีของ mancozab และ metalaxyl ส่วน difenoconazole + azoxystrobin กับ azoxystrobin พบว่า สารผสมมีประสิทธิภาพสูงกว่า มีรายงานพบว่า azoxystrobin สามารถยับยั้งราแป้งที่เกิดจาก *P. macularis* เฉพาะเจาะจงชนิดเดียวเท่านั้น (Reuveni and Sheglov, 2002) และผลการทดลองของ Keinath (2015) รายงานว่าการใช้สาร azoxystrobin ไม่สามารถควบคุมการเจริญของโคโลนีของราแป้งได้เลยเทียบเท่ากับการใช้น้ำเปล่า ขณะที่ Kakade *et al*. (2006) ได้รายงานว่าสาร difenoconazole สามารถยับยั้งโรคราแป้งได้ในกุหลาบได้ดีกว่าสารชนิดอื่น ส่วน triforine มีประสิทธิภาพในการควบคุมการงอกของสปอร์ราแป้งได้ดีที่ 96.93 - 99.73 % เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่ 24 ชั่วโมง สอดคล้องกับผลการทดลองของ (Lee *et al*., 2004) พบว่า สาร triforine ที่ใช้กับโรคราแป้งในแตงกวามีความสามารถยับยั้งสปอร์งอกได้ 100.00 % โดยมีค่าความงอกของสปอร์อยู่ที่ 0.00 % เช่นเดียวกับรายงานของ Paulus and Nelson (1988) ซึ่งได้ทำการทดสอบสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันโรคราแป้งในกุหลาบพบว่า triforine และ penthiopyrad ยับยั้งการงอกของสปอร์ได้ดีมากแต่ฆ่าสปอร์ได้ไม่มากนัก ซึ่งเมื่อนำไปใช้อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการควบคุมโรคได้ สำหรับ carbendazim มีผลการยับยั้งการงอกและการมีชีวิตของสปอร์ได้น้อยที่สุดในการทดลองนี้ และ Anand *et al*. (2010) รายงานการใช้ carbendazim ในการควบคุมราแป้งในพริกที่เกิดจากเชื้อ *Leveillula taurica* พบว่า ทุกการทดลองเมื่อพ่นด้วย carbendazim ทำให้ดัชนีการเกิดโรคราแป้งเพิ่มขึ้น และจากรายงานของ Hiremath and Lal (2018) พบว่า การพ่น carbendazim สามารถควบคุมโรคราแป้งได้เพียง 48.99 % และ 54.47 % เมื่อเวลาผ่านไป 10 และ 20 วันหลังการพ่นตามลำดับ

## สรุป

ประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดรา 2 กลุ่ม คือ ประเภทสัมผัส และประเภทดูดซึม รวม 11 ชนิด ผลการทดลองของสารแต่ละชนิดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ให้ผลในทำนองเดียวกัน และที่ 24 ชั่วโมง มีสารเคมีจำนวน 8 ชนิด ที่สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ราแป้งได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยมีค่าสูงสุดที่ 100 % ได้แก่ EOW, sulfur, aliphatic hydrocarbon, mancozeb, difenoconazole + azoxystrobin, triforine, metalaxyl และ penthiopyrad และเมื่อตรวจสอบความมีชีวิตของสปอร์ พบว่า สารเคมีประเภทสัมผัส ได้แก่ EOW, sulfur และ aliphatic hydrocarbon มีประสิทธิภาพในการทำให้สปอร์ตายสอดคล้องกับการยับยั้งการงอกที่สูงที่สุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการวิจัยพัฒนาสตรอว์เบอร์รีปลอดโรคภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ สังกัดงานบริหารงานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

Ale-Agha, N., H. Boyle, U. Braun, H. Butin, H. Jage, V. Kummer and H.D. Shin. 2008. Taxonomy, host range, and distribution of some powdery mildew fungi (Erysiphales). Schlechtendalia 17: 39-54.

Anand, T., A. Chandrasekaran, S. Kuttalam, G. Senthilraja and R. Samiyappan. 2010. Integrated control of fruit rot and powdery mildew of chilli using the biocontrol agent *Pseudomonas fluorescens* and a chemical fungicide. Biological Control 52(1): 1-7.

Boonmee, S. and K. Kunasakdakul. 2013. Effects of electrolyzed oxidizing water on powdery mildew reduction of cucurbits. Journal of Agriculture 29(3): 257-266. (in Thai)

Boyd, V., O.M. Cholewa and K.K. Papas. 2008. Limitations in the use of fluorescein diacetate/propidium iodide (FDA/PI) and cell permeable nucleic acid stains for viability measurements of isolated islets of Langerhans. Current Trends in Biotechnology and Pharmacy 2(2): 66-84

Braun, U. 1985. Miscellaneous notes on the genus Sphaerotheca. I. Zentralblatt für Mikrobiologie 140(2): 161-170.

Calis, O., C. Cekic, S. Soylu and M. Tor. 2015. Identification of new resistance sources from diploid wild strawberry against powdery mildew pathogen. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 52(3): 677-683.

Demir, S., A. Gül and E. Onogur. 1997. The effect of sodium bicarbonate on powdery mildew in tomato. Acta Horticulturae 491: 449-452.

Fallik, E., O. Ziv, S. Grinberg, S. Alkalai and J. D. Klein. 1997. Bicarbonate solutions control powdery mildew (*Leveillula taurica*) on sweet red pepper and reduce the development of postharvest fruit rotting. Phytoparasitica 25(1): 41-43.

Glawe, D.A. 2006. Synopsis of genera of Erysiphales (powdery mildew fungi) occurring in the Pacific Northwest. Pacific Northwest Fungi 1(12): 1-27.

Hiremath, B. and A.A. Lal. 2018. Evaluation of fungicides for management of field pea (*Pisum sativum* L.) powdery mildew caused by *Erysiphe polygoni* DC. International Journal of Pure and Applied Bioscience 6(4): 516-520.

Kakade, D.S., S.B. Gurav, B.R. Singh and C.A. Nimbalker. 2006. Management of powdery mildew in rose under polyhouse condition. Journal of Ornamental Horticulture 9(4): 293-295.

Keinath, A.P. 2015. Efficacy of fungicides against powdery mildew on watermelon caused by *Podosphaera xanthii*. Crop Protection 75: 70-76.

Kim, C., Y.C. Hung and R.E. Brackett. 2000. Roles of oxidation–reduction potential in electrolyzed oxidizing and chemically modified water for the inactivation of food-related pathogens. Journal of Food Protection 63(1): 19-24.

Lee, S.Y., S.B. Lee, Y.K. Kim and H.G. Kim. 2004. Effect of agrochemicals on mycelial growth and spore germination of a hyperparasite, *Ampelomyces quisqualis* 94013 for controlling cucumber powdery mildew. The Korean Journal of Pesticide Science 8(1): 71-78.

Maas, J.L. 1998. Compendium of Strawberry Diseases. 2nd ed. U.S. American Phytopathological Society, St. Paul, MN. 98 p.

Meeboon, J., I. Hidayat and S. Takamatsu. 2016. Note on powdery mildews (Erysiphales) in Thailand I. *Podosphaera* sect. *Sphaerotheca*. Plant Pathology and Quarantine 6(2): 142-174.

Paulus, A and J. Nelson. 1988. Controlling powdery mildew and rust in roses. California Agriculture 42(4): 15.

Reid, I.D. and K.A. Seifert. 1982. Effect of an atmosphere of oxygen on growth, respiration, and lignin degradation by white-rot fungi. Canadian Journal of Botany 60(3): 252-260.

Reuveni, M. and D. Sheglov. 2002. Effects of azoxystrobin, difenoconazole, polyoxin B (polar) and trifloxystrobin on germination and growth of *Alternaria alternata* and decay in red delicious apple fruit. Crop Protection 21(10): 951-955.

Tammasorn, N., N. Wanasiri, W. Kuntasup, R. Cheewangkoon, R.J. McGovern and C. To-Anun. 2017. Controlling powdery mildew disease of *Craterostigma pumilum* Hochst. ornamental plant. International Journal of Agricultural Technology 13(2): 213-226.

# การใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์เป็นพลังงานทดแทน สำหรับเครื่องปั๊มน้ำขนาดเล็กในพื้นที่มูลนิธิโครงการหลวง

# Use of Biogas from Animal Feces as a Renewable Energy for Small Water Pump Engine in Royal Project Foundation Area

**สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์[1*] องอาจ ส่องสี[1] บุญล้อม ชีวะอิสระกุล[1]**
**กัญญารัตน์ พวกเจริญ[1] และ คาซูทากะ อูเมทสุ[2]**
Suchon Tangtaweewipat[1*], Ongart Songsee[1], Boonlom Cheva-Isarakul[1],
Kanyarat Puakchareon[1] and Kazutaka Umetsu[2]

*[1]ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[1]Department of Animal and Aquatic Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
*[2]Graduate School of Animal and Food Hygiene, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Hokkaido 080-8555, Japan*
**Corresponding author: Email: agani002@gmail.com*

*(Received: 12 July 2021; Accepted: 18 September 2021)*

**Abstract:** This study aimed to apply biogas with a gasoline engine motor to drive a small water pump in 3 highland farms of Royal Project Foundation at <800, 800-1,000 and >1,000 m above mean sea level (MSL). Hydrogen sulfide ($H_2S$) concentration in the biogas at <800 m which produced from the manure of chickens and breeding swine fed with commercial diet was the highest compared to the gas produced at 800-1,000 m and >1,000 m farms which used the manure of breeding swine fed with commercial diet plus rice bran and native vegetable and the fattening pigs fed with commercial diet (1,616.67, 776.67 and 1,533.33 ppm $H_2S$, respectively; $P<0.01$). It might be due to the effect of co-factors besides the elevation, i.e. the kind and the number of animals as well as the quality of feed. The filter, made of media beads coated with $Fe(OH)_3$ being filled in 15 x 60 x 60 cm of aluminum box, had high efficiency in reducing 99.84 - 100 % of $H_2S$. The biogas water pump engine was used according to the requirement of the farmers at 55.25, 22.50 and 68.50 min/day ($P<0.01$). Thus, it saved their expenses at 47.02, 19.15 and 58.29 Baht/day, respectively ($P<0.01$). In conclusion, the biogas can be produced even at the attitude of 1,000 m MSL. It can be an alternative energy for water pump in highland farms. The satisfaction of the farmers to the developed equipment was evaluated by scoring. They were highly satisfied and gave the score rated 4.65 out of 5.

**Keywords:** Biogas, renewable energy, small engine, water pump, Royal Project Foundation

**บทคัดย่อ**: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันแก๊สโซลีน หรือแก๊สโซฮอล์ 95 กับเครื่องยนต์สำหรับการปั๊มน้ำ ทำการศึกษาที่ฟาร์มของเกษตรกร มูลนิธิโครงการหลวง ที่อยู่ในระดับความสูงจากน้ำทะเลปานกลาง 3 ระดับ คือ น้อยกว่า 800, 800 - 1,000 และมากกว่า 1,000 เมตร โดยก๊าซชีวภาพที่นำมาใช้กับเครื่องยนต์ ผลิตจากมูลลูกไก่และมูลสุกรพ่อแม่พันธุ์เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปทางการค้า มูลสุกรพ่อแม่พันธุ์ที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมรำละเอียดกับผักพื้นบ้าน และจากมูลสุกรขุนที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูป ตามลำดับ พบว่า ก๊าซชีวภาพมีส่วนประกอบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$) หรือก๊าซไข่เน่า 1,616.67, 776.67 และ 1,533.33 ppm ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง *(P*<0.01*)* ตามชนิดและปริมาณของมูลสัตว์รวมทั้งอาหารที่ใช้เลี้ยงต่างกันด้วย โดยชุดกรองซึ่งประกอบด้วยเม็ดตัวกลางเคลือบด้วยเฟอริกไฮดรอกไซด์ [$Fe(OH)_3$] บรรจุในกล่องอะลูมิเนียมขนาด 15 x 60 x 60 เซนติเมตร สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 99.84 - 100 % เมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ปั๊มน้ำ พบว่า สามารถใช้งานได้ตามความต้องการของเกษตรกร คือ 55.25, 22.50 และ 68.50 นาทีต่อวัน *(P*<0.01*)* ช่วยลดค่าใช้จ่ายได้ 47.02, 19.15 และ 58.29 บาทต่อวัน ตามลำดับ *(P*<0.01*)* สรุปได้ว่า ก๊าซชีวภาพผลิตได้แม้จะอยู่ในที่สูง 1,000 เมตร และยังสามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องปั๊มน้ำในฟาร์มเกษตรกรบนพื้นที่สูงได้ โดยเกษตรกรผู้ใช้งานเครื่องยนต์มีความพึงพอใจในระดับ "มากที่สุด" ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ย 4.65 จากคะแนนเต็ม 5

**คำสำคัญ**: ก๊าซชีวภาพ พลังงานทดแทน เครื่องยนต์ขนาดเล็ก ปั๊มน้ำ มูลนิธิโครงการหลวง

## คำนำ

การส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่สูงของมูลนิธิโครงการหลวง ได้ทำมาอย่างต่อเนื่อง โดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นแหล่งอาหารโปรตีนของครอบครัว และเป็นรายได้ ชนิดสัตว์ที่ส่งเสริมประกอบด้วย สุกรดำ (มีขนลำตัวสีดำ) ไก่เบรส ไก่กระดูกดำ ไก่พื้นเมืองและลูกผสมพื้นเมือง แพะนม และควายนม เป็นต้น รวมทั้งส่งเสริมการทำบ่อหมักผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์เหล่านี้ เพื่อลดปัญหามลภาวะจากสิ่งปฏิกูล โดยเฉพาะเรื่องกลิ่นเหม็นและน้ำเสียจากมูล ปัสสาวะ และน้ำล้างคอกสัตว์ จากข้อมูลของงานวิจัยและพัฒนาปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง พบว่า เกษตรกรที่เลี้ยงสุกรประมาณ 20 ตัวต่อครัวเรือน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพียงพอสำหรับการหุงต้มประจำวันและมีเหลือใช้ (Tangtaweewipat *et al.,* 2011) การผลิตก๊าซชีวภาพบนพื้นที่สูงข้างต้นได้ใช้แบบบอลลูนหรือ CMU balloon digester ซึ่ง Tangtaweewipat *et al.* (2009) เป็นผู้คิดค้นขึ้น โดยใช้พลาสติกชนิดพีวีซีหรือ LDPE ที่มีลักษณะเป็นถุงทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เมตร มีความยาว 6 เมตร (หรือมากกว่าขึ้นกับปริมาณอินทรียวัตถุ) นำไปวางลงในบ่อที่มีความกว้าง 2 เมตร ยาว 4 เมตร ลึก 1 เมตร ถุงดังกล่าวมีปริมาตรความจุประมาณ 8 ลูกบาศก์เมตร แยกเป็นส่วนหมักที่เป็นของเหลว คือ มูลสัตว์และน้ำปริมาตรรวมกัน 5 ลูกบาศก์เมตร และส่วนเก็บก๊าซชีวภาพ 3 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันได้ประมาณ 35 % ของของเหลว หรือเท่ากับ 2 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเพียงพอต่อการใช้กับเตาหุงต้มจำนวน 2 เตา ใช้ก๊าซ 0.15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (Tangtaweewipat *et al.,* 2009; Tangtaweewipat *et al.,* 2018) หรือเพียงพอต่อการใช้กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน (gasoline engine) ขนาด 5.5 แรงม้า (hp) ผลิตกระแสไฟฟ้าจำนวน 3 กิโลวัตต์ (Songsee, 2012)

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) จึงให้ทุนสนับสนุนเพื่อวิจัยต่อยอดด้วยการนำก๊าซชีวภาพส่วนที่เหลือใช้มาพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้กับเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า โดย Tangtaweewipat *et al.* (2019) รายงานว่า การนำก๊าซชีวภาพมาทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้นั้นต้องพัฒนาชุดผสมระหว่างอากาศกับก๊าซชีวภาพก่อนการระเบิด (จุดติด) ของเครื่องยนต์ ซึ่งอัตราส่วนที่

เหมาะสมระหว่างอากาศกับก๊าซชีวภาพคือ 4 : 1 หรือมีปริมาณก๊าซมีเทน (methane, $CH_4$) 12.6 ± 1.25 % ร่วมกับชุดกรองก๊าซไข่เน่า (hydrogen sulfide, $H_2S$) ซึ่งเป็นเม็ดตัวกลางเคลือบเฟอริกไฮดรอกไซด์ [$Fe(OH)_3$] บรรจุในท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูง 50 - 100 เซนติเมตร หรือมีปริมาตรเท่ากับ 8.8 - 17.7 ลิตร มีประสิทธิภาพดูดซับก๊าซไข่เน่าได้ 99.6 - 100 % สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 6.5 แรงม้า ที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3 kW ได้ง่าย และผลิตกระแสไฟฟ้าได้คงที่ไม่เกิน 1,800 วัตต์ การใช้กระแสไฟฟ้าจำนวน 100 - 1,000 วัตต์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อประเมินด้วยสมการถดถอย (regression equation) จะใช้ก๊าซชีวภาพ 6.17 - 7.30 ลูกบาศก์เมตร ต้นแบบเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพสามารถใช้ในพื้นที่สูงได้จริง เกษตรกรมีความพึงพอใจอย่างยิ่ง ดังรายงานของ Tangtaweewipat *et al.* (2020) ที่ศึกษาขนาดถุงหมักก๊าซชีวภาพ 3 ขนาด คือ 8, 12 และ 16 ลูกบาศก์เมตร ในชุมชนของโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง 4 ราย คือ แบบโครงการหลวงแม่สอง อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก จำนวน 3 ราย และแบบโครงการหลวงแม่สามแลบ อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 1 ราย เพื่อนำก๊าซที่ผลิตได้มาใช้เป็นพลังงานทดแทนกับเครื่องยนต์ขนาด 7.5 แรงม้า ฉุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3 kW โดยใช้ในสภาพจริงของเกษตรกรในพื้นที่ห่างไกลทุรกันดารและไม่มีไฟฟ้าใช้ ปรากฏว่า ถุงหมักก๊าซชีวภาพบนพื้นที่สูงขนาดความจุ 12 - 16 ลูกบาศก์เมตร ที่ใช้มูลและของเสียจากสุกรขุน 9 - 35 ตัว เป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้วันละ 2 - 4 ชั่วโมง หลังคาเรือนละ 81 - 126 วัตต์ โดยใช้หลอดไฟฟ้า LED จำนวน 9 - 14 หลอดต่อครัวเรือน แบ่งปันให้เพื่อนบ้านใช้ได้อีกไม่น้อยกว่า 6 ครัวเรือน รวมทั้งสิ้น 10 ครัวเรือน ช่วยลดค่ากระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ (เครื่องกำเนิดไฟฟ้า) ที่ได้ติดตั้งมิเตอร์บันทึกการใช้กระแสไฟได้ 96 - 130 บาทต่อเดือน นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ใช้กระแสไฟไม่มาก เช่น การชาร์จแบตเตอรี่สำหรับใช้กับแผงโซล่าเซลล์ ไฟฉาย ทีวี พัดลม และโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น นอกเหนือจากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้หุงต้มในครัวเรือนทดแทนก๊าซ LPG หรือทดแทนการใช้ฟืนที่เป็นกิจกรรมประจำวันอยู่แล้วด้วย โดยเกษตรกรผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับ “มากที่สุด” มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.99 จากคะแนนเต็ม 5 จะเห็นได้ว่า ก๊าซชีวภาพแม้จะอยู่ในพื้นที่สูงกว่า 1,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล ยังสามารถผลิตได้พอเพียงต่อการใช้ในชีวิตประจำวันและใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ Tangtaweewipat *et al.* (2021) ยังได้รายงานผลการใช้เครื่องยนต์ขนาด 6.5 แรงม้า ที่ดัดแปลงใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการฉุดค้อนตีเมล็ดข้าวโพด (hammer mill) ที่มีประสิทธิภาพ ควรใช้ชุดค้อนตีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว มีพูลเลย์ (pulley) หรือมู่เลย์ตัวขับที่ติดเครื่องยนต์ขนาด 2.5 นิ้ว ส่วนพูลเลย์ของชุดค้อนตี ใช้ขนาด 4 นิ้ว ซึ่งจะมีความเร็วรอบชุดค้อนตีไม่น้อยกว่า 2,000 รอบต่อนาที โดยมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบดเมล็ดข้าวโพดเทียบกับการใช้น้ำมันเพียง 0.54 บาทต่อกิโลกรัมข้าวโพด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากถุงหมักในฟาร์มของเกษตรกรบนพื้นที่สูง สามารถใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์บดเมล็ดข้าวโพดได้

เนื่องจากบนพื้นที่สูงของประเทศไทย มักมีปัญหาเรื่องความสะดวกในการใช้ไฟฟ้า เช่น ความไม่เสถียรในระบบการจ่ายไฟฟ้า ฯลฯ ประกอบกับปัจจุบันเกษตรกรบนพื้นที่สูงของมูลนิธิโครงการหลวง มีการเลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันก็ทำอาชีพหลายประเภท ทั้งการปลูกพืชผัก พืชไร่ ไม้ผล และการเกษตรอื่น ๆ ในรายที่มีการเลี้ยงสัตว์ มักขาดแรงงานในการทำความสะอาดคอกสัตว์ หรือมีการทำความสะอาดและการจัดการในคอกน้อยมาก ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน ในการปั๊มน้ำแรงดันสูงสำหรับใช้ในฟาร์มปศุสัตว์ของเกษตรกร มูลนิธิโครงการหลวง จำนวน 4 ราย ซึ่งอยู่ในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางต่างกัน คือ ต่ำกว่า 800, 800 - 1,000 และสูงกว่า 1,000 เมตร โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ ซึ่งเกษตรกรผลิตเองจากมูลสัตว์ที่เลี้ยงไว้ในครัวเรือน มาใช้กับเครื่องยนต์ปั๊มน้ำ พร้อมกับประเมินความเหมาะสม

ของขนาดถุงหมักผลิตก๊าซชีวภาพ ระยะเวลาในการใช้ปั๊มน้ำ ค่าใช้จ่ายเทียบกับน้ำมันแก๊สโซลีน หรือน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ลดลง ตลอดจนความพึงพอใจของผู้ใช้ปั๊มน้ำที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงดังกล่าว

## อุปกรณ์และวิธีการ

### เกษตรกรที่ร่วมศึกษาวิจัย

ได้ทำการศึกษากับเกษตรกรจำนวน 4 ราย โดย 2 รายแรก คือ นางสาวสร้อยทิพย์ ไพศาล ผู้เลี้ยงสุกรพ่อแม่พันธุ์ด้วยอาหารสำเร็จรูป และนายวิชิต สนลอย ผู้เลี้ยงลูกไก่ด้วยอาหารสำเร็จรูป อาศัยอยู่ในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียว อำเภอเชียงดาว และฟาร์มสัตว์ปีก งานวิจัยและพัฒนาปศุสัตว์แม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ตามลำดับ ทั้งสองพื้นที่ข้างต้นมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางน้อยกว่า 800 เมตร ส่วนอีก 2 ราย คือ นายเอกราช ไชยศิลป์ ผู้เลี้ยงสุกรพ่อแม่พันธุ์ด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมรำละเอียดและพืชผัก และนายสังเวียน มันธิโน ผู้เลี้ยงสุกรขุนด้วยอาหารสำเร็จรูป ทั้ง 2 รายหลังนี้อาศัยในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่หลอด อำเภอแม่แตง และศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แพะ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 800 - 1,000 เมตร และ มากกว่า 1,000 เมตร ตามลำดับ เกษตรกรทั้ง 4 รายข้างต้นมีจำนวนสัตว์ที่เลี้ยงและขนาดถุงหมักก๊าซชีวภาพแตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 1

### การทำชุดเครื่องยนต์สำหรับการปั๊มน้ำ

มีรายละเอียดดังนี้ (Figure 1)

- ชุดเครื่องยนต์ปั๊มน้ำแรงดันสูงขนาด 6.5 แรงม้า แบบ 3 กระบอกสูบเพลาชน โดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานแทนก๊าซโซลีน (Figure 1A, 1B)
- ชุดผสมก๊าซชีวภาพและอากาศ (mixer; Figure 1C)
- ชุดกรองก๊าซไข่เน่า ที่ทำจากเม็ดตัวกลางเคลือบด้วยเฟอริกไฮดรอกไซด์ [$Fe(OH)_3$] บรรจุในกล่องอะลูมิเนียมขนาด 15 x 60 x 60 เซนติเมตร (Figure 1D)
- ท่อสายยางและหัวฉีดแรงดันสูง

Table 1. Type of animal and size of biogas digester of each participating farmer

| Name - Surname | Attitude of the area above mean sea level (m) | Type of animal | No. of animals (h) | Size of biogas digester ($m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| Mr. Sangwian Manthino | > 1,000 | Fattening swine | 25 - 35 | 12 |
| Mr. Ekkaraj Chaisilp | 800 - 1,000 | Sows and boars | 16 | 8 |
| Miss Sroythip Paisan | < 800 | Sows and boars | 10 | 8 |
| Mr. Wichit Sonloy | < 800 | Young chickens | 1,350 | 8 |

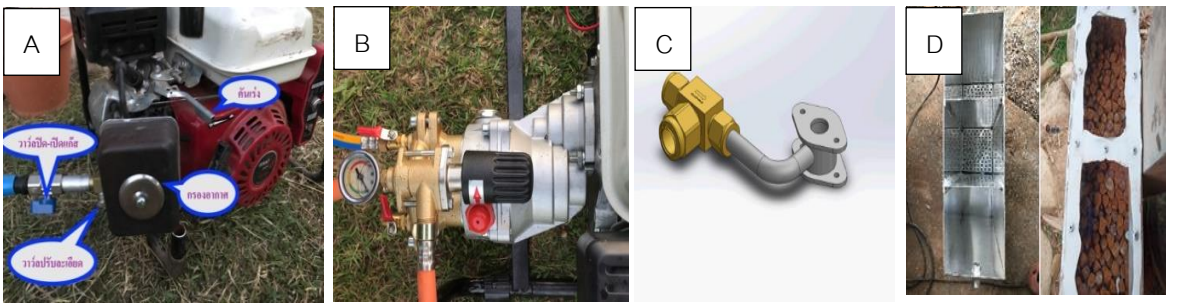


Figure 1. Biogas water pump engine (A), water pump (B), air and biogas mixer (C), hydrogen sulfide ($H_2S$) filter (D)

- ถุงหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบบอลลูน (CMU balloon digester) ซึ่ง Tangtaweewipat *et al.* (2009) เป็นผู้คิดค้นขึ้น จำนวน 4 ถุง โดย 3 รายมีถุงดังกล่าวอยู่แล้วขนาด 8, 8, 8 ลูกบาศก์เมตร ส่วนอีก 1 ถุง ทำใหม่ที่บ้านของนายสังเวียน ขนาด 12 ลูกบาศก์-เมตร ดังรายละเอียดใน Table 1 โดยใช้พลาสติกชนิด LDPE ที่มีลักษณะเป็นถุงทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เมตร มีความยาว 8 เมตร วางในบ่อที่มีความกว้าง 2 เมตร ยาว 6 เมตร ลึก 1 เมตร

ทำการศึกษาเป็นเวลา 4 เดือน ระหว่างเดือนมีนาคม - มิถุนายน โดยบันทึกข้อมูลทุกเดือน ได้ข้อมูล 4 ชุด ซึ่งถือเป็นจำนวน 4 ซ้ำ ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วยคุณภาพก๊าซชีวภาพในช่วงก่อนและหลังผ่านชุดกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระยะเวลาการใช้ปั๊มน้ำ และค่าน้ำมันแก๊สโซลีน (แก๊สโซฮอล์) ที่ลดลง โดยเปรียบเทียบความแตกต่างตามระดับความสูงของพื้นที่จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (3 ระดับ) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Duncan's new multiple range test ตามที่ระบุไว้โดย Steel *et al.*(1997) พร้อมกับประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้เครื่องยนต์ด้วยการให้คะแนน 1 - 5 คือ จากน้อยที่สุด ถึงมากที่สุด

## ผลการวิจัยและวิจารณ์

### ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลลูกไก่และสุกรพ่อแม่พันธุ์ (ถุงหมักผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสัตว์ปีกงานวิจัยและพัฒนาปศุสัตว์แม่เหียะ และศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียว) มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$) สูงกว่ามูลสุกรขุนและสุกรแม่พันธุ์ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แพะและแม่หลอดอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$; 1,616.67 vs. 1,533.33 vs. 776.67 ppm, ตามลำดับ, Table 2) ซึ่งมีผลต่อการผุกร่อนของเครื่องยนต์และส่วนที่เป็นโลหะ นอกจากนี้ยังมีการปลดปล่อย $SO_2$ ออกมาซึ่งสร้างมลภาวะ (Al Mamun and Torii, 2015) โดยชุดกรองสามารถลดปริมาณก๊าซ $H_2S$ ได้ 99.84 - 100 % มีประสิทธิภาพสูงกว่ารายงานของ Al Mamun and Torii (2015) ที่ใช้ zero-valent iron ซึ่งระบุว่าดูดซับ $H_2S$ ได้ 95 % และรายงานของ Kulkarni and Ghanegaonkar (2019) ที่ใช้การดูดซับทางเคมีแบบ 1 column ขนาด 1.2 ลิตร ลด $H_2S$ ได้ 92.41 % อย่างไรก็ดี ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับของ Tangtaweewipat *et al.* (2012) ที่ได้พัฒนากระบวนการผลิตสารตัวกลางเพื่อดูดซับก๊าซ $H_2S$ ในรูปเม็ดปูนผสมทรายเคลือบด้วย ferric hydroxide

Table 2. Effects of the attitude above mean sea level (MSL) of the area, kind and number of animals, as well as feed on the efficiency of water pump using biogas as fuel

| Attitude above MSL (m) | <800 | 800 - 1000 | >1000 | *P* - value | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| **Hydrogen sulfide gas** (ppm) | | | | | |
| Before passing through filter set | 1,616.67[a] | 776.67[c] | 1,533.33[b] | <0.01 | 13.33 |
| After passing through filter set | 2.67 | 0 | 2.00 | 0.11 | 0.44 |
| Filter set efficiency (%) | 99.84 | 100.00 | 99.87 | 0.12 | 0.03 |
| **Water pump usage** | | | | | |
| Water pump time required (min / day)[1] | 55.25[b] | 22.50[c] | 68.50[a] | <0.01 | 1.46 |
| Biogas usage ($m^3$ / hour) | 1.14 | 1.08 | 1.18 | 0.23 | 0.02 |
| Water pumping ($m^3$ / hour) | 1.47 | 1.43 | 1.47 | 0.29 | 0.01 |
| Cost reduction (Baht per day)[2] | 47.02[b] | 19.15[c] | 58.29[a] | <0.01 | 1.24 |

[a-c] Means in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$)

[1] According to the requirement of the farm

[2] The engine used gasoline 95, 1.86 liters per hour. Oil price 27.45 Baht per liter

เมื่อนำไปทดสอบกับบ่อผลิตก๊าซชีวภาพของเกษตรกรที่ใช้มูลสุกรแม่พันธุ์ สุกรขุน และมูลนกกระทาไข่ ซึ่งมี $H_2S$ 480, 1,773 และ 3,509 ppm ตามลำดับ พบว่าสามารถลด $H_2S$ ได้ 97.3 - 99.3 % ในขณะที่นำไปผ่านตัวกลางแบบดินเบาผสมปูนซีเมนต์ และการใช้ฝอยเหล็ก ลดลงได้ 78.0 - 74.0 และ 69.4 - 49.9 % ตามลำดับ *(P* < 0.01*)* การศึกษาในครั้งนี้ ยังพบว่าถุงหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้มูลลูกไก่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปกับมูลสุกรแม่พันธุ์เลี้ยงอาหารสำเร็จรูป (ที่ระดับความสูงต่ำกว่า 800 เมตร) และมูลสุกรขุนเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูป มีการผลิต $H_2S$ มากกว่าสุกรพันธุ์ที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมรำหยาบและพืชผัก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อาหารสำเร็จรูปผสมด้วยรำหยาบและพืชผัก ทำให้อาหารมีปริมาณโปรตีน โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบลดลง เช่นเดียวกับรายงานของ Tangtaweewipat *et al.* (2012) ที่ระบุว่า ก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากมูลสุกรแม่พันธุ์มีปริมาณ $H_2S$ น้อยกว่าจากมูลสุกรขุน และนกกระทา เนื่องจากสุกรแม่พันธุ์ได้รับอาหารที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่านั่นเอง

**การใช้งานเครื่องปั๊มน้ำ**

การใช้เครื่องยนต์ปั๊มน้ำแรงดันสูงขนาด 6.5 แรงม้า ขนาดท่อ ¾ นิ้ว เพื่อใช้ล้างคอกสัตว์ โดยใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ที่เลี้ยงในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลแตกต่างกัน ผลแสดงใน Table 2 และ Figure 2 ปรากฏว่า ที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง มากกว่า 1,000 เมตร ถุงหมักหมักก๊าซ-ชีวภาพขนาด 12 ลูกบาศก์เมตร จากมูลสุกรขุน 25 - 35 ตัว ที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปทางการค้า สามารถผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ดังกล่าวได้นานกว่าถุงหมักก๊าซชีวภาพจากมูลไก่และสุกรพ่อแม่พันธุ์เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูป ขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรเท่ากัน (ที่ระดับความสูงต่ำกว่า 800 เมตร) และมูลสุกรพันธุ์ที่ระดับความสูง 800 - 1,000 เมตร ซึ่งเป็นก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลสุกรพ่อแม่พันธุ์เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปการค้าผสมรำละเอียดและพืชผักท้องถิ่น (*P* < 0.01*;* 68.50 vs. 55.25 และ 22.50 นาทีต่อวัน ตามลำดับ; Table 2) สอดคล้องกับการศึกษาของ Tangtaweewipat *et al.* (2011) ที่รายงานว่า ถุงผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 5.0, 7.5 และ 10.0 ลูกบาศก์เมตร ของเกษตรกรบนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง น้อยกว่า 800, 800 - 1,000 และ มากกว่า 1,000 เมตร ในสภาพแสงแดดปกติ เมื่อเฉลี่ยจากทุกระดับความสูง สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพิ่มขึ้นตามขนาดของถุงหมัก คือมีปริมาณเท่ากับ 0.16, 0.37 และ 0.41 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง *(P* < 0.05*)* ตามลำดับ Amaral *et al.* (2015) รายงานว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากมูลสุกรของโรงเรือนลูกสุกรอนุบาลมีมากกว่าโรงเรือนแม่สุกรเลี้ยงลูก โรงเรือนสุกรขุน และโรงเรือนสุกรอุ้มท้อง (0.970 vs. 0.865 vs. 0.474 vs. 0.326 $m^3N$ / kg volatile solid; *P* < 0.05 ตามลำดับ) ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนจากมูลสุกรทั้งสี่ประเภทข้างต้นมีค่าไม่ต่างกัน *(P* > 0.05*)* โดยมีค่าระหว่าง 52.0 - 66.2 % ซึ่งความแตกต่างข้างต้นมีผลเนื่องมาจากการให้อาหารที่มีคุณภาพต่างกัน

ผลการใช้เครื่องยนต์ปั๊มน้ำในการศึกษาครั้งนี้แสดงไว้ใน Table 2 พบว่า ที่ระดับความสูงมากกว่า 1,000 เมตร ถุงหมักก๊าซชีวภาพขนาด 12 ลูกบาศก์เมตร

Figure 2. Biogas digester, fattening pig and biogas water pump engine

จากมูลสุกรขุน 25 - 35 ตัว สามารถลดค่าใช้จ่ายเมื่อเทียบกับการใช้ก๊าซโซลีนหรือน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 ได้มากกว่าที่ระดับความสูงต่ำกว่า 800 และ 800 - 1,000 เมตรที่ใช้ก๊าซชีวภาพจากถุงหมักขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$; 58.29 vs. 47.02 และ 19.15 บาทต่อวัน ตามลำดับ) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ ($P>0.05$; 1.14, 1.18 และ 1.08 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ) และปริมาณน้ำที่สูบได้ ($P > 0.05$; 1.47, 1.43 และ 1.47 ลูกบาศก์-เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ) ซึ่งข้อมูลที่ได้ครั้งนี้เป็นผลร่วมของอย่างน้อย 4 ปัจจัย คือ ระดับความสูงของพื้นที่ ชนิดและจำนวนสัตว์ รวมถึงอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ด้วย โดยชนิดของสัตว์ จำนวนสัตว์ และอาหารมีผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพมากกว่าระดับความสูงของพื้นที่ อย่างไรก็ดี ผลที่ได้จากการทดลองนี้ยืนยันได้ว่าเกษตรกรบนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางมากกว่า 1,000 เมตรขึ้นไป สามารถผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์และนำก๊าซดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ ซึ่งนอกเหนือจากเพื่อการหุงต้มแล้วยังใช้ในการปั๊มน้ำได้ด้วย

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีของปั๊มน้ำที่ใช้ก๊าซชีวภาพกับที่ใช้แก๊สโซลีนหรือแก๊สโซฮอล์ 95 เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดยคำนวณค่าเสื่อมของเครื่องยนต์ ค่าชุดกรอง รวมถึงบ่อผลิตก๊าซชีวภาพในการใช้งานอย่างสม่ำเสมอวันละ 68.50 นาที เป็นเวลา 1 ปี พบว่า การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยปีละ 3,842.00 บาท ในขณะที่ใช้น้ำมันก๊าซโซฮอล์ 95 มีค่าใช้จ่ายสูงถึง 23,476.85 บาท การใช้ก๊าซชีวภาพจึงช่วยประหยัดได้ถึง 6 เท่า (Table 3)

**การประเมินความพึงพอใจ**

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ปั๊มน้ำจากเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง จำนวน 4 ราย โดยสัมภาษณ์ตามแบบสอบถาม พบว่า เกษตรกรมีความพึงพอใจเฉลี่ยระดับ “มากที่สุด” (มีค่าคะแนน 4.65 จากคะแนนเต็ม 5) โดยพึงพอใจ “มากที่สุด” ในด้านการติดตั้งเครื่องยนต์มีประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิต ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปั๊มน้ำที่เพียงพอต่อความต้องการครอบครัวมีความสุข ชีวิตความเป็นอยู่ดีขึ้น มีสัมพันธภาพที่ดีกับครอบครัวและเพื่อนบ้าน สามารถเป็นต้นแบบให้กับคนในชุมชน และประทับใจต่อการดำเนินงานของเจ้าหน้าที่ ส่วนความพึงพอใจด้านการได้รับความรู้ใหม่และสามารถลดค่าใช้จ่ายของครอบครัว อยู่ในระดับมาก (Table 4) ทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกรสามารถประหยัดเวลาในการล้าง ทำความสะอาดคอก คอกมีความสะอาดมาก เพราะฉีดล้างด้วยปั๊มแรงดันสูง ตัวสุกรไม่สกปรก และไม่มีกลิ่นเหม็น เป็นต้น

Table 3. Comparative expense cost of engines using gasohol 95 compared with biogas as an energy source for 68.5 minutes working per day in a year

| Expense cost in one year (Baht) | Energy source of engine | |
|---|---|---|
| | Biogas | Gasohol 95 |
| Depreciation of 6.5 hp engine [1] | 1,712.00 | 1,712.00 |
| Depreciation of $H_2S$ filter [2] | 150.00 | - |
| Depreciation of $Fe(OH)_3$ media [3] | 500.00 | - |
| Depreciation of 12 $m^3$ biogas digester [1] | 1,000.00 | - |
| Gasohol 95 cost for using 68.5 min / d [4] | - | 21,275.85 |
| Lubricating oil, change every 3 months | 480.00 | 480.00 |
| Total | 3,842.00 | 23,467.85 |

[1] 5 year working time
[2] 10 year working time
[3] 1 year working time
[4] 27.45 Baht per liter

Table 4. The satisfaction of the farmers to the developed water pump using biogas as a renewable energy

| Item | Satisfaction level | |
|---|---|---|
| | Average score | Degree of satisfaction[1] |
| 1. Installing the engine is beneficial for life | 4.50 | highly satisfied |
| 2. Engine working time sufficient for pumping water | 4.75 | highly satisfied |
| 3. Happiness of the family | 5.00 | highly satisfied |
| 4. Improvement of life quality | 4.75 | highly satisfied |
| 5. Good relationship with family and neighbors | 5.00 | highly satisfied |
| 6. Gain new knowledge | 4.00 | slightly high satisfied |
| 7. Decrease family expense | 4.00 | slightly high satisfied |
| 8. Able to be a role model for people in the community | 5.00 | highly satisfied |
| 9. Appreciation on the work of the authorities | 5.00 | highly satisfied |
| 10. Overall appreciation | 4.50 | highly satisfied |
| Average | 4.65 | highly satisfied |

[1] 1.00-1.80 = lowest satisfied; 1.81-2.60 = low satisfied; 2.61-3.40 = medium satisfied; 3.41-4.20 = slightly high satisfied; 4.21-5.00 = highly satisfied

## สรุป

เครื่องยนต์ปั๊มน้ำแรงดัน 3 กระบอกสูบเพลาชน สามารถใช้ล้างทำความสะอาดคอกสัตว์ได้วันละ 22 - 68 นาที สามารถใช้ได้กับถุงหมักก๊าซชีวภาพขนาดความจุ 8 ลูกบาศก์เมตร และมีจำนวนสุกรโตเต็มวัยไม่น้อยกว่า 10 ตัว ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการใช้ของเกษตรกรรายย่อย ช่วยลดค่าน้ำมันแก๊สโซลีนชนิดแก๊สโซฮอล์ 95 ได้วันละ 19 - 58 บาท แม้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ที่อยู่บนพื้นที่สูงระดับน้ำทะเลปานกลางสูงถึง 1,000 เมตร ก็สามารถผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในการปั๊มน้ำนี้ได้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณเกษตรกรในพื้นที่มูลนิธิโครงการหลวงทุกท่านที่เข้าร่วมศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งช่วยให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์และเป็นประโยชน์ ตลอดจนขอขอบคุณ คุณสุคีพ ไชยมณี หัวหน้างานปศุสัตว์และประมง สำนักพัฒนาสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) จังหวัดเชียงใหม่ พร้อมด้วยทีมงาน คุณรักษิณา บ้วนกียาพันธุ์ และคุณนริศรา เกิดสุข ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์

## เอกสารอ้างอิง

Al Mamun, M.R. and S. Torii. 2015. Removal of hydrogen sulfide ($H_2S$) from biogas using zero-valent iron. Journal of Clean Energy Technologies 3(6): 428-432.

Amaral, A.C., A. Kunz, R.L.R. Steinmetz, L.A. Scussiato and D.C. Tapparo. 2015. Anaerobic digestion of swine manure: Stratified production units and its biogas potential. pp. 343-346. *In:* Proceedings of the IV Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management. Rio de Janeiro, Brazil.

Kulkarni, M.B. and P.M. Ghanegaonkar. 2019. Hydrogen sulfide removal from biogas

using chemical absorption technique in packed column reactors. Global Journal of Environmental Science and Management 5(1): 155-166.

Songsee, O. 2012. Production of biogas as a renewable energy source for small farm engines. Final report. Ministry of Science and Technology, Bangkok. 77 p. (in Thai)

Steel, R.G.D., J.H. Torrie and D.A. Dickey. 1997. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd ed. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York. 666 p.

Tangtaweewipat, S., O. Songsee and B. Cheva-Isarakul. 2012. Diminishing of hydrogen sulfide from biogas for community use. Khon Kaen Agriculture Journal 40(Suppl. 2): 201-204. (in Thai)

Tangtaweewipat, S., K. Puakchareon, O. Songsee and B. Cheva-Isarakul. 2021. Use of biogas from animal feces as a renewable energy for engine of a corn hammer mill. Journal of Agriculture 37(3): 225-263. (in Thai)

Tangtaweewipat, S., O. Songsee, B. Cheva-Isarakul and K. Puakchareon. 2020. Use of biogas from swine manure as a renewable energy to produce electricity in community of Highland Development Project using the Royal Project Model. Journal of Agriculture 36(3): 365-375. (in Thai)

Tangtaweewipat, S., B. Cheva-Isarakul, O. Songsee, W. Thantharak and K. Puakchareon. 2018. Biogas production for decreasing environmental problems and using as an energy source in kitchen. 8th ed. Trio Advertising & Media Co. Ltd., Chiang Mai. 36 p. (in Thai)

Tangtaweewipat, S., O. Songsee, B. Cheva-Isarakul, P. Polperm and S. Chaimanee. 2011. Research and development on efficiency of biogas production for small farm holders in highland area. Final report. Highland Research and Development Institute (Public Organization), Chiang Mai. 88 p. (in Thai)

Tangtaweewipat, S., O. Songsee, B. Cheva-Isarakul, T. Songkun and A. Seepai. 2009. Biogas production for decreasing environmental problems and being as a renewable energy source in small farm holders. Final report. Ministry of Science and Technology, Bangkok. 221 p. (in Thai)

Tangtaweewipat, S., O. Songsee, B. Cheva-Isarakul, K. Puakchareon, W. Thantharak and K. Umetsu. 2019. Use of biogas as a renewable energy source for producing electricity on highland area. Khon Kaen Agriculture Journal 47(Suppl. 2): 397-404. (in Thai)

# การเปรียบเทียบระดับการเติม *Pediococcus pentosaceus* สำหรับอาหารผสมครบส่วนแบบหมัก ต่อคุณภาพการหมัก คุณค่าทางโภชนะและการย่อยได้ในหลอดทดลอง

# Comparative Levels Inoculation of *Pediococcus pentosaceus* for Ensiled Total Mixed Ration on Fermentation Quality, Nutritive Values and *In Vitro* Digestibility

**ณัชชา เกษพานิช[1*] เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ[2] ทศพล มูลมณี[2]**
**ก ทีปลักษณ์ ระงับเหตุ[1] และ พงศ์ธร คงมั่น[1]**
Natcha Ketpanich[1*], Saowaluck Yammuen-art[2], Tossapol Moolmanee[2],
K. Teepalak Rangubhet[1] and Phongthorn Kongmun[1]

*[1]ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900*
*[1]Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand*
*[2]ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[2]Department of Animal and Aquatic Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
**Corresponding author: Email: Natcha_ketpanich@hotmail.com*

*(Received: 13 October 2021; Accepted: 30 December 2021)*

**Abstract:** : The objective of this study was to compare the levels of *Pediococcus pentosaceus* for ensiled total mixed rations (eTMR) production on fermentation quality, nutritive values, and rumen fermentation characteristics by using *in vitro* gas production technique. The experimental design was a completely randomized design (CRD) with 5 treatments and 3 replicates, 1) fresh total mixed ration (fresh TMR), 2) eTMR + no *P. pentosaceus*, 3) eTMR + *P. pentosaceus* $10^4$ CFU/g (PP4), 4) eTMR + *P. pentosaceus* $10^5$ CFU/g(PP5) and 5) eTMR + *P. pentosaceus* $10^6$ CFU/g (PP6), respectively. Comparison of fresh TMR and eTMR had shown that ensiling process can reduce pH values, increase $NH_3$-N, lactic acid, and butyric acid concentration significantly difference among treatments. In addition, it was significantly decreased proportion of EE, NDF, hemicellulose and accumulative gas production at 72 hours while, using *P. pentosaceus* inoculation were significantly reduce pH values and butyric acid concentration when compare with eTMR. Moreover, using *P. pentosaceus* inoculation can enhance *in vitro* gas production and increase IVDMD and IVOMD of eTMR. The different levels of *P. pentosaceus* inoculation can significantly affect on pH values and $NH_3$-N concentration. It was found that at PP6 inoculation has shown the lowest of $NH_3$-N concentration. However, the levels of *P. pentosaceus* inoculation shown similar results in nutritive values, IVDMD and IVOMD. Under this study, it could be concluded that *P. pentosaceus* inoculation at $10^4$

to $10^6$ CFU/g can be used for eTMR production, the highest quality of eTMR fermentation in terms of the lowest pH and $NH_3$-N concentration can obtain by using *P. pentosaceus* inoculation at $10^6$ CFU/g.

**Keywords:** Ensiled total mixed ration, Lactic acid bacteria, *Pediococcus pentosaceus*, *in vitro* gas production technique

**บทคัดย่อ**: จุดประสงค์ของการศึกษานี้คือ การเปรียบเทียบระดับของการเติมเชื้อ *Pediococcus pentosaceus* ในการผลิตอาหารผสมครบส่วนแบบหมัก (ensiled total mixed ration; eTMR) ต่อคุณภาพการหมัก คุณค่าทางโภชนะและคุณลักษณะกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนโดยวิธีการผลิตแก๊สในหลอดทดลอง ( *In vitro* gas production technique) การศึกษานี้ทำการแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 5 กลุ่ม 3 ซ้ำ คือ 1) อาหารผสมครบส่วนสด (fresh TMR) 2) อาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่ไม่เติมเชื้อ (eTMR) 3) อาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่เติมเชื้อ *P. pentosaceus* ที่ระดับ $10^4$ CFU / g (PP4) 4) อาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่เติมเชื้อ *P. pentosaceus* ที่ระดับ $10^5$ CFU / g (PP5) และ 5) อาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่เติมเชื้อ *P. pentosaceus* ที่ระดับ $10^6$ CFU / g (PP6) ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการหมักทำให้ค่า pH ปริมาณไขมัน เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายเป็นกลาง เฮมิเซลลูโลสและปริมาณแก๊สสะสมที่ 72 ชั่วโมงลดลง ในขณะที่ปริมาณ$NH_3$-N กรดแลคติก และกรดบิวทีริกสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารผสมครบส่วนแบบสด การเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ทำให้ค่า pH และปริมาณกรดบิวทีริกต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้ใช้ อีกทั้งการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ยังทำให้ปริมาณแก๊สและการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (IVDMD) และอินทรียวัตถุ (IVOMD) ในหลอดทดลองของอาหารผสมครบส่วนแบบหมักสูงขึ้น ระดับของการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ที่ต่างกันส่งผลให้ค่า pH และปริมาณ $NH_3$-N มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ที่ $10^6$ CFU / g มีค่าต่ำที่สุด แต่ทั้งนี้กลับไม่ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนะและการย่อยได้ในหลอดทดลอง จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ที่ $10^4$ CFU/g ถึง $10^6$ CFU / g สามารถใช้ในการผลิตอาหารผสมครบส่วนแบบหมักได้ ในขณะที่การเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ที่ $10^6$ CFU / g ให้ผลลัพธ์ในกระบวนการหมักที่ดีในแง่ของค่า pH และปริมาณ $NH_3$-N ของอาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่ต่ำ

**คำสำคัญ**: อาหารผสมครบส่วนแบบหมัก แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก *Pedicoccus pentosaceus* การย่อยได้ในหลอดทดลอง

## คำนำ

อาหารผสมครบส่วน หรือ ทีเอ็มอาร์ (total mixed ration, TMR) คือ การผสมอาหารข้นและอาหารหยาบเข้าด้วยกันในสัดส่วนที่คำนวณไว้โดยคำนึงถึงคุณค่าและความต้องการโภชนะของสัตว์ เป็นรูปแบบการให้อาหารที่มีจุดเด่นเรื่องของการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้อาหารได้มากขึ้นในสัตว์เคี้ยวเอื้องเนื่องจากช่วยรักษาสมดุลนิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมนและสนับสนุนกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะได้ การย่อยได้ในกระเพาะรูเมนมีประสิทธิภาพจากการกระจายตัวของอาหารหยาบและอาหารข้นมีความสม่ำเสมอ มีความน่ากินที่ช่วยเพิ่มปริมาณการกินและลดการเลือกกินของสัตว์เคี้ยวเอื้องได้มากกว่าการให้อาหารแบบแยกส่วน ซึ่งการผลิตอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องมีต้นทุนสูงขึ้นในช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากมีการขาดแคลนอาหารหยาบทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ จึงจำเป็นต้องมีการเก็บรักษาอาหารในรูปของการหมัก ที่พึงควรระวังด้านการจัดเก็บและคุณภาพรวมถึงสารพิษต่างๆ ที่อาจ

เกิดขึ้นในกระบวนการเตรียมและจัดเก็บ เพื่อให้เพียงพอตลอดทั้งปี

อาหารผสมครบส่วนแบบหมัก (ensiled total mixed ration, eTMR) เป็นกระบวนการเก็บรักษาอาหารผสมครบส่วนแบบหมักในสภาพไร้ออกซิเจน (Wongnen *et al.,* 2009) โดยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria, LAB) เป็นหลัก โดยทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติก ซึ่งส่งผลให้ค่า pH ในสภาพแวดล้อมลดลงหรือมีสภาพเป็นกรดอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นประโยชน์ในการยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มอื่น ๆ ที่ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสีย หรือคุณค่าทางโภชนะของอาหารลดลง เนื่องจากกระบวนการหมักตามธรรมชาติมีการสูญเสียคุณค่าทางโภชนะจากการหายใจของพืช และการย่อยสลายของโปรตีน เป็นต้น (Ramos *et al.,* 2016) ดังนั้น การเร่งกระบวนการหมักด้วยการเติมจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกให้มากขึ้น จึงเป็นแนวทางในการลดการเน่าเสียหรือการสูญเสียคุณค่าทางโภชนะได้ (Kim *et al.,* 2021) ถึงแม้ว่าในการทำหญ้าหมักนิยมใช้ *Lactobacillus plantarum* แต่อย่างไรก็ตาม ได้มีการรายงานว่ากลุ่มเชื้อ *Pediococcus spp*. มีคุณสมบัติในการเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะอุณหภูมิและค่า pH ที่แปรปรวนได้ดีกว่ากลุ่มเชื้อ *Lactobacillus spp*. (Agarussi *et al*., 2019) Oliveira *et al*. (2017) ได้ทำการศึกษาอภิมาน (Meta-analysis) ของการเติมต้นเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกลงในพืชอาหารสัตว์หมัก ผลการศึกษาพบว่าระดับของการเติมเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกมีหลากหลายความเข้มข้นซึ่งในระดับห้องปฏิบัติการนิยมเติมเชื้อระดับที่ $10^6$ CFU/g 53 (60.1 %) ตามด้วย $10^5$ CFU/g (34.1), $10^4$ CFU/g (3.5 %) และ $10^7$ CFU/g (2.5 %) ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์นี้ไม่ได้แสดงถึงระดับการเติมที่เหมาะสม ซึ่งหากมีการศึกษาเปรียบเทียบระดับของการเติมเชื้อก็จะทำให้ได้ระดับของการเติมเชื้อที่เหมาะสม จะส่งผลไปถึงการลดต้นทุนในการผลิตพืชอาหารสัตว์หมักได้อีกด้วย

*P. pentosaceus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวกในกลุ่ม homofermentative สามารถผลิตพลังงานได้ด้วยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน และสามารถผลิตแบคเทอริโอซิน (bacteriocins) มีฤทธิ์ในการควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ก่อประโยชน์ได้หรือมีคุณสมบัติในการถนอมอาหาร ได้มีการศึกษาถึงการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* แบบเดี่ยวและผสมร่วมกับเชื้อกลุ่มอื่นในกระบวนการผลิตอาหารครบส่วนแบบหมักพบว่าสามารถใช้ *P. pentosaceus* ในระดับความเข้มข้น ตั้งแต่ $10^4$ จนถึง $10^6$ CFU/g ในการหมักถั่วสไตโลท่าพระ หญ้าอัลฟัลฟ่าหมัก และใช้ *P. pentosaceus* ร่วมกับ *L. plantarum* ในการหมักต้นข้าวบาร์เลย์ รวมถึงการเติมเชื้อในกระบวนการหมักอาหารผสมครบส่วน จากการรวบรวมเอกสารรายงานว่า *P. pentosaceus* สามารถลดค่า pH ได้ดีและรักษาคุณภาพของการหมักได้ดี (Filya *et al.,* 2007; Jiang *et al.,* 2020; Liu *et al.,* 2012; Taylor *et al.,* 2002) แต่อย่างไรก็ตามระดับของความเข้มข้นในการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ยังมีความผันแปรสูง สมมติฐานของงานวิจัยนี้คือการเติมเชื้อระดับที่น้อยลงจะให้ผลใกล้เคียงกับการเติมเชื้อระดับสูง ซึ่งจะส่งผลให้ลดต้นทุนในการทำพืชอาหารสัตว์หมักได้ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระดับการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* สำหรับการผลิตอาหารผสมครบส่วนแบบหมักต่อคุณค่าทางโภชนะและกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนด้วยเทคนิคการผลิตแก๊สในหลอดทดลอง (*in vitro* gas production)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมเชื้อ คัดแยกเชื้อ *P. pentosaceus* และการเตรียมอาหารผสมครบส่วนแบบหมัก

การศึกษานี้ได้เติมเชื้อ *P. pentosaceus* ที่พบในอาหารผสมครบส่วนแบบหมักซึ่งคัดแยกได้จากการศึกษาก่อนหน้า (Ketpanich *et al*., 2021) โดยนำไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว MRS (de Man *et al*., 1960) บ่มในอุณหภูมิ 37 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของเชื้อจนถึง $10^9$ CFU/ml จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงเพื่อเก็บเซลล์เชื้อ *P. pentosaceus* และปรับความเข้มข้นของเชื้อโดย

ผสมน้ำเกลือ (0.85 %) เพื่อให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายของเชื้อเป็น $10^8$ CFU/ml เพื่อนำไปใช้ในเป็นต้นเชื้อในการหมักอาหารผสมครบส่วนต่อไป สำหรับการหมักอาหารผสมครบส่วนทำโดยการฉีดพ่นต้นเชื้อ *P. pentosaceus* ลงบนอาหารผสมครบส่วนอัตราส่วนเชื้อ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ต่ออาหารผสมครบส่วน 1 กิโลกรัม (as fed basis) เพื่อให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายคือ $10^6$ CFU/g และทำการเจือจางเชื้อ *P. pentosaceus* ให้เป็น $10^7$ CFU/ml และ $10^6$ CFU/ml ก่อนนำไปฉีดลงบนอาหารผสมครบส่วนเพื่อให้ได้ระดับความเข้มข้นของต้นเชื้อสุดท้ายเป็น $10^5$ และ $10^4$ CFU/g ตามลำดับ

องค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมอาหารผสมครบส่วนแสดงใน Table 1 โดยคำนวณให้ได้โปรตีนหยาบเท่ากับ 16 % และโภชนะที่ย่อยได้รวม (Total Digestible Nutrient, TDN) เท่ากับ 68 % การผสมอาหารผสมครบส่วนใช้เครื่องผสมอาหารผสมครบส่วน (Jaylor, Canada) เพื่อให้มีอาหารมีความสม่ำเสมอกัน

**แผนการทดลอง**

การศึกษาในครั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบผลของการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ สำหรับการผลิตอาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่มีต่อคุณค่าทางโภชนะหลังการหมัก โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) จำนวน 5 กลุ่มทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 อาหารผสมครบส่วนสด (fresh TMR)

กลุ่มที่ 2 อาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่ไม่เติมเชื้อ *P. pentosaceus* (eTMR)

กลุ่มที่ 3 อาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่เติมเชื้อ *P. pentosaceus* ในระดับ $10^4$ CFU/g (PP4)

กลุ่มที่ 4 อาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่เติมเชื้อ *P. pentosaceus* ในระดับ $10^5$ CFU/g (PP5)

กลุ่มที่ 5 อาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่เติมเชื้อ *P. pentosaceus* ในระดับ$10^6$ CFU/g (PP6)

บรรจุอาหารผสมครบส่วนในกลุ่มที่ 2 ถึง 5 ในกระสอบพลาสติกขนาด 18x30 นิ้ว และรีดอากาศภายในออกเพื่อให้อยู่ในกระบวนการหมัก

Table 1. Feed ingredient composition for ensiled total mixed ration (eTMR) in this study (as fed basis)

| Ingredients | Amount (kg) |
|---|---|
| Fresh Napier grass | 60.00 |
| Maize hulk | 10.00 |
| Ground corn | 10.00 |
| Dried brewer's grain | 8.00 |
| Soybean meal | 5.00 |
| Rice bran | 3.60 |
| Molasses | 2.00 |
| Dicalcium phosphate (DCP) | 0.50 |
| Mineral mixed | 0.50 |
| Urea | 0.40 |
| **Total** | **100.00** |

แบบไร้ออกซิเจน ทำการหมักเป็นระยะเวลา 21 วัน หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างอาหารทั้งหมดทุกกลุ่มไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์หาคุณภาพการหมัก และองค์ประกอบทางเคมีต่อไป หลังจากนั้นจึงนำอาหารผสมครบส่วนทั้ง 5 กลุ่มมาศึกษากระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนด้วยเทคนิคการวัดผลิตแก๊สแบบ *in vitro* gas production

**การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมครบส่วนแบบหมัก**

นำตัวอย่างอาหารผสมครบส่วนทุกกลุ่มผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 10 กรัม ต่อน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร และทำการวัดค่า pH ตามวิธีการของ Bal *et al*. (1997) ด้วยเครื่อง pH meter วิเคราะห์ปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย (volatile fatty acids; VFAs) และกรดแลคติกตามวิธีของ Scherer *et al*. (2012) โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC, C18; mobile phase 20 % acetonitrile และ 80 % $KH_2PO_4$ อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาทีและ ใช้ UV 210 nm) (1220 Infinity II LC, Agilent Technologies, USA) ปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจน ($NH_3$-N) อ้างอิงตามวิธีการของ Chaney and Marbach (1962) สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณ (proximate analysis) ทำโดยอบตัวอย่างอาหารที่ 60 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บดและร่อนผ่านตะแกรง 1 มิลลิเมตร วิเคราะห์วัตถุแห้ง (dry matter; DM) อินทรียวัตถุ (organic matter; OM) โปรตีนหยาบ (crude protein; CP) ไขมัน (ether extract; EE) ตามวิธีของ AOAC (2000) และวิเคราะห์เยื่อใยด้วยวิธีของ Van Soest *et al*. (1991) ประกอบด้วยเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber; NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในกรด (acid detergent fiber; ADF) และลิกนิน (acid detergent lignin; ADL) ตามลำดับ และนำมาคำนวณปริมาณ Hemicellulose และ Cellulose โดยสมการดังนี้

Hemicellulose = NDF – ADF และ

Cellulose = ADF – ADL

**การศึกษากระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน**

สำหรับการศึกษากระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) จำนวน 5 กลุ่มทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ นำอาหารผสมครบส่วนทั้ง 5 กลุ่ม อบไล่ความชื้นที่ 60 °C บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ชั่งตัวอย่างอาหารในกลุ่มทดลองปริมาณ 200 มิลลิกรัม บรรจุลงในขวดปริมาตร 50 มิลลิลิตร การศึกษาในครั้งนี้ใช้ของเหลวจากกระเพาะรูเมนของโคนมปลดระวางจำนวน 3 ตัว ซึ่งได้จากโรงฆ่าสัตว์ จังหวัดสระบุรี ผสมกับสารละลายน้ำลายเทียมในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ใส่ลงในขวดที่มีอาหารที่เตรียมไว้ในปริมาณ 30 มิลลิลิตร ตามวิธีการของ Menke and Steingass (1988) ทำการไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อย่างต่อเนื่อง ปิดด้วยจุกยางและฝาอลูมิเนียม บ่มไว้ที่ 39 °C ทำการบันทึกแก๊สที่เกิดขึ้นที่ชั่วโมงที่ 0, 2, 4, 8, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมงหลังการบ่ม นำปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นมาคำนวณจลนศาสตร์การผลิตแก๊สตามสมการของ Ørskov and McDonald (1979) ด้วยโปรแกรม SigmaPlot ดังนี้

$$Y = a + b\,(1 - e^{-ct})$$
$$P = |\,a + b\,|$$

เมื่อ $a$ คือแก๊สที่เกิดขึ้นจากส่วนที่ย่อยสลายได้ทันที

$b$ คือแก๊สที่เกิดจากส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้แต่หมักย่อยได้

$c$ คืออัตราการผลิตแก๊ส

$t$ คือเวลา

$Y$ คือ ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นที่ชั่วโมงต่าง ๆ ($t$)

$P$ คือประสิทธิภาพการผลิตแก๊ส

**การศึกษาความสามารถในการย่อยได้แบบ *in vitro***

เก็บตัวอย่างในชุดที่บ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาทำการศึกษาความสามารถในการย่อยได้ ตามวิธีของ Ørskov and McDonald (1979) โดยนำอาหารที่เหลืออยู่ในขวดล้างด้วยน้ำกลั่นและสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent solution) และอบไล่

ความชื้นที่ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งและบันทึกน้ำหนักเพื่อนำมาคำนวณความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง (*in vitro* dry matter digestibility; IVDMD) และการย่อยได้ของอินทรียวัตถุในหลอดทดลอง (*in vitro* organic matter digestibility; IVOMD) ตามสมการของ Tilley and Terry (1963) ดังนี้

$$\text{IVDMD (\%)} = \frac{\text{(DM Initial weigh- DM final weigh)}}{\text{DM Initial weigh}} \times 100$$

$$\text{IVDMD (\%)} = \frac{\text{(OM Initial weigh- OM final weigh)}}{\text{OM Initial weigh}} \times 100$$

**การวิเคราะห์ทางสถิติ**

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ตามแผนการทดลอง completely randomized design ด้วย ANOVA โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics 25 วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (Steel and Torrie, 1980) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือ $P$ - value ≤ 0.05 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ทดสอบโดยวิธี orthogonal contrast

## ผลการทดลองและวิจารณ์

**คุณภาพการหมักของอาหารผสมครบส่วนแบบหมัก**

ผลการทดลองพบว่ากระบวนการหมักส่งผลให้ค่า pH ของอาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่ไม่เติมเชื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารผสมครบส่วนแบบสด (5.93 เทียบกับ 5.00) (Table 2) เนื่องจากกระบวนการหมักจุลินทรีย์ใช้ประโยชน์จากน้ำตาลเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก ซึ่งเป็นการทำงานของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกส่งผลให้ค่า pH ในอาหารผสมครบส่วนลดลง และเมื่อใช้เชื้อ *P. pentosaceus* ในกระบวนการหมักพบว่า สามารถลดค่า pH ได้ต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้เชื้อ *P. pentosaceus* (eTMR) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (4.53 เทียบกับ 5.00) ($p < 0.01$) มากไปกว่านั้นการเติมต้นเชื้อที่ระดับที่ต่างกันส่งผลให้ค่า pH ของอาหารผสมครบส่วนแบบหมักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและต่ำสุดในกลุ่มที่เติมต้นเชื้อ $10^6$ CFU/g เกิดจากการเติม *P. pentosaceus* ส่งผลให้อัตราการเพิ่มจำนวนของ *P. pentosaceus* สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการผลิตกรดแลคติกที่มากขึ้น จึงทำให้ค่า pH ลดลงต่ำที่สุด (Ertekin and Kızılsimsek, 2020) เมื่อพิจารณาที่ปริมาณของ $NH_3$-N พบว่า กระบวนการหมักส่งผลให้ปริมาณ $NH_3$-N ในกลุ่มอาหารผสมครบส่วนแบบหมัก (eTMR) สูงกว่ากลุ่มอาหารผสมครบส่วนแบบสด (fresh TMR) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณ $NH_3$-N ที่เป็นตัวชี้วัดถึงระดับโปรตีนในอาหารหมักที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการหมักและทำให้คุณภาพของอาหารหมักมีคุณค่าทางโภชนะลดลง โดยการย่อยสลายโปรตีนนั้นเกิดขึ้นโดยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่ม *Clostridia* และ *Enterococcus* ทำการเปลี่ยนโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโนและซึ่งถูกใช้ประโยชน์ต่อไปจนกลายเป็น $NH_3$-N ในที่สุด (Bueno *et al*., 2020; Jiang *et al*., 2020; Fijalkowska *et al*., 2015) การเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ไม่ส่งผลต่อปริมาณของ $NH_3$-N เมื่อเทียบกับกลุ่มอาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่ไม่เติมเชื้อ *P. pentosaceus* (eTMR) ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาที่ระดับของการเติมเชื้อพบว่าการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ในระดับ $10^6$ CFU/g (PP6) มีปริมาณ $NH_3$-N ต่ำที่สุด เกิดจากการเพิ่มระดับของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกนั้นทำให้เกิดอัตราการผลิตกรดแลคติกที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่า pH ลดลง และยับยั้งการย่อยสลายของโปรตีน จึงส่งผลให้กลุ่มที่ใช้เชื้อ PP6 มีปริมาณ $NH_3$-N ต่ำที่สุด สอดคล้องกับ Oliveira *et al*. (2017) รายงานว่าการเติมเชื้อกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติกในพืชอาหารหมัก ในระดับที่ $10^5$ และ $10^6$ CFU/g สามารถลดปริมาณของ $NH_3$-N ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักซึ่งเป็นผลจากกิจกรรมการย่อยสลายของโปรตีนที่น้อยลง

Table 2. Fermentation quality and nutritive values of fresh total mixed ration and ensiled total mixed ration inoculant with different levels at *Pediococcus pentosaceus* for 21 days of ensiling times

| Items | Treatments | | | | | SEM | *P* - value[2] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fresh TMR | eTMR[1] | PP4 | PP5 | PP6 | | Ensiling | Inoculation | Level |
| Fermentation quality | | | | | | | | | |
| pH | 5.93 | 5.00 | 4.86[A] | 4.43[B] | 4.30[B] | 0.105 | ** | * | ** |
| $NH_3$-N (mg / dl) | 5.76 | 28.67 | 28.22[A] | 29.16[A] | 22.38[B] | 1.702 | ** | NS | ** |
| Lactic acid (%DM) | ND | 2.94 | 2.81 | 3.05 | 1.92 | 0.201 | ** | NS | NS |
| Volatile fatty acid (%DM) | | | | | | | | | |
| Acetic acid | 0.70 | 0.84 | 0.84 | 0.77 | 0.79 | 0.014 | NS | NS | NS |
| Propionic acid | ND | ND | ND | ND | ND | - | - | - | - |
| Butyric acid | 0.01 | 0.07 | 0.02 | ND | 0.01 | 0.005 | * | * | NS |
| Nutritive values (%DM)[3] | | | | | | | | | |
| DM (%as fed) | 43.06 | 37.94 | 40.95 | 45.57 | 36.64 | 1.012 | NS | NS | NS |
| OM | 92.08 | 92.07 | 92.98 | 92.28 | 92.05 | 0.083 | NS | NS | NS |
| CP | 15.97 | 15.29 | 14.77 | 15.02 | 15.38 | 0.188 | NS | NS | NS |
| EE | 3.93 | 2.64 | 2.97 | 3.26 | 2.69 | 0.139 | ** | NS | NS |
| NDF | 72.28 | 63.12 | 64.49 | 64.31 | 65.05 | 0.795 | ** | NS | NS |
| ADF | 36.69 | 35.93 | 33.02 | 33.85 | 32.10 | 0.586 | NS | NS | NS |
| Hemicellulose[4] | 35.59 | 27.19 | 31.47 | 30.45 | 32.95 | 0.592 | * | * | NS |
| Cellulose[5] | 32.44 | 28.70 | 28.14 | 29.79 | 27.12 | 0.678 | NS | NS | NS |
| Lignin | 6.21 | 6.52 | 4.39 | 4.31 | 4.40 | 0.264 | NS | * | NS |

[A-B] show superscript significantly differences between the level of ($P < 0.05$). [1]eTMR: ensiled total mixed ration, [2]Ensiling: Fresh TMR vs eTMR, Inoculation: eTMR vs PP4, PP5, and PP6, Level: Compared among PP4, PP5 and PP6

[3] DM= Dry matter, OM= Organic matter, CP= Crude Protein, EE= Ether extract, NDF= Neutral detergent fiber and ADF= Acid detergent fiber

[4]Hemicellulose = NDF-ADF and [5]Cellulose = ADF-ADL, * = $p<0.05$, ** = $p<0.0$

จากการศึกษาคุณภาพการหมักของอาหารผสมครบส่วนแบบหมักในครั้งนี้พบว่าไม่สามารถตรวจวัดปริมาณของกรดแลคติกในอาหารผสมครบส่วนแบบสดและเพิ่มสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) เมื่อผ่านการหมักที่ 21 วัน แต่ไม่พบความแตกต่างที่เกิดจากระดับของการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ปริมาณกรดอะซิติกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าปริมาณของกรดบิวทีริกสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอาหารผสมครบส่วนแบบสดและอาหารผสมครบส่วนแบบหมักที่ไม่เติมเชื้อ *P. pentosaceus* (eTMR) ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบ eTMR และกลุ่มใช้เชื้อ *P. pentosaceus* ที่ระดับ $10^6$ CFU/g ส่งผลให้ระดับของปริมาณกรดบิวทีริกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่ดีของเชื้อ *P. pentosaceus* ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่ม Clostridia โดยการทำให้ค่า pH ลดลงอย่างรวดเร็ว (Agarussi *et al*., 2019) หรือการผลิตสารยับยั้งการเจริญเติบโตหรือแบคเทอริโอซิน (bacteriocins) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของระดับของการเติม *P. pentosaceus* ต่อปริมาณของกรดบิวทีริก

**คุณค่าทางโภชนะของอาหารผสมครบส่วนแบบหมัก**

คุณค่าทางโภชนะของอาหารผสมครบส่วนแบบสดและอาหารผสมครบส่วนแบบหมักแสดงใน Table 2 ปริมาณวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ โปรตีนหยาบ เยื่อใยที่ไม่ละลายในกรด (ADF) และเซลลูโลส ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันพบว่า กระบวนการหมักส่งผลให้ปริมาณไขมันในอาหารผสมครบส่วนลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) เนื่องจากในกระบวนการ หมักไขมันจากพืชถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ผ่านกระบวนการย่อยโดยเอนไซม์ไลเปส (lipase) และการเติมไฮโดรเจนในกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวให้เป็นกรดไขมันที่อิ่มตัว (biohydrogenation) (Bueno *et al*., 2020; Han and Zhou, 2013; Wu *et al*., 2021) ปริมาณเยื่อใย NDF ของอาหารผสมครบส่วนแบบหมัก (eTMR) ลดลง ($p < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบอาหารผสมครบส่วนแบบสด (72.28 เทียบกับ 63.12 %) อีกทั้งสัดส่วนเฮมิเซลลูโลสในอาหารผสมครบส่วนแบบหมักมีค่าต่ำกว่าอาหารผสมครบส่วนแบบสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (27.19 เทียบกับ 35.59 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากในระหว่างกระบวนการหมักเฮมิเซลลูโลสถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยจุลินทรีย์และเฮมิเซลลูโลสเป็นโครงสร้างที่ถูกไฮโดรไลซ์โดยกรดได้ง่าย (Bueno *et al*., 2020; Dewar *et al*., 1963; Houfani *et al*., 2020; Patel and Parsania, 2018) จึงเป็นผลทำให้ปริมาณเยื่อ NDF และสัดส่วนเฮมิเซลลูโลสลดลง นอกจากนี้พบว่าการเติมต้นเชื้อ *P. pentosaceus* สามารถลดการสูญเสียเฮมิเซลลูโลสในกระบวนการหมักได้ ($p < 0.05$) (31.62 เทียบกับ 27.19 % วัตถุแห้ง) แต่ไม่พบความแตกต่างของระดับของการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ต่อปริมาณวัตถุแห้ง ปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายในกรด (ADF) ของอาหารผสมครบส่วนแบบสดและอาหารผสมครบส่วนแบบหมัก (eTMR) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Wang *et al*. (2016) ที่รายงานว่าปริมาณเยื่อใย NDF มีปริมาณลดลงในกระบวนการหมัก ในขณะที่เยื่อใยไม่ละลายในกรด (ADF) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสในระหว่างกระบวนการหมัก การเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ทำให้ปริมาณลิกนินในอาหารผสมครบส่วนแบบหมักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (6.52 เทียบกับ 4.36 % วัตถุแห้ง) เนื่องจากการทำงานของแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกที่ผลิตเอนไซม์ lignin peroxidase ทำให้สามารถย่อยองค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในลิกนิน ส่งให้ปริมาณลิกนินลดลง (Kachouri *et al*., 2016; Kietkwanboot, 2013)

**การศึกษากระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนด้วยเทคนิคการวัดผลผลิตแก๊ส*แบบ in vitro***

จากการประเมินโดยใช้เทคนิคการผลิตแก๊สในหลอดทดลองและการย่อยได้แสดงใน Table 3 พบว่า ค่าส่วนที่ละลายได้ (a), ส่วนที่ไม่ละลายแต่หมักย่อยได้ (b), อัตราการผลิตแก๊ส (c) และศักยภาพ

Table 3. Kinetics of gas production and digestibility of fresh total mixed ration and ensiled total mixed ration inoculant with different levels of *Pediococcus pentosaceus* for 21 days of ensiling times

| Item | Treatments | | | | | SEM | *P*-values4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fresh TMR | eTMR[1] | PP4 | PP5 | PP6 | | Ensiling | Inoculation | Level |
| Kinetic of gas production[2] | | | | | | | | | |
| a | -2.90 | -2.97 | -2.90 | -2.83 | -2.54 | 0.089 | NS | NS | NS |
| b | 54.50 | 46.24 | 64.26 | 64.82 | 53.37 | 2.164 | NS | NS | NS |
| c | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.001 | NS | NS | NS |
| P | 57.41 | 49.21 | 67.15 | 67.65 | 55.91 | 2.185 | NS | NS | NS |
| Gas accumulative 72h, | 38.98 | 32.22 | 41.63 | 43.72 | 38.18 | 1.017 | * | * | |
| ml/0.2DM | | | | | | | | | NS |
| Digestibility 24 h[3] | | | | | | | | | |
| IVDMD, % | 54.25 | 48.95 | 55.84 | 54.87 | 56.16 | 0.817 | NS | * | NS |
| IVOMD, % | 56.25 | 51.76 | 58.29 | 56.90 | 58.09 | 0.751 | NS | * | NS |

[A–B] show superscript significantly differences between the level of ($P<0.05$). [1]eTMR: ensiled total mixed ration Hemicellulose = NDF-ADF, Cellulose = ADF-ADL

[2] *a* = gas production (ml) from quickly soluble fraction, *b* = gas production (ml) from insoluble fraction, *c* = gas production rate and P= potential gas production

[3] IVDMD = In vitro dry matter digestibility and IVOMD= In vitro organic matter digestibility

[4] Ensiling: Fresh TMR vs eTMR, Inoculation: eTMR vs PP4, PP5, and PP67, Level: Compared among PP4, PP5 and PP6, * = $p<0.05$, ** = $p<0.01$

การผลิตแก๊ส (P) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง ($p > 0.05$) ในขณะที่การผลิตแก๊สที่ 72 ชั่วโมงของอาหารผสมครบส่วนแบบสดมากกว่าอาหารผสมครบส่วนแบบหมักอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (38.98 เทียบกับ 32.22 มิลลิลิตร) เนื่องจากกระบวนการหมักมีการสูญเสียโภชนะที่เกิดมาจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่ทำการเปลี่ยนโภชนะต่าง ๆ โดยเฉพาะน้ำตาลเปลี่ยนเป็นสารอื่น ๆ เช่น กรดไขมันระเหยง่ายและกรดแลคติกเป็นต้น จึงส่งผลให้สารตั้งต้นในการใช้งานโดยจุลินทรีย์ในของเหลวในกระเพาะรูเมนลดลง (Ali *et al*., 2015; Zhao *et al*., 2018) อย่างไรก็ตามการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ในอาหารนั้นส่งผลให้การผลิตแก๊สมากขึ้น (41.17 เทียบกับ 32.22 มิลลิลิตร) ($p < 0.05$) เนื่องจากการเติมเชื้อ *P. pentosaceus* มีแนวโน้มที่ปริมาณองค์ประกอบเยื่อใย NDF คงเหลือ มากกว่ากลุ่มไม่เติมเชื้อ *P. pentosaceus* จึงผลทำให้มีค่าผลผลิตแก๊สที่มากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Huo *et al.* (2021) ที่ได้ศึกษาการเติมแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกลงในถั่วอัลฟาฟ่าหมัก พบว่าสามารถผลิตแก๊สได้มากกว่ากลุ่มที่ไม่เติมเชื้อ ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุในหลอดทดลองของกลุ่มที่เติมเชื้อ *P. pentosaceus* สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (55.62 เทียบกับ 48.95 % และ 57.76 เทียบกับ 51.76 % ตามลำดับ) เนื่องจากการลดลงของค่า pH และกรดแลคติกที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักนั้นส่งผลทำให้เกิดการสลายลิกนินที่เกาะอยู่กับคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง และเนื่องจากลิกนินมีปฏิสัมพันธ์กับค่าการย่อยได้ การที่ลิกนินลดลงจึงส่งผลให้เกิดการย่อยได้ที่มากยิ่งขึ้น (Kaewpila *et al*., 2021; Raffrenato *et al.,* 2017)

## สรุป

การเติมเชื้อ *P. pentosaceus* ที่ระดับตั้งแต่ $10^4$ ถึง $10^6$CFU/g สามารถใช้ในกระบวนการหมักอาหารผสมครบส่วนโดยไม่ส่งผลเสียต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และเพิ่มความสามารถในการย่อยของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุ นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมเชื้อที่ระดับ $10^6$CFU/g สามารถปรับปรุงคุณภาพของการหมักได้เหมาะสม ทั้งยังช่วยลดระดับ pH และปริมาณของ $NH_3$-N ของอาหารผสมครบส่วนแบบหมักได้มากที่สุด แต่ทั้งนี้ควรคำนึงถึงชนิดของวัตถุดิบ สัดส่วนของอาหารข้นและอาหารหยาบ รวมไปถึงความคุ้มทุนในการเติมเชื้อด้วย

## เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, M.D.

Agarussi, M.C.N., O.G. Pereira, R.A. de Paula, V.P. da Silva, J.P.S. Roseira and F.F. e Silva. 2019. Novel lactic acid bacteria strains as inoculants on alfalfa silage fermentation. Scientific Reports 9(1): 0087, doi: 10.1038/s41598-019-44520-9

Ali, M., J.W. Cone, N.A. Khan, W.H. Hendriks and P.C. Struik. 2015. Effect of temperature and duration of ensiling on *in vitro* degradation of maize silages in rumen fluid. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 99(2): 251-257.

Bal, M.A., J.G. Coors and R.D. Shaver. 1997. Impact of the maturity of corn for use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. Journal of Dairy Science 80(10): 2497-2503.

Bueno, A.V.I., G. Lazzari, C.C. Jobim and J.L.P. Daniel. 2020. Ensiling total mixed ration for ruminants: A review. Agronomy 10(6): 879, doi: 10.3390/agronomy10060879.

Chaney, A.L. and E.P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clinical Chemistry 8(2): 130-132.

De Man, J.C., M. Rogosa and M.E. Sharpe. 1960. A medium for the cultivation of lactobacilli. Journal of Applied Bacteriology 23(1): 130-135.

Dewar, W.A., P. McDonald and R. Whittenbury. 1963. The hydrolysis of grass hemicelluloses during ensilage. Journal of the Science of Food and Agriculture 14(6): 411-417.

Ertekin, I. and M. Kızılsimsek. 2020. Effects of lactic acid bacteria inoculation in pre-harvesting period on fermentation and feed quality properties of alfalfa silage. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences *33*(2): 245.

Fijalkowska, M., B. Pysera, K. Lipinski and D. Strusinska. 2015. Changes of nitrogen compounds during ensiling of high protein herbages - A review. Annals of Animal Science 15(2): 289-305.

Filya, I., R.E. Muck, and F.E. Contreras-Govea. 2007. Inoculant effects on alfalfa silage: Fermentation products and nutritive value. Journal of Dairy Science 90(11): 5108-5114.

Han, L. and H. Zhou. 2013. Effects of ensiling processes and antioxidants on fatty acid concentrations and compositions in corn silages. Journal of Animal Science and Biotechnology 4(1): 48, doi: 10.1186/2049-1891-4-48.

Houfani, A. A., N. Anders, A.C. Spiess, P. Baldrian and S. Benallaoua. 2020. Insights from enzymatic degradation of cellulose and hemicellulose to fermentable sugars- A review. Biomass and Bioenergy 134: 105481, doi: 10.1016/j.biombioe.2020. 105481.

Huo, W., X. Wang, Z. Wei, H. Zhang, Q. Liu, S. Zhang, C. Wang, L. Chen, Q. Xu and G. Guo. 2021. Effect of lactic acid bacteria on the ensiling characteristics and *in vitro* ruminal fermentation parameters of alfalfa silage. Italian Journal of Animal Science 20(1): 623-631.

Jiang, D., B. Li, M. Zheng, D. Niu, S. Zuo and C. Xu. 2020. Effects of *Pediococcus pentosaceus* on fermentation, aerobic stability and microbial communities during ensiling and aerobic spoilage of total mixed ration silage containing alfalfa (*Medicago sativa* L.). Grassland Science 66(4): 215-224.

Kachouri, F., K. Setti, H. Ksontini, M. Mechmeche and M. Hamdi. 2016. Improvement of antioxidant activity of olive mill wastewater phenolic compounds by *Lactobacillus plantarum* fermentation. Desalination and Water Treatment 57(56): 27125-27137.

Kaewpila, C., P. Gunun, P. Kesorn, S. Subepang, S. Thip-Uten, Y. Cai, S. Pholsen, A. Cherdthong and W. Khota. 2021. Improving ensiling characteristics by adding lactic acid bacteria modifies *in vitro* digestibility and methane production of forage-sorghum mixture silage. Scientific Reports 11(1): 1968, doi: 10.1038/s41598-021-81505-2.

Ketpanich, N., S. Yammuen-art and P. Kongmun. 2021. Screening and selection of lactic acid bacteria fromensiled total mixed ration at different ensiling time, pp. 55-58. *In:* Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Agriculture and Aquaculture for Well Being and Food Security.

Kietkwanboot, A. 2013. Decolorization and biodegradation of phenolics in palm oil mill effluent by white rot fungi immobilized on oil palm residues. M.S. Thesis. Prince of Songkla University, Songkhla. (in Thai)

Kim, D.H., K.D. Lee and K.C. Choi. 2021. Role of LAB in silage fermentation: Effect on nutritional quality and organic acid production. AIMS Agriculture and Food 6(1): 216-234.

Liu, Q., M. Chen, J. Zhang, S. Shi and Y. Cai. 2012. Characteristics of isolated lactic acid bacteria and their effectiveness to improve stylo (*Stylosanthes guianensis* Sw.) silage quality at various temperatures. Animal Science Journal 83(2): 128-135.

Menke, K.H. and H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Animal Research and Development 28(1): 7-55.

Oliveira, A.S., Z.G. Weinberg, I.M. Ogunade, A.A.P. Cervantes, K.G. Arriola, Y. Jiang, D. Kim, X. Li, M.C.M. Gonçalves, D. Vyas and A.T. Adesogan. 2017. Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. Journal of Dairy Science 100(6): 4587-4603.

Ørskov, E.R. and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. The Journal of Agricultural Science 92(2): 499-503.

Patel, J.P. and P.H. Parsania. 2018. Characterization, testing, and reinforcing materials of biodegradable composites. Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites, doi: 10.1016/B978-0-08-100970-3.00003-1.

Raffrenato, E., R. Fievisohn, K.W. Cotanch, R.J. Grant, L.E. Chase and M.E. Van Amburgh. 2017. Effect of lignin linkages with other plant cell wall components on *in vitro* and *in vivo* neutral detergent fiber digestibility and rate of digestion of grass forages. Journal of Dairy Science 100(10): 8119-8131.

Ramos, J.P.F., E.M. Santos, A.P.M. dos Santos, W.H. de Souza and J.S. Oliveira. 2016. Ensiling of forage crops in semiarid regions. pp. 65-84. *In*: T. Da Silva (ed.). Advances in Silage Production and Utilization, IntechOpen Limited, London.

Scherer, R., A.C.P. Rybka, C.A. Ballus, A.D. Meinhart, J.T. Filho and H.T. Godoy. 2012. Validation of a HPLC method for simultaneous determination of main organic acids in fruits and juices. Food Chemistry 135(1): 150-154.

Steel, R.G.D., J.H. Torrie and D.A. Dickey. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 2nd ed. McGraw-Hill, New York. 672 p.

Taylor, C.C., N.J. Ranjit, J.A. Mills, J.M. Neylon and L. Kung. 2002. The effect of treating whole-plant barley with *Lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for dairy cows. Journal of Dairy Science 85(7): 1793-1800

Tilley, J.M.A. and R.A. Terry. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. Grass and Forage Science 18(2): 104-111.

Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74(10): 3583-3597.

Wang, H., T. Ning, W. Hao, M. Zheng and C. Xu. 2016. Dynamics associated with prolonged ensiling and aerobic deterioration of total mixed ration silage containing whole crop corn. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 29(1): 62-72

Weinberg, Z.G., G. Ashbell, Y. Hen and A. Azrieli. 1993. The effect of applying lactic acid bacteria at ensiling on the aerobic stability of silages. Journal of Applied Bacteriology 75(6): 512-518.

Wongnen, C., C. Wachirapakorn, C. Patipan, D. Panpong, K. Kongweha, N. Namsaen, P. Gunun and C. Yuangklang. 2009. Effects of fermented total mixed ration and cracked cottonseed on milk yield and milk composition in dairy cows. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 22(12): 1625-1632.

Wu, J.X., C. Zong, T. Shao, Y.S. Liang, J.C. McCann, Z.H. Dong, J.F. Li, J. Zhang and Q.H. Liu. 2021. Clarifying the relationships among bacteria, lipid-related enzymes, main polyunsaturated fatty acids and fat-soluble vitamins in alfalfa (*Medicago sativa* L.) silage using various sugar supplementations. Animal Feed Science and Technology 272: 114799, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114799

Zhao, J., Z. Dong, J. Li, L. Chen, Y. Bai, Y. Jia and T. Shao. 2018. Ensiling as pretreatment of rice straw: The effect of hemicellulase and *Lactobacillus plantarum* on hemicellulose degradation and cellulose conversion. Bioresource Technology 266: 158-165.

# ระดับโปรตีนและพลังงานใช้ประโยชน์ในอาหารที่เหมาะสมต่อสมรรถภาพการผลิต และองค์ประกอบซากของไก่ลูกผสมพื้นเมือง (ประดู่หางดำ x ฮับบาร์ดเจเอ 57 เคไอ) ช่วงอายุ 11-15 สัปดาห์

# Optimum Dietary Protein and Metabolizable Energy Levels on Production Performance and Carcass Composition of Crossbred Native Chicken (Pradu Hang Dam x Hubbard JA 57 Ki) During 11-15 Weeks of Age

**วรรณสุข ไชยเดช บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และ สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์***

Vanhnasouk Sayyadad, Boonlom Cheva-Isarakul and Suchon Tangtaweewipat*

*ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*

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

**Corresponding author: Email: agani002@gmail.com*

*(Received: 25 August 2021; Accepted: 10 October 2021)*

**Abstract:** A total of 630 male and 630 female Pradu Hang Dam x Hubbard JA 57 Ki crossbred native chickens at 10 weeks of age was randomly allocated into 6 groups of 3 replicates. They were raised in an open house during 11 - 15 weeks of age and fed with diets containing 17 % vs 15 % CP. Each CP level contained 3 ME levels (3.2 vs 2.9 vs 2.6 kcal / g) based on a 2 x 3 factorial in RCBD having sex as a block. The result revealed that no significant interaction between CP and ME on all parameters. The 17 % CP diets gave significantly better BWG, ADG, FCR and feed cost per kg BWG (FCG) than 15 % CP diets. The FI, mortality and carcass composition were not different ($P > 0.05$). Decreasing dietary ME from 3.2 to 2.9 or 2.6 kcal / g gave higher FI, BWG but worse FCR and FCG, while the 2.9 kcal ME / g diet gave the highest BWG and ADG ($P < 0.05$). Neither CP nor ME had significant effect on carcass percentage and carcass composition, except the gizzard and abdominal fat which were higher ($P < 0.05$) with the decreasing level of ME. Male had significantly higher growth, nutrient intake and carcass composition but lower breast meat and abdominal fat than female ($P < 0.05$). Sex had no significant effect on FCR, FCG, mortality rate, the percentage of thigh meat and wing ($P > 0.05$). The optimum ration for this crossbred native chicken during 11 - 15 weeks of age should contain 17 % CP with 2.9 kcal ME/g.

**Keywords:** Crossbred native chicken, Pradu Hang Dam chicken, Hubbard JA 57 Ki, protein, metabolizable energy, production performance

**บทคัดย่อ**: ใช้ไก่ลูกผสมพื้นเมืองประดู่หางดำ x ฮับบาร์ดเจเอ 57 เคไอ (Hubbard JA 57 Ki) อายุ 10 สัปดาห์ เพศละ 630 ตัว สุ่มแบ่งเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ 2 x 3 factorial in RCBD โดยมีเพศเป็น block ให้อาหาร 6 สูตร คือ CP 2 ระดับ (17 % และ 15 %) ME 3 ระดับ คือ 3.2, 2.9 และ 2.6 kcal/g ใช้เลี้ยงไก่อายุ 11 - 15 สัปดาห์ ในโรงเรือนแบบเปิด พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่าง CP และ ME ในทุกค่าที่ศึกษา อาหาร 17 % CP ทำให้การเจริญเติบโต (BWG), อัตราแลกน้ำหนัก (FCR) และต้นทุนค่าอาหาร (FCG) ดีกว่า 15 % CP ($P < 0.05$) ส่วนปริมาณอาหารที่กินได้ (FI) อัตราการตาย และองค์ประกอบซากไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) การลด ME จาก 3.2 เป็น 2.9 หรือ 2.6 kcal / g ทำให้ FI และ BWG สูงขึ้น แต่มี FCR และ FCG ด้อยลง โดยระดับ 2.9 kcal ME / g ให้ BWG และ ADG ดีที่สุด ($P < 0.05$) ทั้งระดับ CP และ ME ไม่มีผลต่อสัดส่วนซากและองค์ประกอบซาก ยกเว้น กระเพาะบด และไขมันในช่องท้องที่สูงขึ้นเมื่อลดระดับ ME ($P < 0.05$) นอกจากนี้พบว่า ไก่เพศผู้มี FI และ BWG รวมทั้งสัดส่วนซาก และองค์ประกอบซากดีกว่า แต่มีเนื้ออกและไขมันในช่องท้องต่ำกว่าเพศเมีย ($P < 0.05$) ในขณะที่ เพศไม่มีผลต่อ FCR, FCG อัตราการตาย รวมทั้งสัดส่วนของเนื้อสะโพกและปีก สูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับ ไก่ลูกผสมพื้นเมืองสายพันธุ์นี้ในช่วงอายุ 11 - 15 สัปดาห์ คือ 17 % CP, 2.9 kcal ME / g.

**คำสำคัญ**: ไก่ลูกผสมพื้นเมือง ไก่ประดู่หางดำ ไก่ฮับบาร์ดเจเอ 57 เคไอ โปรตีน พลังงานใช้ประโยชน์ สมรรถภาพภาพการผลิต

## คำนำ

ไก่พื้นเมือง (native chicken) เป็นไก่ที่คนไทยนิยมเลี้ยงกันมานานหลายร้อยปี ใช้ประโยชน์หลักด้านการให้เนื้อ รวมทั้งการขยายแพร่พันธุ์ผลิตลูก เพราะมีความสามารถโดดเด่นทั้งในด้านการฟักไข่ การเลี้ยงลูก และความทนทานต่อโรค อย่างไรก็ดี เนื่องจากไก่พื้นเมืองมีการเจริญเติบโตช้า มีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ (อัตราแลกน้ำหนักมีค่าสูง) รวมทั้งมีความสามารถในการให้ไข่ต่ำด้วย จึงเป็นอุปสรรคต่อการเพิ่มปริมาณการผลิตให้เพียงพอต่อความนิยมในการบริโภค ซึ่งมีอัตราสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามรายงานของ Office of Agricultural Economics (2020) ระบุว่า ปี พ.ศ. 2553 มีปริมาณไก่พื้นเมืองทั้งประเทศจำนวน 70.80 ล้านตัว ในขณะที่ปี พ.ศ. 2562 และ 2563 มีจำนวน 74.96 และ 82.13 ล้านตัว หรือเท่ากับเพิ่มขึ้นประมาณ 16% แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งจะเห็นได้จากราคาจำหน่ายไก่พื้นเมืองมีชีวิตเมื่อเทียบกับไก่เนื้อมีชีวิต (broiler) จะมีราคาสูงกว่าเป็น 2 - 3 เท่า (80 เทียบกับ 30 บาทต่อกิโลกรัม; ข้อมูลสำรวจเดือนมิถุนายน 2564) ด้วยเหตุนี้ จึงมีธุรกิจการผลิตไก่ลูกผสมพื้นเมือง โดยใช้พ่อไก่พื้นเมืองผสมกับไก่แม่พันธุ์ประเภทกึ่งเนื้อกึ่งไข่ ซึ่งจะมีความสามารถในการให้ไข่สูง เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตลูกไก่ให้ได้จำนวนมากกว่าใช้แม่ไก่พื้นเมืองหลายเท่าตัว ไก่ลูกผสมพื้นเมืองเหล่านี้ยังคงคุณภาพรสชาติของเนื้อ โดยมีความอร่อย เนื้อแน่นนุ่ม มีไขมันต่ำ เช่นเดียวกับไก่พื้นเมือง แต่มีสมรรถภาพการผลิต (การเจริญเติบโต การกินอาหาร และอัตราแลกน้ำหนักดีกว่า) รวมทั้งใช้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าไก่พื้นเมืองด้วย (Tangtaweewipat *et al*., 2000)

ปัจจุบัน ฟาร์มสัตว์ปีก ภาควิชาสัตวศาสตร์ และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ผลิตไก่ลูกผสมระหว่างพ่อพื้นเมืองพันธุ์ประดู่หางดำกับแม่พันธุ์ฮับบาร์ด เจเอ 57 เคไอ (Hubbard JA 57 Ki) ซึ่งแม่ไก่พันธุ์นี้เป็นไก่ที่ปรับปรุงโดยบริษัทฮับบาร์ด (Hubbard, 2019) มีลักษณะเป็นยีนด้อย (recessive gene) ทำให้ลูกไก่ที่เกิดจากแผนการผสมพันธุ์ข้างต้นมีคุณลักษณะและคุณสมบัติเหมือนกับพ่อ คือ ไก่ประดู่หางดำสูงมาก (Niyamcom, 2019) ซึ่งจัดเป็นคุณลักษณะที่ดีเด่น เป็นอัตลักษณ์ของไก่ลูกผสมสายพันธุ์นี้ โดยผลิตได้จำนวนประมาณ 40,000 ตัวต่อเดือน เกษตรกรนำไปเลี้ยงเป็นไก่ขุนเพื่อจำหน่ายในภาคเหนือทั่วไป (สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; ไม่ได้ตีพิมพ์)

ในด้านอาหารของไก่ลูกผสมพื้นเมือง ซึ่งมีแหล่งผลิตและสายพันธุ์ต่าง ๆ กัน มีนักวิจัยพยายามศึกษา อาทิเช่น Chomchai *et al*. (1998) รายงานว่า การให้อาหารที่มีโปรตีน (CP) 17.4 % พลังงานใช้ประโยชน์ (metabolizable energy; ME) 3.01 kcal / g ในไก่ลูกผสมพ่อพื้นเมืองกับแม่พันธุ์เซี่ยงไฮ้-โรดไอร์แลนด์แดง-บาร์พลีมัทรอค (N x Shanghai-RIR - BPR) ให้ผลการเจริญเติบโตที่ดีและมีต้นทุนค่าอาหารต่ำสุด Tangtaweewipat *et al*. (2000) รายงานว่า ไก่ลูกผสมพ่อพื้นเมืองประดู่หางดำกับแม่พันธุ์โร๊ดไอร์แลนด์แดง-พลีมัทร๊อคลาย หรือเรดโบร (N × RIR - BAR or Redbro) ซึ่งผลิตโดยบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง ในช่วงอายุไก่ 1 - 5, 6 - 10 และ 11 - 13 สัปดาห์ สูตรอาหารที่เหมาะสมคือ 21 % CP, 2.9 kcal ME / g, 17 % CP, 2.9 kcal ME / g และ 15% CP, 2.6 kcal ME / g ตามลำดับ ต่อมา Pingmuang *et al*. (2001) และ Tananchai *et al*. (2001) ได้ศึกษาในไก่ลูกผสมพื้นเมือง x Redbro ช่วงอายุ 6 - 10 สัปดาห์ โดยในช่วงก่อนทดลองได้ให้อาหารที่เหมาะสมตามที่รายงานไว้โดย Tangtaweewipat *et al*. (2000) ปรากฏว่า ไก่เพศผู้ สูตรอาหารที่เหมาะสมคือ 17 % CP, 2.9 kcal ME/g ส่วนไก่เพศเมีย คือ 17 % CP, 2.6 kcal ME/g ทำนองเดียวกับ Tananchai *et al*. (2001) ซึ่งได้ศึกษาในไก่สายพันธุ์นี้ ในช่วงอายุ 11 - 13 สัปดาห์ โดยในช่วงก่อนทดลองได้ให้อาหารที่เหมาะสมตามที่รายงานไว้โดย Tangtaweewipat *et al*. (2000) และ Pingmuang *et al*. (2001) ปรากฏว่า อาหารที่เหมาะสมสำหรับไก่ทั้งสองเพศคือ 15 % CP, 2.6 kcal ME / g ทั้งนี้ ทั้งสามรายงานข้างต้นพบว่า ไก่ทั้งสองเพศจะมีน้ำหนักตัวลดลงตามการลดระดับ CP แต่เพิ่มขึ้นตามการลดลงของ ME ในสูตรอาหาร ด้วยเหตุนี้การลดระดับ CP และ ME จึงทำให้ FCR ด้อยลง ส่วน Nguyen and Bunchasak (2005) รายงานว่า ไก่เบตงที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Batong KU line) ในช่วงไก่เล็ก (อายุ 0 - 6 สัปดาห์) สูตรอาหารที่เหมาะสมคือ 17 - 18 % CP, 3.0 kcal ME / g ส่วนช่วงไก่รุ่น (อายุ 6 - 12 สัปดาห์) คือ 19 % CP, 3.0 kcal ME / g (Nguyen *et al*., 2010) สำหรับไก่โคราช ซึ่งเป็นลูกผสมระหว่างพ่อพื้นเมืองเหลืองหางขาวกับแม่พันธุ์ มทส. ผลิตโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี Maliwan *et al.* (2017) รายงานว่า อาหารที่เหมาะสมในช่วงไก่อายุ 0 - 2, 2 - 5, 5 - 8, 8 - 10 และ 10 - 13 สัปดาห์ คือ อาหารสำเร็จรูปทางการค้าที่มี 21, 19, 17, 15 และ 14 % CP เนื่องจากมีต้นทุนค่าอาหารต่ำ และไม่มีผลเสียต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพซาก

ในกรณีของไก่ลูกผสมระหว่างพ่อพื้นเมืองพันธุ์ประดู่หางดำกับแม่พันธุ์ฮับบาร์ด เจเอ 57 เคไอ ที่ผลิตโดยฟาร์มสัตว์ปีกของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และผลิตโดยบริษัทเอกชนอื่น ๆ อีกหลายแห่ง ยังมีข้อมูลเรื่องการให้อาหารอย่างจำกัด ส่วนใหญ่มักให้อาหารสำเร็จรูปทางการค้าชนิดลูกไก่เนื้อในระยะไก่เล็ก อาหารลูกไก่ไข่ในระยะไก่รุ่น และอาหารไก่พื้นเมืองในระยะขุน ซึ่งอาจไม่เหมาะสม ดังนั้นเพื่อเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ลูกผสมพื้นเมืองสายพันธุ์ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งปัจจุบันมีเกษตรกรนิยมเลี้ยงเพิ่มขึ้นจำนวนมาก และเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ประกอบการผลิตอาหารสัตว์ในการผลิตอาหารสำเร็จรูปทางการค้าจำหน่ายให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ประเภทนี้ต่อไป การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาระดับ CP และ ME ที่เหมาะสมในอาหารช่วงไก่อายุ 11 - 15 สัปดาห์

## อุปกรณ์และวิธีการ

### สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่ลูกผสมพ่อพันธุ์ประดู่หางดำกับแม่พันธุ์ฮับบาร์ด เจเอ 57 เคไอ อายุ 1 วัน จำนวน 1,700 ตัว เป็นเพศผู้และเพศเมียชนิดละ 850 ตัว ลูกไก่แต่ละเพศเลี้ยงแยกกันในโรงเรือนเปิดขนาด 12 x 50 เมตร ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (ขนาดส่วนละ 12 x 20 เมตร) มีพื้นที่ตรงกลางโรงเรือนเป็นที่ว่าง สำหรับใช้งานทั่วไป โรงเรือนแต่ละส่วน (ฝั่ง) ใช้เลี้ยงไก่เพศใดเพศหนึ่ง โดยเลี้ยงแบบปล่อยพื้น มีแกลบเป็นวัสดุรองพื้น ในช่วงไก่อายุ 1 - 10 สัปดาห์ ให้อาหารที่มี 19 % CP, 3.2 kcal ME / g เหมือนกันทั้งสองเพศ เมื่อไก่อายุครบ 10 สัปดาห์

(อายุ 70 วัน) คัดเลือกไก่ที่มีความสมบูรณ์ สุขภาพดีและแข็งแรง จำนวนเพศละ 630 ตัว มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 0.76 กิโลกรัม โดยเพศผู้และเพศเมียมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 0.78 และ 0.74 กิโลกรัม ตามลำดับ จากนั้นสุ่มแบ่งไก่แต่ละเพศออกเป็น 6 กลุ่ม ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 35 ตัว ไก่ในแต่ละซ้ำเลี้ยงในคอกขนาด 2 x 4 เมตร ซึ่งเป็นคอกย่อยที่แบ่งขึ้นภายในโรงเรือนเดิมดังกล่าว โดยแต่ละฝั่งของโรงเรือนมีคอกย่อยจำนวน 18 คอก ใช้เลี้ยงไก่เพศใดเพศหนึ่งแยกกัน

**อาหารทดลอง**

อาหารทดลองมี 6 สูตร ประกอบด้วย CP 2 ระดับ คือ 17 และ 15 % แต่ละระดับ CP มี ME 3 ระดับ คือ 3.2, 2.9 และ 2.6 kcal/g การผสมและคำนวณสูตรอาหารใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Least cost formulation) ของห้างหุ้นส่วนจำกัด รุ่งทองคำ อะกริเทค จังหวัดเชียงใหม่ เป็นผู้ผลิต ซึ่งเป็นอาหารชนิดผง (mash form) โดยกำหนดให้มีกรดอะมิโนที่จำเป็น ได้แก่ เมทไธโอนีน (Met) มีปริมาณไม่น้อยกว่า 0.43 และ 0.41 % ส่วนไลซีน (Lys) ไม่น้อยกว่า 0.85 และ 0.70 % ในสูตรอาหารที่มี 17 % และ 15 % CP ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าระดับที่แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่รุ่นสายพันธุ์ให้เปลือกไข่สีน้ำตาลและเปลือกไข่สีขาว กล่าวคือ แนะนำให้ใช้ Met ไม่น้อยกว่า 0.23 และ 0.25 % ส่วน Lys ไม่น้อยกว่า 0.56 และ 0.60 % ในช่วงไก่อายุ 6 - 12 สัปดาห์ ส่วนช่วงไก่อายุ 12 - 18 สัปดาห์ แนะนำให้มีปริมาณ Met ไม่น้อยกว่า 0.19 และ 0.20 % ส่วน Lys ไม่น้อยกว่า 0.42 และ 0.45 % ตามลำดับ (NRC, 1994) ทั้งนี้ผู้ผลิตได้เลือกใช้วัตถุดิบชนิดที่ใช้ทั่วไปในทางการค้า ใช้วิธีผสมครั้งเดียวตลอดการทดลองเป็นเวลา 5 สัปดาห์ (อายุไก่ 11 - 15 สัปดาห์) ไก่ทดลองแต่ละเพศซึ่งมีเพศละ 6 กลุ่ม ถูกสุ่มให้ได้รับอาหารทดลองสูตรใดสูตรหนึ่ง ด้วยแผนการทดลองแบบ 2 x 3 factorial in randomized completely block design (RCBD) โดยมีเพศเป็น block ไก่ทดลองทุกตัวได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum)* วันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็นที่เวลา 7.00 และ 17.00 น. ตลอดการทดลอง

**การวิเคราะห์อาหารทดลองและเก็บข้อมูล**

สุ่มอาหารทดลองทุกสูตรไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (proximate analysis) ตามที่บ่งไว้โดย AOAC (2005) โดยค่า DM, CP, EE, CF และ ash อ้างอิงตาม AOAC Official Method 934.01, 2001.11, 920.39, 962.09 และ 942.05 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า %NFE คำนวณจากค่า %DM - %ash - %EE - %CP - %CF ส่วนการวิเคราะห์ค่าพลังงานรวม (GE) ในอาหารใช้เครื่อง bomb calorimeter รุ่น AC - 500 (LECO Instruments Ltd, Thailand)

สำหรับข้อมูลด้านสมรรถภาพการผลิต เก็บจากการบันทึกน้ำหนักตัวไก่โดยชั่งไก่แบบรวมทุกตัวในแต่ละซ้ำเมื่อเริ่มต้นทดลองในไก่อายุ 11 สัปดาห์ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่อายุไก่ 15 สัปดาห์บริบูรณ์ ค่าที่ได้นำไปคำนวณน้ำหนักตัวเพิ่ม (body weight gain, BWG) และน้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain, ADG) ส่วนปริมาณอาหารที่กิน (feed intake, FI) บันทึกทุกครั้งที่ให้ แล้วนำมาคำนวณ โดยหักอาหารที่เหลือออกเมื่อสิ้นสุดการทดลอง จากนั้นคำนวณค่าอัตราแลกน้ำหนัก (feed conversion ratio, FCR) จากปริมาณอาหารที่กิน/น้ำหนักตัวเพิ่ม และคำนวณต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (feed cost per gain, FCG) จาก [(อัตราแลกน้ำหนัก x ราคาอาหารต่อกิโลกรัม) / น้ำหนักตัวเพิ่ม] ส่วนอัตราการตาย และการคัดไก่ออก เนื่องจากพิการ หรือมีความผิดปกติอื่น ๆ บันทึกทุกครั้งเมื่อพบเห็น แล้วนำไปคำนวณเป็นค่าร้อยละเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ในด้านคุณภาพซาก ทำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยสุ่มเลือกไก่ที่มีน้ำหนักตัวใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของแต่ละซ้ำ ในแต่ละเพศ จำนวนเพศละ 2 ตัวต่อซ้ำ หรือเท่ากับเพศละ 6 ตัวต่อกลุ่ม ให้ไก่อดอาหารเป็นเวลา 12 ชั่วโมงก่อนการชำแหละ จากนั้นบันทึกน้ำหนักตัวมีชีวิต (live weight) แล้วทำการชำแหละด้วยวิธีการุณยฆาต บันทึกน้ำหนักซาก (ที่ปราศจากหัว คอ และแข้ง) น้ำหนักของอวัยวะ (ตับและกระเพาะบด) ชิ้นส่วนของซาก (เนื้ออก สะโพก น่อง ปีก) และไขมันในช่องท้อง โดยเทียบเป็นร้อยละของน้ำหนักซากอุ่น (% hot carcass weight)

สำหรับเปอร์เซ็นต์ซากคำนวณจากน้ำหนักซาก/น้ำหนักไก่หลังฆ่า (เอาเลือดออก และถอนขน) คูณด้วย 100

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยแผนสถิติแบบ 2 x 3 factorial in RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Duncan's new multiple range test ตามที่ระบุไว้โดย Steel *et al.* (1997) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (SAS Version 6.12.0.1 Software)

งานทดลองทำที่ฟาร์มสัตว์ปีก ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยการอนุบาล การเลี้ยงตลอดจนการทำวัคซีน และการจัดการอื่น ๆ ปฏิบัติตามโปรแกรมของฟาร์มสัตว์ปีก ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทุกประการ

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

**องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง**

โภชนะที่สำคัญของสูตรอาหาร ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้าของอาหารทดลองทั้ง 6 สูตร ที่วิเคราะห์ได้ แสดงไว้ใน Table 1 มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณไว้ ทำนองเดียวกับค่า GE ที่ได้จากการวิเคราะห์สูตรอาหารทดลอง พบว่า มีค่าต่างกันระดับละประมาณ 200 kcal ซึ่งมีความแตกต่างใกล้เคียงกับค่า ME ที่ได้กำหนดไว้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ จากผลการวิเคราะห์ระดับเยื่อใยในอาหารทดลองทั้ง 6 สูตรดังกล่าว พบว่า สูตรอาหารที่มี ME หรือ GE ระดับต่ำ จะมีเยื่อใยสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าที่คำนวณไว้ ทั้งนี้เนื่องจากมีการใช้วัตถุดิบแหล่งเยื่อใย ได้แก่ รำข้าวละเอียดในสูตรอาหารระดับสูง แต่ยังคงมีปริมาณเยื่อใยในระดับที่แนะนำให้ใช้ได้ กล่าวคือ มีระดับ 2.5 - 3.5 % และ 3.5 - 8.0 % ในไก่ช่วงอายุ 1 - 8 และ 8 - 19 สัปดาห์ ตามลำดับ (Hubbard, 2019) หรือมีระดับไม่เกิน 8 % ในอาหารไก่ไข่ระยะรุ่นสาว (Tangtaweewipat *et al.,* 1996)

**สมรรถภาพการผลิต**

จากการให้อาหารตลอดระยะการทดลอง 5 สัปดาห์ในช่วงไก่อายุ 11-15 สัปดาห์ ผลแสดงไว้ใน Table 2 ปรากฏว่า ไม่พบค่าปฏิสัมพันธ์ (interaction) ของระดับ CP และ ME ($P > 0.05$) ในทุกลักษณะที่ศึกษา เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักด้าน CP พบว่า การให้อาหารที่มี CP ระดับสูง (17%) ให้ผลด้านสมรรถภาพ

Table 1. Chemical composition of experimental diets (% air dry basis)

| Level of CP (%) in diet | 17% | | | 15% | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Level of ME (kcal/g) in diet | 3.2 | 2.9 | 2.6 | 3.2 | 2.9 | 2.6 |
| DM | 91.66 | 91.65 | 92.94 | 91.70 | 87.13 | 86.81 |
| CP | 17.24 | 17.16 | 17.04 | 15.70 | 15.23 | 15.05 |
| EE | 7.50 | 4.73 | 4.21 | 7.18 | 4.40 | 4.14 |
| CF | 3.80 | 5.70 | 7.52 | 3.83 | 5.20 | 7.11 |
| Ash | 5.07 | 7.74 | 9.36 | 6.23 | 8.24 | 10.70 |
| NFE | 58.05 | 56.32 | 54.81 | 58.76 | 54.06 | 49.81 |
| GE (kcal/g) | 4.046 | 3.821 | 3.602 | 3.960 | 3.799 | 3.539 |

Analyzed at Feed Lab., Department of Animal and Aquatic Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

DM = dry matter, CP= crude protein, EE = ether extract, CF = crude fiber, NFE = nitrogen free extract; GE = gross energy

การผลิต (BWG, ADG, FCR) และต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม 1 กิโลกรัม (FCG) ดีกว่าการให้ CP ระดับต่ำ (15 %) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณอาหารที่กินและอัตราการตายไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) สำหรับปัจจัยด้าน ME พบว่า ไก่กินอาหารได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามการลดลงของระดับ ME ในสูตรอาหาร จึงส่งผลให้ไก่มีน้ำหนักตัว (BWG และ ADG) สูงขึ้น โดยที่ระดับ 2.9 kcal ME / g ให้ BWG และ ADG สูงที่สุด แตกต่างจากการให้ระดับ 2.6 และ 3.2 kcal ME / g ($P < 0.05$) นอกจากนี้พบว่า การให้อาหารพลังงานสูงทั้ง 2 ระดับ (3.2 และ 2.9 kcal ME / g) ให้ค่า FCR และ FCG ดีกว่าการให้อาหารพลังงานต่ำ (2.6 kcal ME/g; $P < 0.05$) ในขณะที่อัตราการตาย ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$; Table 2)

การที่เมื่อลดระดับ CP ในอาหารจาก 17 % เป็น 15 % ทำให้ BWG และ ADG ของไก่ลดลงนั้นมีสาเหตุเนื่องจากไก่กินอาหารได้ไม่ต่างกัน คือได้รับจำนวน 3.31 และ 3.34 กิโลกรัมต่อตัว ตามลำดับ จึงส่งผลให้ไก่ได้รับปริมาณ CP (CP intake) รวมทั้งได้รับ Met และ Lys (Met and Lys intake) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นที่ไก่มักขาดเป็นลำดับที่ 1 และ 2 (1st and 2nd limiting amino acids) ลดลงไปด้วยตามกลุ่มของไก่ที่ลดระดับ CP (ข้อมูลไม่ได้แสดงไว้ในที่นี้) โภชนะดังกล่าวมีบทบาทสำคัญต่อชีวิต เนื่องจากสัตว์นำโปรตีนไปใช้เพื่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโต การให้เนื้อ ให้นม ตลอดจนการให้ไข่ และการสืบพันธุ์ รวมทั้งเป็นส่วนประกอบของเซลล์ enzyme ฮอร์โมน และภูมิคุ้มกัน (Cheva-Isarakul, 2003) การที่ไก่มี BWG และ ADG เมื่อได้รับอาหารที่มี 17 % CP สูงกว่า 15 % CP นี้ สอดคล้องกับ Tangtaweewipat *et al.* (2000) ที่ได้ศึกษาในไก่ลูกผสมระหว่างพ่อพื้นเมืองประดู่หาง-ดำกับแม่พันธุ์เรดโบร (N x Redbro) ในช่วงอายุไก่ 1-13 สัปดาห์ ที่รายงานว่า การให้อาหารที่มี CP ระดับสูงจะทำให้ไก่มีน้ำหนักตัวเพิ่มมากกว่า ในขณะที่กินอาหารได้ลดลงเมื่อเทียบกับการให้ CP ระดับต่ำ ทำนองเดียวกับผลการศึกษาของ Phaitong (2017) ในไก่กระดูกดำโครงการหลวงช่วงอายุ 1 - 13 สัปดาห์ และ Songsee *et al.* (2020) ที่ศึกษาในไก่เบรสตอน รายงานว่า การให้อาหารที่มี CP ระดับสูง (19 % CP) ทำให้ BWG, FCR, ADG และ CP intake ดีกว่า CP ระดับต่ำ (17 % CP) อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับกรณีการลดระดับ CP ในอาหารลงโดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่กินนั้น สอดคล้องกับ Liu *et al.* (2015) ที่ศึกษาในไก่กระดูกดำลั่วหยางด้วยการให้อาหาร 12, 14, 16, 18 และ 20 % CP ในช่วงอายุ 7 - 12 สัปดาห์ ไม่มีผลทำให้ไก่กินอาหารแตกต่างกัน ($P > 0.05$)

การลดระดับ ME ในสูตรอาหารลงทำให้ไก่กินอาหารได้เพิ่มขึ้น (Table 2) นั้น อาจมีสาเหตุเนื่องจากไก่พยายามกินอาหารเพื่อให้ได้รับปริมาณพลังงาน (ME) เพียงพอกับความต้องการของร่ายกาย ดังที่ Mbajiorgu *et al.* (2011) กล่าวว่า ไก่จะกินอาหารจนได้รับพลังงานครบตามความต้องการจึงหยุดกิน สอดคล้องกับรายงานอื่น ๆ เช่น Phaitong (2017), Pingmuang *et al.* (2001), Tananchai *et al.* (2001), Tangtaweewipat *et al.* (2000) และ Songsee *et al.* (2020) ซึ่งให้ผลในทำนองเดียวกัน และจากการที่ไก่กินอาหารได้เพิ่มขึ้นนี้เองจึงส่งผลให้ไก่ได้รับปริมาณโภชนะเพิ่มขึ้น ทำให้ไก่มีการเจริญเติบโตดีขึ้น ดังที่ Cheva-Isarakul (2003) ได้กล่าวอ้างไว้แล้ว อย่างไรก็ดี การให้อาหารที่มี ME ระดับต่ำสุด (2.6 kcal ME / g) ทำให้ค่า FCR ด้อยกว่าการให้อาหารที่มี 3.2 และ 2.9 kcal ME / g ($P < 0.05$) ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนค่าอาหารสูงขึ้นเช่นกัน โดยในการศึกษาครั้งนี้ การให้อาหารที่มี ME ระดับ 2.9 kcal / g ได้ BWG และ ADG สูงที่สุด แตกต่างจากการให้ระดับ 2.6 และ 3.2 kcal ME / g ($P < 0.05$; Table 2) สอดคล้องกับ Hidayat *et al.* (2016) ที่รายงานว่า ไก่ลูกผสมพื้นเมืองของประเทศอินโดนิเซียมีประสิทธิภาพการผลิตที่เหมาะสมเมื่อให้สูตรอาหารที่มี 2.9 kcal ME / g ทำนองเดียวกับรายงานของ Pingmuang *et al.* (2001), Tananchai *et al.* (2001) และ Tangtaweewipat *et al.* (2000) ที่ได้ศึกษาในไก่ลูกผสมพื้นเมืองประดู่หางดำกับแม่พันธุ์เรดโบร ตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว

Table 2. Production performance of Pradu Hang Dam × Hubbard JA 57 Ki crossbred native chickens fed diets containing varying levels of CP and ME during 11-15 weeks of age

| Variables | | Initial BW (kg / bird) | BWG (kg / bird) | ADG (g / bird) | FI (kg / bird) | FCR | FCG (THB / kg BWG) | Mortality (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Mean of main effect:* | | | | | | | | |
| Level of CP in diet (%) | | | | | | | | |
| 17 | | 0.75±0.07 | 0.95±0.14$^{m}$ | 27.01±4.09$^{m}$ | 3.31±0.53 | 3.52±0.35$^{m}$ | 47.95±3.80$^{n}$ | 1.10±0.12 |
| 15 | | 0.77±0.02 | 0.83±0.14$^{n}$ | 23.97±3.93$^{n}$ | 3.34±0.78 | 3.97±0.50$^{n}$ | 52.01±5.26$^{m}$ | 1.17±0.07 |
| Level of ME in diets (kcal/g) | | | | | | | | |
| 3.2 | | 0.76±0.06 | 0.74±0.09$^{z}$ | 21.19±2.56$^{z}$ | 2.56±0.33$^{z}$ | 3.45±0.12$^{y}$ | 47.63±1.48$^{y}$ | 1.09±0.14 |
| 2.9 | | 0.75±0.07 | 1.01±0.13$^{x}$ | 28.78±3.71$^{x}$ | 3.55±0.12$^{y}$ | 3.58±0.49$^{y}$ | 48.02±5.80$^{y}$ | 1.15±0.08 |
| 2.6 | | 0.77±0.02 | 0.93±0.11$^{y}$ | 26.49±1.48$^{y}$ | 3.88±0.32$^{x}$ | 4.20±0.37$^{x}$ | 54.29±3.69$^{x}$ | 1.17±0.08 |
| CP x ME | | | | | | | | |
| 17 | 3.2 | 0.76±0.08 | 0.78±0.05 | 22.33±1.30 | 2.65±0.21 | 3.40±0.26 | 47.94±3.56 | 1.02±0.81 |
| | 2.9 | 0.72±0.09 | 1.10±0.04 | 31.40±1.12 | 3.55±0.27 | 3.23±0.26 | 44.29±3.58 | 1.18±0.92 |
| | 2.6 | 0.77±0.04 | 0.96±0.07 | 27.29±1.90 | 3.73±0.14 | 3.91±0.28 | 51.63±3.72 | 1.11±0.87 |
| 15 | 3.2 | 0.76±0.06 | 0.70±0.10 | 20.05±2.99 | 2.46±0.37 | 3.50±0.20 | 47.32±2.69 | 1.16±0.90 |
| | 2.9 | 0.78±0.06 | 0.92±0.12 | 26.16±3.51 | 3.54±0.13 | 3.92±0.49 | 51.75±6.44 | 1.11±0.87 |
| | 2.6 | 0.78 ± 0.05 | 0.90±0.07 | 25.70±2.13 | 4.03±0.36 | 4.49±0.25 | 56.95±3.19 | 1.21±0.94 |
| *Sex:* | | | | | | | | |
| Male | | 0.78±0.02$^{A}$ | 0.93±0.12$^{A}$ | 26.61±3.39$^{A}$ | 3.50±3.15$^{A}$ | 3.78±0.47 | 50.09±4.94 | 1.10±2.15 |
| Female | | 0.74±0.05$^{B}$ | 0.85±0.17$^{B}$ | 24.37±4.82$^{B}$ | 3.15±0.68$^{B}$ | 3.71±0.51 | 49.98±2.99 | 1.17±2.23 |
| *P*-value: | | | | | | | | |
| CP | | 0.224 | 0.001 | 0.001 | 0.587 | 0.001 | 0.006 | 0.855 |
| ME | | 0.523 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.005 | 0.978 |
| CP x ME | | 0.450 | 0.082 | 0.077 | 0.102 | 0.061 | 0.058 | 0.956 |
| Sex | | 0.007 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.529 | 0.513 | 0.821 |
| SEM | | 0.01 | 0.02 | 0.71 | 0.10 | 0.08 | 0.93 | 0.14 |

$^{A-B, m-n, x-y-z}$ Values with no common superscript differ significantly ($P < 0.05$) when tested with Duncan's new multiple range test following analysis of variance

Feed cost (THB/kg): 17 % CP, 3.2 kcal ME/g = 14.10; 17 % CP, 2.9 kcal ME/g = 13.70; 17 % CP, 2.6 kcal ME/g = 13.20; 15 % CP, 3.2 kcal ME/g = 13.50; 15 % CP, 2.9 kcal ME/g = 13.20; and 15 % CP, 2.6 kcal ME/g = 12.70

Culling rate of all groups were 2.3-2.7 % without significant difference among the groups

ME = metabolizable energy, CP = crude protein, SEM = standard error of the mean

**องค์ประกอบซาก**

เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ไก่อายุ 15 สัปดาห์ ได้ทำการสุ่มไก่เพศละ 2 ตัวต่อซ้ำ ไปศึกษาองค์ประกอบซาก ผลแสดงไว้ใน Table 3 ปรากฏว่า ไม่พบนัยสำคัญของค่า Interaction ระหว่างระดับ CP และ ME ในทุกลักษณะที่ศึกษา ทำนองเดียวกับระดับ CP ในอาหารก็ไม่มีผลต่อลักษณะดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ส่วนผลของ ME พบว่า สัดส่วนของกระเพาะบด และไขมันในช่องท้องมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการลดลงของระดับ ME ในสูตรอาหาร ($P < 0.05$) ทั้งนี้ การที่มีปริมาณไขมันในช่องท้องสูงขึ้น มีสาเหตุเนื่องจาก ไก่ได้รับปริมาณโภชนะสูงขึ้น ซึ่งนอกจากจะทำให้ไก่มีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นแล้ว โภชนะส่วนที่เหลือใช้ของร่างกายโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณ ME จะถูกนำไปสะสมในรูปไขมันบริเวณช่องท้องและห่อหุ้มอวัยวะภายในร่างกาย (Kubena *et al.,* 1974) ในกรณีของโปรตีนแม้ว่าจะมีค่าพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักไม่สูงเท่า ME แต่โปรตีนส่วนเกินก็สามารถถูกเปลี่ยนเป็นไขมันสะสมไว้ในร่างกายได้ (Cheva-Isarakul, 2003) ผลนี้สอดคล้องกับรายงานการศึกษาในไก่ลูกผสมพื้นเมืองชนิด N x RIR-BPR ที่พบว่าไขมันในช่องท้องกับส่วนห่อหุ้มอวัยวะภายในมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อมีการลดระดับ CP และ/หรือ ME ในสูตรอาหาร ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องจากร่างกายเมื่อได้รับ CP สูงขึ้น จะมีการนำไปสร้างเป็นกล้ามเนื้อมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามอาหารที่มี CP ต่ำ อาจมีกรดอะมิโนที่จำเป็นไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ทำให้การสังเคราะห์โปรตีนมีประสิทธิภาพน้อย โครงสร้างกรดอะมิโนที่เหลือจะถูกนำไปสังเคราะห์และสะสมไว้ในรูปไขมันมากขึ้น (Pingmuang *et al*., 2001; Tananchai *et al*., 2001; Tangtaweewipat *et al.,* 2000) ทำนองเดียวกับ Paitong (2017) ที่รายงานว่าไก่กระดูกดำโครงการหลวง มีสัดส่วนไขมันในช่องท้องเพิ่มขึ้นเมื่อลดระดับ CP ในสูตรอาหาร ในขณะที่ระดับ ME ให้ผลไม่แตกต่างกัน และ Songsee *et al.* (2020) ที่รายงานว่าไก่เบรสตอนมีสัดส่วนของไขมันในช่องท้องลดลงเมื่อมีการลดระดับ ME ในอาหาร ส่วนความแตกต่างของระดับ CP ในสูตรอาหาร ไม่มีผลต่อสัดส่วนของไขมันในช่องท้อง ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาในครั้งนี้

อย่างไรก็ดี ในส่วนของกระเพาะบดที่พบว่ามีสัดส่วนสูงขึ้นเมื่อลดระดับ ME ในอาหารนั้น อาจมีสาเหตุเนื่องจากสูตรอาหารที่มี ME ระดับต่ำ มีการใช้วัตถุดิบแหล่งเยื่อใยสูง ซึ่งจากผลวิเคราะห์สูตรอาหารพบว่า อาหารที่มี ME ระดับ 2.6, 2.9 และ 3.2 kcal ME/g มีปริมาณเยื่อใยเท่ากับ 7.11 - 7.52, 5.20 - 5.70 และ 3.80 - 3.83 % (Table 1) ตามลำดับ การมีเยื่อใยระดับสูง ทำให้กระเพาะบด ซึ่งเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่บดอาหารให้มีความละเอียดก่อนส่งไปยังลำไส้เล็ก เพื่อให้ enzyme ทำหน้าที่ย่อยโมเลกุลอาหารให้ villi ดูดซึมไปใช้ในร่างกายต่อไปต้องทำงานหนักขึ้น จึงทำให้กระเพาะบดมีขนาดใหญ่เพิ่มตามไปด้วย ประกอบกับ Widjastuti *et al.* (2019) ได้รายงานว่า การให้อาหารไก่พื้นเมืองของอินโดนิเซียที่มีเยื่อใย 10 - 12 % เทียบกับ 6 - 8 % ในช่วงอายุ 2 - 12 สัปดาห์ มีผลทำให้สัดส่วนของกระเพาะบดที่ต้องทำหน้าที่บดอาหารจำพวกเยื่อใยและความยาวของลำไส้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

**ผลของเพศ**

เมื่อพิจารณาผลด้านเพศ ปรากฏว่า ไก่เพศผู้มีอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณโภชนะที่ได้รับ เปอร์เซ็นต์ซาก และองค์ประกอบซากที่ดีกว่า แต่มีสัดส่วนของเนื้ออกและไขมันในช่องท้องต่ำกว่าไก่เพศเมียอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ยกเว้นค่า FCR, FCG อัตราการตาย สัดส่วนของเนื้อสะโพกและปีก ที่ไม่พบความแตกต่างระหว่างไก่ทั้งสองเพศ

การที่ไก่เพศผู้มี BWG และ ADG สูงกว่าไก่เพศเมียนั้น มีสาเหตุเนื่องจากไก่เพศผู้สามารถกินอาหารได้มากกว่าไก่เพศเมีย (3.50 vs. 3.15 kg/bird ตามลำดับ, $P < 0.05$, Table 2) ซึ่งส่งผลให้ไก่เพศผู้ได้รับโภชนะต่าง ๆ มากกว่าไก่เพศเมียรวมทั้งมีสาเหตุเนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมนเพศผู้ (androgen เช่น testosterone) ที่มีบทบาทช่วยสังเคราะห์โปรตีน เพิ่มปริมาณกล้ามเนื้อ (Da Costa *et al*., 2017) ดังเช่น Benyi *et al.* (2015) รายงานว่า ไก่เนื้อเพศผู้จะมีความสามารถในการกินอาหาร การใช้ประโยชน์จากอาหาร (FCR) และมีน้ำหนักตัวเพิ่มดีกว่าไก่เนื้อเพศเมียทุกระยะการเจริญเติบโต ซึ่ง Zerehdaran *et al.* (2004) ได้ให้

Table 3. Carcass composition of Pradu Hang Dam x Hubbard JA 57 Ki crossbred native chickens fed diets containing various levels of CP and ME during 11 - 15 weeks of age

| Variables | | Carcass (%) | Carcass composition (% hot carcass) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Breast | Thigh[1] | Drumstick[2] | Wing | Liver | Gizzard | Fat[3] |
| *Mean of main effect:* | | | | | | | | | |
| Level of CP in diet (%) | | | | | | | | | |
| 17 | | 75.14±2.09 | 18.81±0.74 | 18.59±0.20 | 16.10±0.55 | 14.94±0.22 | 2.78±0.41 | 2.82±0.44 | 2.21±0.77 |
| 15 | | 74.60±1.32 | 18.54±0.61 | 18.41±0.68 | 15.97±0.65 | 14.78±0.27 | 2.92±0.62 | 2.91±0.56 | 2.35±0.64 |
| Level of ME in diets (kcal/g) | | | | | | | | | |
| 3.2 | | 74.02±1.16 | 18.33±0.48 | 17.27±0.45 | 16.30±0.45 | 14.93±0.22 | 2.90±0.62 | 2.27±0.11[y] | 1.65±0.65[z] |
| 2.9 | | 74.86±0.65 | 18.82±0.59 | 16.60±0.93 | 15.86±0.93 | 14.84±0.30 | 2.78±0.30 | 3.10±0.19[x] | 2.31±0.42[y] |
| 2.6 | | 74.74±2.32 | 18.88±0.03 | 16.42±0.32 | 15.94±0.32 | 14.82±0.29 | 2.88±0.56 | 3.23±0.26[x] | 2.89±0.22[x] |
| CP × ME | | | | | | | | | |
| 17 | 3.2 | 74.55±2.39 | 18.61±1.94 | 16.30±0.87 | 16.23±1.89 | 14.98±1.17 | 2.74±0.77 | 2.29±0.14 | 1.36±0.63 |
| | 2.9 | 74.49±2.56 | 19.30±2.02 | 16.78±0.87 | 15.90±1.01 | 14.96±0.98 | 2.75±0.29 | 3.01±0.31 | 2.42±0.69 |
| | 2.6 | 75.37±2.20 | 18.52±2.62 | 17.56±1.24 | 16.16±1.25 | 14.88±1.04 | 2.85±0.42 | 3.15±0.34 | 2.85±1.24 |
| 15 | 3.2 | 75.48±7.72 | 18.04±4.12 | 16.99±1.35 | 16.36±1.66 | 14.76±1.45 | 3.06±0.50 | 2.23±0.44 | 1.92±0.67 |
| | 2.9 | 74.22±2.22 | 18.35±2.52 | 16.41±1.17 | 15.82±1.16 | 14.72±1.09 | 2.80±0.36 | 3.18±0.33 | 2.19±0.75 |
| | 2.6 | 74.11±5.74 | 19.24±3.20 | 16.33±1.66 | 15.72±1.17 | 14.87±2.23 | 2.91±0.33 | 3.31±0.34 | 2.92±0.78 |
| *Sex:* | | | | | | | | | |
| Male | | 75.06±0.66[A] | 17.11±0.72[B] | 16.68±0.44 | 16.56±0.44[A] | 15.07±0.07 | 3.01±0.35[A] | 2.99±0.54[A] | 1.95±0.71[B] |
| Female | | 73.68±1.82[B] | 20.25±0.63[A] | 16.64±0.38 | 15.50±0.38[B] | 14.65±0.16 | 2.69±0.34[B] | 2.73±0.43[B] | 2.62±0.49[A] |
| *P* - value: | | | | | | | | | |
| CP | | 0.595 | 0.632 | 0.225 | 0.670 | 0.630 | 0.180 | 0.215 | 0.454 |
| ME | | 0.974 | 0.668 | 0.060 | 0.464 | 0.961 | 0.605 | 0.001 | 0.001 |
| CP x ME | | 0.583 | 0.436 | 0.868 | 0.746 | 0.984 | 0.506 | 0.331 | 0.199 |
| Sex | | 0.012 | 0.001 | 0.430 | 0.009 | 0.203 | 0.004 | 0.007 | 0.003 |
| SEM | | 0.50 | 0.32 | 0.15 | 0.16 | 0.16 | 0.08 | 0.06 | 0.11 |

[A-B, x-y-z] Values with no common superscript differ significantly ($P < 0.05$) when tested with Duncan's new multiple range test following analysis of variance

[1, 2] Meat including skin and bone from both legs

[3] Abdominal fat

ME = metabolizable energy, CP = crude protein, SEM = standard error of the mean

เหตุผลเพิ่มเติมว่า การที่ไก่เพศผู้มีสมรรถภาพการผลิตที่ดีกว่าไก่เพศเมียนั้น อาจเนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ความต้องการโภชนะ ตลอดจนอิทธิพลของฮอร์โมนช่วยสังเคราะห์โปรตีน เป็นต้น แต่ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของอัตราการตายทั้งระหว่างกลุ่มและระหว่างเพศ อาจเนื่องจากได้แบ่งเลี้ยงเป็นคอกย่อย ๆ และแยกระหว่างเพศผู้และเพศเมียตลอดการทดลอง จึงลดการจิกตีกันได้มาก นอกจากนี้ De Marchi *et al.* (2005) ได้รายงานว่า ไก่เพศผู้ของสายพันธุ์ Padovana ก็มีสมรรถภาพการผลิตดีกว่าไก่เพศเมียทุกช่วงอายุ สอดคล้องกับรายงานของ Paitong (2017), Pingmuang *et al.* (2001), Tananchai *et al.* (2001) และ Tangtaweewipat *et al.* (2000) ที่ได้ศึกษาในไก่ลูกผสมพื้นเมือง (N x RIR-BPR) และไก่กระดูกดำโครงการหลวง

สำหรับกรณีไก่เพศผู้มีเปอร์เซ็นต์ซาก และองค์ประกอบซากบางส่วน คือ น่อง ตับ และกระเพาะบดสูงกว่า แต่มีสัดส่วนของเนื้ออกและไขมันในช่องท้องต่ำกว่าไก่เพศเมียอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่สะโพกและปีกไม่พบความแตกต่างระหว่างเพศ (Table 3) นั้น สอดคล้องบางส่วนกับ Engku Azahan *et al.* (2007) ที่รายงานว่า ไก่เนื้อเพศผู้สายพันธุ์ Arbor Acer ในระบบการเลี้ยงต่าง ๆ มีเปอร์เซ็นต์ซาก สัดส่วนของเนื้อน่อง ตับ และกระเพาะบดสูงกว่า แต่มีสัดส่วนของเนื้อหน้าอกและไขมันช่องท้องต่ำกว่าไก่เพศเมีย นอกจากนี้ Phaitong (2017) รายงานว่า ไก่กระดูกดำสายพันธุ์โครงการหลวงเพศผู้ที่อายุ 16 สัปดาห์ มีสัดส่วนของเนื้อน่อง และหัวใจมากกว่า แต่มีสัดส่วนของไขมันในช่องท้อง กระเพาะบด เนื้ออกและสันในน้อยกว่าไก่เพศเมียอย่างมีนัยสำคัญ

## สรุป

การให้อาหาร 17 % CP แก่ไก่ลูกผสมพื้นเมืองระหว่างประดู่หางดำกับฮับบาร์ด เจเอ 57 เคไอ ในช่วงอายุ 11 - 15 สัปดาห์ มีผลทำให้สมรรถภาพภาพการผลิตและ FCG ดีกว่าการให้อาหารที่มี 15 % CP การลดระดับ ME จาก 3.2 เป็น 2.9 และ 2.6 kcal/g diet ทำให้ไก่กินอาหารได้เพิ่มขึ้น จึงมีน้ำหนักตัวสูงขึ้น แต่มี FCR และ FCG ด้อยลง โดยระดับ 2.9 kcal ME/g ให้ผล BWG และ ADG ดีที่สุด ทั้งระดับ CP และ ME ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ซากและองค์ประกอบซาก ยกเว้นกระเพาะบดและไขมันในช่องท้องที่มีค่าสูงขึ้นเมื่อลดระดับ ME ลง ไก่เพศผู้มี BWG, ADG และ FI รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ซากและองค์ประกอบซากที่ดีกว่า แต่มีสัดส่วนเนื้ออกและไขมันในช่องท้องต่ำกว่าไก่เพศเมีย ในขณะที่ไม่มีผลต่อ FCR, FCG อัตราการตาย สัดส่วนของเนื้อสะโพกและปีก สูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับไก่ลูกผสมพื้นเมืองสายพันธุ์และช่วงอายุดังกล่าว คือ 17 % CP, 2.9 kcal ME/g เนื่องจากให้สมรรถภาพการผลิต (BWG, ADG และ FCR) ดีที่สุด และมีต้นทุนค่าอาหารต่ำที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.

Benyi, K., T.S. Tshilate, A.J. Netshipale and K.T. Mahlako. 2015. Effects of genotype and sex on the growth performance and carcass characteristics of broiler chickens. Tropical Animal Health and Production 47(7): 1225-1231.

Cheva-Isarakul, B. 2003. Animal Biochemistry. 2nd ed. Thanaban Printing, Chiang Mai. 416 p. (in Thai)

Chomchai, N., S. Namkhun, W. Sumamal and S. Rojanastid. 1998. Effect of dietary protein and energy levels on growth performances of crossbred native chicken. pp. 73-94. *In:* Annual Research Report. Animal Nutrition Division, Department of Livestock Development, Bangkok. (in Thai)

Da Costa, M.J., S. Zaragoza-Santacruz, T.J. Frost, J. Halley and G.M. Pesti. 2017. Straight run

vs. sex separate rearing for 2 broiler genetic lines Part 1: Live production parameters, carcass yield, and feeding behavior. Poultry Science 96(8): 2641-2661.

De Marchi, M., M. Cassandro, E. Lunardi, G. Baldan and P.B. Siegel. 2005. Carcass characteristics and qualitative meat traits of the Padovana breed of chicken. International Journal of Poultry Science 4(4): 233-238.

Engku Azahan, E.A., A.M. Marini and M. Noraziah. 2007. Evaluation on the effects of sex on growth and carcass characteristics of broilers. Journal of Tropic Agriculture and Food Science 35(2): 313-318.

Hidayat, C., S. Iskandar, T. Sartika and T. Wardhani. 2016. Growth response of improved native breeds of chicken to diets differed in energy and protein content. Indonesian Journal of Animal and Veterinary Sciences 21(3): 174-181.

Hubbard. 2019. Parent stock: Guide and nutrient specifications. (Online). Available: https://www.hubbardbreeders.com/media/premium_guide_and_nutrient_specifications.pdf (July 7, 2020).

Kubena, L.F., T.C. Chen, J.W. Deaton and F.N. Reece. 1974. Factors influencing the quantity of abdominal fat in broilers: 3. Dietary energy levels. Poultry Science 53(3): 974-978.

Liu, S.K., Z.Y. Niu, Y.N. Min, Z.P. Wang, J. Zhang, Z.F. He, H.L. Li, T.T. Sun and F.Z. Liu. 2015. Effects of dietary crude protein on the growth performance, carcass characteristics and serum biochemical indexes of Lueyang black-boned chickens from seven to twelve weeks of age. Brazilian Journal of Poultry Science 17(1): 103-108.

Maliwan, P., S. Khempaka and W. Molee. 2017. Evaluation of various feeding programmes on growth performance, carcass and meat qualities of Thai indigenous crossbred chickens. South African Journal of Animal Science 47(1): 16-25.

Mbajiorgu, C.A., J.W. Ng`ambi and D.D. Norris. 2011. Voluntary feed intake and nutrient composition in chickens. Asian Journal of Animal Veterinary Advances 6(1): 20-28.

Nguyen, T.V. and C. Bunchasak. 2005. Effects of dietary protein and energy on growth performance and carcass characteristics of Betong chicken at early growth stage. Songklanakarin Journal of Science and Technology 27(6): 1171-1178.

Nguyen, T.V., C. Bunchasak and S. Chantsavang. 2010. Effects of dietary protein and energy on growth performance and carcass characteristics of Betong chickens (*Gallus domesticus*) during growing period. International Journal of Poultry Science 9(5): 468-472.

Niyamcom, V. 2019. Hubbard premium products. Hubbard Company, Bangkok. 27 p.

NRC. 1994. Nutrient Requirements of Poultry. 9th ed. National Academy Press, Washington, D.C. 176 p.

Office of Agricultural Economics. 2020. Agricultural Statistics of Thailand. Office of Agricultural Economics, Bangkok. 214 p. (in Thai)

Phaitong, P. 2017. Optimum protein and metabolizable energy levels in Royal Project black bone chicken diets during growing period. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)

Pingmuang, R. , S. Tangtaweewipat, B. Cheva-Isarakul and B. Tananchai. 2001. Proper dietary protein and energy levels for crossbred native chickens during 6-10 weeks of age. pp. 169-177. *In:* Proceedings of the 39th Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Songsee, O., S. Tangtaweewipat, B. Cheva-Isarakul and T. Moonmanee. 2020. Proper dietary crude protein and metabolizable energy levels on growth performance, carcass characteristics and meat quality of Royal Project Bresse capon. Agriculture and Natural Resources 54(2): 121-129.

Steel, R.G.D., J.H. Torrie and D.A. Dickey. 1997. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd ed. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York. 666 p.

Tananchai, B. , S. Tangtaweewipat and B. Cheva-Isarakul. 2001. Energy and protein requirement of crossbred native chickens during 11-13 weeks. pp. 161-168. *In:* Proceedings of the 39th Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Tangtaweewipat, S. , B. Wongrueng and N. Ya-Thep. 1996. The use of high fiber diets in poultry: 1. Replacement pullets. Journal of Agriculture 12(1): 74-82. (in Thai)

Tangtaweewipat, S., B. Cheva-Isarakul and R. Pingmuang. 2000. Proper dietary protein and energy levels for growing crossbred native chickens (I). pp. 100-113. *In:* Proceedings of the 38th Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Widjastuti, T., A. Abun and W. Tanwiriah. 2019. The effect of dietary crude fibre level on the final body weight, carcass weight, gizzard weight and length of intestine in Sentul chicken. Scientific Lucrări Științifice - Universitatea de Științe Agricole şi Medicină Veterinară, Seria Zootehnie 71: 201-204.

Zerehdaran, S., A.L.J. Vereijken, J.A.M. van Arendonk and E.H. van der Waaijt. 2004. Estimation of genetic parameters for fat deposition and carcass traits in broilers. Poultry Science 83(4): 521-525.

# ผลของมันเส้นบดหมักยีสต์ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ค่าชีวเคมีในเลือดและลักษณะซากของไก่เนื้อ

# Effect of Cassava Chips Meal Fermented with Yeast *Saccharomyces cerevisiae* on Growth Performances, Blood Biochemical Values and Carcass Characteristics of Broilers

**สุวิทย์ ทิพอุเทน[1*] อรรถพล คำดำ[1] เต็มศิริ บุญเรือง[1] และ ทาริกา ทิพอุเทน[2]**
Suwit Thip-uten[1*], Attaphon Khamdam[1], Temsiri Boonruang[1] and Tarika Thip-uten[2]

*[1]สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จ. สกลนคร 47000*
*[1]Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Technology,*
*Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand*
*[2]สาขาวิชาการประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จ. สกลนคร 47000*
*[2]Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology,*
*Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000, Thailand*
**Corresponding author: Email: suwit@snru.ac.th*

*(Received: 8 November 2021; Accepted: 17 January 2022)*

**Abstract:** Cassava is a potential energy source and cheap, it has been mixed in all animal feeds including broiler feeds. However, it was very low crude protein content. Thus, increasing protein content in fermentation of cassava chips meal with yeast *Saccharomyces cerevisiae* (CCFY) might improve feed quality. Therefore, CCFY was tested on growth performances, blood biochemical values, and carcass characteristics of broilers. A total of 120 Arbor Acres broiler, 11-day-old was randomly allotted to 4 treatments with 3 replications per treatment in a completely randomized design. The experiment lasted for 42 days and dietary treatments were composed of 4 different levels of CCFY at 0, 10, 20, and 30 % respectively, fed clean water and *ad libitum* feeding. The body weight, feed intake, feed conversion ratio, blood biochemical values, and carcass traits of broilers were recorded. The results revealed that the CCFY at 20 and 30 % in diet were a significantly poor effect on growth performances, blood biochemical values, and carcass qualities than control and CCFY at 10 % ($P<0.05$). Base on this experiment, it would be concluded that the levels of CCFY at 10 % in dietary were optimal to improve growth performances, blood biochemical values, and carcass characteristics of broilers. Moreover, it was decreased cost of feed by 6.24%, compared with the control group.

**Keywords:** Chicken, blood biochemical, carcass characteristics, cassava chip, yeast

**บทคัดย่อ**: มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพและราคาถูก ใช้เป็นอาหารสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งไก่เนื้อ แต่มีข้อจำกัดคือโปรตีนต่ำ หากทำลายข้อจำกัดนั้นได้และมีข้อมูลการใช้จะเป็นประโยชน์มากต่อวงการปศุสัตว์ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลของระดับมันเส้นบดหมักยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* (Cassava chips meal fermented with yeast *Saccharomyces cerevisiae;* CCFY) ในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ค่าชีวเคมีในเลือด และลักษณะซากของไก่เนื้อ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Arbor Acres คละเพศจำนวน 120 ตัว ให้ได้รับอาหารทดลองที่มีมันเส้นบดหมักยีสต์ในสูตรอาหารต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 10, 20 และ 30 % ตามลำดับ ทำ 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ตัว ให้อาหารและน้ำดื่มกินแบบเต็มที่ ตลอดการทดลอง 42 วัน เก็บข้อมูลน้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก ค่าชีวเคมีในเลือด และลักษณะซาก ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ CCFY ในสูตรอาหารระดับ 20 และ 30 % มีผลทำให้สมรรถนะการเจริญเติบโต ค่าชีวเคมี และองค์ประกอบซากของไก่เนื้อเลวกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ใช้ CCFY ระดับ 10 % อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) จึงสรุปได้ว่า การใช้ CCFY ที่ 10 % ในสูตรอาหาร เป็นระดับที่เหมาะสมต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ค่าชีวเคมีในเลือด และคุณภาพซากของไก่เนื้อ โดยไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่ไม่ใช้ CCFY

**คำสำคัญ**: ไก่ ค่าชีวเคมีในเลือด ลักษณะซาก มันเส้น ยีสต์

## บทนำ

โปรตีนและพลังงานเป็นสารอาหารสำคัญที่สัตว์ต้องได้รับอย่างเพียงพอต่อความต้องการในแต่ละวัน กากถั่วเหลือง ปลาป่น เป็นกลุ่มวัตถุดิบหลักแหล่งโปรตีน รำ ปลายข้าว และข้าวโพด เป็นกลุ่มวัตถุดิบหลักพลังงานที่ใช้ปริมาณมากในอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ส่งผลให้ราคาต้นทุนค่าอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น ทำให้นักวิจัยด้านอาหารสัตว์ต้องวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งโปรตีนและแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพและราคาถูกเพื่อลดต้นทุนด้านอาหาร มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Grantz) เป็นพืชที่มีแป้ง (starch) จำนวนมากสะสมที่ส่วนราก (หัวมัน) ประมาณ 80 % ถูกใช้เป็นอาหารแหล่งพลังงานทั้งในคนและสัตว์และมีราคาถูกกว่าเมล็ดข้าวโพด Khajarern *et al.* (1982) รายงานว่าหัวมันสำปะหลังบด (cassava root meal) ให้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) เฉลี่ยสำหรับสุกรเท่ากับ 3,260 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ในไก่เท่ากับ 3,200 - 3,260 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และมีกรดอะมิโนอาจีนีน (arginine) สูง แต่มีข้อจำกัดคือระดับโปรตีนหยาบ (crude protein, CP) กรดอะมิโน methionine, threonine, cysteine, phenylalanine, isoleucine, proline, สารแคโรทีนและแคโรทีนอย์ดในระดับต่ำ (Khajarern and Khajarern, 2007) Morgan and Choct (2016) รายงานว่าหัวมันสำปะหลังบดมีวัตถุแห้ง (dry matter, DM) โปรตีนหยาบ (CP) เยื่อใยหยาบ (crude fiber, CF) ไขมัน (fat or ether extract, EE) ไนโตรเจนฟรีเอ็กแทรก (nitrogen free extract, NFE) เถ้า (ash) แคลเซียม (calcium, Ca) และฟอสฟอรัส (phosphorus, P) เท่ากับ 89.42, 3.10, 3.72, 0.98, 82.77, 3.88, 0.16 และ 0.37% ตามลำดับ ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในหัวมันสำปะหลังจะแปรผันไปตามสายพันธุ์ สภาพพื้นที่ความอุดมสมบูรณ์ของดิน อายุการเก็บเกี่ยว และการจัดการ (Khajarern and Khajarern, 2017; Wanapat, 2003) แต่ปัจจุบันสามารถปรับปรุงคุณภาพของมันสำปะหลัง ให้มีปริมาณโปรตีนรวมถึงกรดอะมิโนบางชนิดให้เพิ่มขึ้นได้ โดยอาศัยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ (biotechnology) เช่น การใช้จุลินทรีย์หรือยีสต์เข้ามาช่วย (Omede *et al.,* 2018) Antai and Mbongo (1994) รายงานว่าการใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* หมักเปลือกมันสำปะหลังล้าง (cassava peels) ทำให้ปริมาณ CP เพิ่มขึ้นจาก 2.4 เป็น 14.1 % Oboh and Kindahunsi (2005) รายงานว่าการใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* หมักแป้งมันสำปะหลัง สามารถปรับระดับ

CP ในแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นได้จาก 4.4 เป็น 10.9 % นอกจากนี้ Boonnop *et al.* (2009) รายงานว่าการใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* หมักมันเส้น และหัวมันสำปะหลังสดสับ ทำให้ค่า CP และ EE กรดอะมิโนไลซีนเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นยังทำให้สีสัน เนื้อสัมผัส และกลิ่นของมันเส้นและหัวมันสำปะหลังสดสับหมักดีขึ้น ในขณะที่ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิก ลดลงอย่างมาก ซึ่งเป็นวิธีการที่ดีสำหรับปรับปรุงคุณภาพมันสำปะหลังให้เป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการให้ประโยชน์เป็นแหล่งโปรตีนและแหล่งพลังงานในสูตรอาหารสัตว์ อย่างไรก็ดีการใช้หัวมันสำปะหลังที่เหมาะสมในสูตรอาหารทั้งในไก่เนื้อ และไก่ไข่ มีรายงานของ Gomez *et al.* (1984) และ Osei and Duodu (1988) ระบุว่า ในไก่เนื้อสามารถใช้ได้ที่ระดับ 10 % Gomez *et al.* (1987) อ้างว่าใช้ได้ถึงระดับ 30 % ส่วน Enriquez and Ross (1967) และ Olson *et al.* (1969) รายงานว่าสามารถใช้ได้สูงมากถึง 40 - 60 % สำหรับในไก่ไข่ระยะไก่สาวสามารถใช้ได้ที่ระดับ 15 % (Thirumalai *et al.,* 1990) ส่วนในไก่ไข่ (แม่ไก่ไข่) ใช้ได้ที่ระดับ 30 - 40 % (Iyayi and Tewe, 1994; Khajarern *et al.,* 1979) Uchegbu *et al.* (2011) รายงานการใช้หัวมันบด ร่วมกับกากเมล็ดข้าวโพด/กากเมล็ดข้าวฟ่างที่เหลือจากการทำเครื่องดื่ม (maize/sorghum brewers' dried grains) ในอัตราส่วน 1 : 1 สามารถใช้ทดแทนการใช้เมล็ดข้าวโพดบดได้ที่ระดับ 30 %ในสูตรอาหารไก่เนื้อ นอกจากนั้น ยังมีรายงานการใช้ส่วนของกากเศษเหลือกระบวนการสกัดแป้งจากหัวมันสำปะหลังเป็นอาหารไก่ Khempaka *et al.* (2014) รายงานว่าใช้กากมันที่เป็นเศษเหลือดังกล่าวนำไปหมักเชื้อรา *Aspergillus niger* สามารถใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ที่ระดับ 16 % ในขณะที่ Boonkong *et al.* (2018) รายงานว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลัง (cassava pulp) หมักยีสต์ *S. cerevisiae* สามารถนำไปใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 10 %

แม้ว่าจะมีรายงานการใช้หัวมันสำปะหลังบด รวมทั้งส่วนกากมันสำปะหลัง เป็นส่วนผสมในสูตรอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่ แต่ข้อมูลด้านการใช้มันเส้นบดหมักยีสต์ *S. cerevisiae* ในอาหารไก่เนื้อยังมีจำกัด ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาผลของระดับการใช้ CCFY ในสูตรอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ค่าชีวเคมีในเลือด และลักษณะซากของไก่เนื้อ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในวงการอาหารสัตว์ต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การวางแผนการทดลองและสัตว์ทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ใช้ไก่เนื้อคละเพศสายพันธุ์ Arbor Acres จำนวน 120 ตัว อายุ 1 วัน น้ำหนักตัวเริ่มต้นเฉลี่ย 38 ± 4.17 กรัม ไก่ทุกตัวได้รับวัคซีนตามโปรแกรมแนะนำของกรมปศุสัตว์ และเลี้ยงอนุบาลปรับสภาพ (acclimatization period) เป็นระยะเวลา 10 วัน ในระหว่างนี้ไก่ทุกตัวได้รับอาหารกลุ่มควบคุม (Table 1) และมีน้ำสะอาดให้กินอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) จากนั้นสุ่มไก่อายุ 11 วัน แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ให้ได้รับอาหารทดลองที่มีการใช้ CCFY ในสูตรอาหารที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 10, 20 และ 30 % ตามลำดับ โดยแต่กลุ่มอาหารทดลองทำ 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ตัว เลี้ยงในคอกพื้นคอนกรีตขนาดพื้นที่ 4 ตารางเมตร ใช้แกลบเป็นวัสดุปูนรองพื้น มีอุปกรณ์ให้น้ำและอาหารแบบแขวนให้ภายในแต่ละคอกทดลอง ไก่ได้รับการระบายลมและแสงตามสภาพแวดล้อมของโรงเรือนแบบเปิด พร้อมทั้งได้รับอาหารและน้ำดื่มกินแบบเต็มที่ จนสิ้นสุดการทดลองเมื่อไก่อายุครบ 42 วัน

### 2. อาหารทดลอง

มันเส้นบดหมักยีสต์ *S. cerevisiae* เตรียมโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Daenseekaew and Wachirapakorn (2014) มีขั้นตอนดังนี้

ก) การเตรียมหัวเชื้อยีสต์ โดยชั่งน้ำตาลทราย 500 กรัม และยีสต์ขนมปัง (bakery yeast (SAF-INSTANT®) *S. cerevisiae*) จำนวน 500 กรัม เทลงในน้ำสะอาด 2,500 มิลลิลิตร จากนั้นผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

Table 1. Ingredients and nutrient composition of experimental diets

| Parameter | Grower period (11 to 21 days) | | | | Finisher period (22 to 42 days) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Levels of CCFY (%) | | | | Levels of CCFY (%) | | | |
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 0 | 10 | 20 | 30 |
| Ingredients (%) | | | | | | | | |
| Corn meal | 42 | 32 | 38 | 30.5 | 42.75 | 45 | 45 | 30 |
| CCFY (22.63 %CP) | 0 | 10 | 20 | 30 | 0 | 10 | 20 | 30 |
| Rice bran | 11.84 | 17 | 14.84 | 21.34 | 7.8 | 7.55 | 7.55 | 24.05 |
| Soybean meal (44 %CP) | 30 | 20 | 10 | 0 | 30 | 20 | 10 | 0 |
| Fish meal | 8 | 10.34 | 9 | 10 | 5 | 6 | 8 | 8.5 |
| Palm oil | 5.5 | 8 | 5.5 | 5.5 | 10 | 7 | 5 | 3 |
| Dicalcium phosphate (18.70 %P) | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
| Limestone | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| Salt | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| DL-methionine | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| L-lysine | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| Premixed[1] | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| Analyzed composition (% on DM basis) | | | | | | | | |
| Dry matter | 93.71 | 94.00 | 92.77 | 92.91 | 94.39 | 94.16 | 94.39 | 93.82 |
| Ash | 6.76 | 7.26 | 6.45 | 6.72 | 5.74 | 6.10 | 6.25 | 8.98 |
| Ether extract | 8.18 | 10.26 | 8.49 | 8.54 | 10.83 | 9.14 | 6.73 | 6.48 |
| Crude fiber | 6.20 | 7.72 | 9.12 | 9.66 | 6.51 | 7.43 | 8.81 | 9.82 |
| Crude protein | 24.06 | 23.02 | 22.94 | 22.83 | 21.11 | 20.07 | 20.03 | 20.26 |
| Calculated metabolizable energy (Mcal/kg) | 3.04 | 3.22 | 3.27 | 3.37 | 3.17 | 3.19 | 3.23 | 3.22 |
| Feed cost (THB/kg) | 17.75 | 17.51 | 15.47 | 14.24 | 21.63 | 20.28 | 19.44 | 17.42 |

CCFY = Cassava chips meal fermented with yeast *Saccharomyces cerevisiae*

[1]Premix (mineral and vitamins) provided the following per kilogram of diets; manganese 86.28 mg; iron 108.11 mg; copper 62.74 mg; selenium 32.75 mg; zinc 136.99 mg; iodine 1.64 mg; vitamin A 1650 IU; cholecalciferol 330 IU; vitamin E 100 mg; vitamin K 4.31 mg; vitamin B1 2.53 mg; vitamin B2 8.02 mg; nicotinic acid 53.96 mg; vitamin B6 2.53 mg; vitamin B12 1.54 mg; pantothenic acid 13.23 mg; folic acid 1.38 mg; biotin 5.50 mg; and chorine 2583.33 mg

ข) เตรียมอาหารเลี้ยงยีสต์ โดยชั่งกากน้ำตาล (molasses) 600 กรัม ชั่งยูเรีย (46 - 0 - 0) 1,200 กรัม และชั่งซัลเฟอร์ (sulfur) ผง 100 กรัม เทลงในน้ำสะอาด 2,500 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ค) จากนั้นนำหัวเชื้อยีสต์ที่เตรียมจากข้อ ก) เทลงผสมกับอาหารเลี้ยงยีสต์ที่เตรียมจากข้อ ข) ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วใช้ปั๊มลมขนาดเล็ก (PUMA MINI® 12-2038T 12 V) เปิดเติมอากาศทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

ง) เตรียมมันเส้นบดในการทดลองครั้งนี้ใช้มันเส้นที่ซื้อจากสหกรณ์โคนมภูพานสกลนคร จำกัด (อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร) นำมาบดด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร จากนั้นทำมันเส้นบดให้มีความชื้นที่ระดับ 80 % เพื่อให้เหมาะสำหรับกระบวนการหมัก โดยเติมน้ำสะอาด 920 มิลลิลิตร ต่อมันเส้นบด 1 กิโลกรัม

จ) ใช้น้ำหัวเชื้อยีสต์ผสมที่เตรียมได้จากข้อ ค) ผสมกับมันเส้นบดที่เตรียมได้จากข้อ ง) ในอัตราส่วน 50 มิลลิลิตร ต่อ 1 กิโลกรัม ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นบรรจุลงถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร อัดให้แน่น โดยให้มีอากาศน้อยที่สุดจากนั้นปิดฝาถังล็อกด้วยห่วงอลูมิเนียมหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ จึงนำออกมาตากแห้ง ให้มีความชื้นไม่เกิน 15 % เก็บรวบรวมใส่กระสอบ เพื่อนำไปใช้ผสมในสูตรอาหารตามสูตรทดลองต่อไป

สูตรอาหารทดลองไก่เนื้อแบ่งออกเป็น 2 ช่วงตามอายุของไก่ คือช่วงระยะเจริญเติบโต (grower period) ไก่อายุ 11 - 21 วัน และช่วงระยะขุน (finisher period) ไก่อายุ 22 - 42 วัน โดยแต่ละช่วงมีระดับของมันเส้นบดหมักยีสต์ *S. cerevisiae* ในอาหารต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 10, 20 และ 30 % ตามลำดับ (Table 1) คำนวณความต้องการโภชนะหลัก (โปรตีน และพลังงานใช้ประโยชน์ได้) ของไก่เนื้อตามคำแนะนำของ NRC (1994) ไก่เนื้ออายุ 0 - 21 วัน ต้องการโปรตีน 23 % และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3.2 เมกกะแคลลอรี่ต่อกิโลกรัม และไก่เนื้ออายุ 22 - 42 วัน ต้องการโปรตีน 20 % และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3.2 เมกกะแคลลอรี่ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

**3. การเก็บรวบรวมข้อมูล**

ช่วงทดลองมีการบันทึกปริมาณอาหารที่ให้และอาหารที่เหลือในแต่ละวันเพื่อประเมินค่าการกินได้และอัตราการเปลี่ยนอาหาร ชั่งน้ำหนักไก่ทดลองตั้งแต่เริ่มต้นอายุ 11 วัน และชั่งน้ำหนักทุกสัปดาห์เพื่อติดตามการเจริญเติบโต โดยคำนวณสมรรถนะการผลิตของไก่เนื้อดังนี้

อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain; ADG, g/bird) = น้ำหนักตัวที่เพิ่ม / จำนวนวันที่เลี้ยง

ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวัน (average daily feed intake; DFI, g/bird) = ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด / จำนวนไก่ที่เหลือทั้งหมด

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (feed conversion ratio; FCR) = ปริมาณอาหารที่ใช้ทั้งหมด / น้ำหนักตัวที่เพิ่มทั้งหมด โดยคำนวณเป็นรายซ้ำ

อัตราการตาย (mortality rate, %) = [จำนวนไก่ตาย / จำนวนไก่เริ่มต้น] x 100

ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (feed cost per kilogram gain, FCG) = [ต้นทุนค่าอาหาร (บาทต่อกิโลกรัม) x ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)] / น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

ต้นทุนค่าอาหารจริง (บาทต่อกิโลกรัม) (real feed cost) = [ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม x 100] / อัตราการเลี้ยงรอด (%)

ต้นทุนค่าอาหารต่อตัว (feed cost) (บาท) = น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กิโลกรัมต่อตัว) x ต้นทุนค่าอาหารจริง (บาทต่อกิโลกรัม)

กำไรสุทธิต่อตัว (net profit) = มูลค่าการขายไก่เนื้อ (บาทต่อตัว) - ต้นทุนค่าอาหารต่อตัว (บาท), (*ราคาขายไก่เนื้อ = 36 บาทต่อกิโลกรัม)

วิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง มันเส้น และมันเส้นบดหมักยีสต์ *S.cerevisiae* (CCFY) ตามวิธีการของ AOAC (1990) ได้แก่ วัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ ไขมัน เถ้า เยื่อใยหยาบ

ในช่วงท้ายของการทดลองไก่ทดลองอายุ 42 วัน ทำการอดอาหารไก่นาน 10 ชั่วโมง จากนั้นสุ่มไก่ออกมาทั้งหมด 16 ตัว โดยสุ่มไก่ 4 ตัว (คละเพศตัวผู้

2 ตัว และตัวเมีย 2 ตัว) ต่ออาหารทดลองออกมาเก็บตัวอย่างเลือดดำบริเวณปีก (wings vein) ปริมาตร 2 มิลลิลิตรต่อตัว ใส่ในหลอดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (Vacuette® Lithium Heparin) เก็บใส่ในกระติกน้ำแข็งอุณหภูมิ 4 °C จากนั้นส่งตรวจวิเคราะห์ค่าชีวเคมีในเลือดที่บริษัทขอนแก่นแลป อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ได้แก่ ค่าครีเอทินิน (creatinine) กรดยูริก (uric acid) คอเลสเตอรอล (cholesterol) คอเลสเตอรอลชนิดที่มีความหนาแน่นสูง (HDL cholesterol) คอเลสเตอรอลชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDL cholesterol) aspartate aminotransferase (AST) และค่า alanine aminotransferase (ALT) และสุ่มไก่ออกมา 8 ตัวต่ออาหารทดลอง (เพศผู้ 2 ตัว และเพศเมีย 2 ตัว) เพื่อประเมินลักษณะซาก โดยชั่งน้ำหนักไก่หลังจากอดอาหารจะได้ค่าน้ำหนักก่อนชำแหละซาก (shrunk live weight) และทำการตัดแต่งซากตามวิธีการ Jaturasitha (2004) โดยเชือดคอเอาเลือดออกแล้วลวกน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 75 °C นาน 2 - 3 นาที เพื่อถอนขนไก่ เอาอวัยวะภายใน (evisceration) ออก โดยผ่าบริเวณ pelvic bone กับทวารหนัก ตัดคอตามรอยต่อกระดูก atlas joint และตัดแข้งทั้ง 2 ตามข้อเข่า แล้วเอาอวัยวะภายในส่วนบริโภคได้ Giblets; หัวใจ ตับ และกึ๋น และชั่งน้ำหนักซากเปล่า (eviscerated carcass) จากนั้นแยกส่วนเก็บข้อมูลชั่งน้ำหนักตับ (liver) กึ๋น (gizzard) และไขมันรวมในช่องท้อง (abdominal fat) ตัดแยกส่วนของขาสะโพกออกจากลำตัวไก่ตามแนวกระดูก จากนั้นแบ่งส่วนของขา (leg หรือ drum stick) และสะโพก (thigh) ออกจากกันตามแนวข้อต่อกระดูกแล้วชั่งน้ำหนัก เลาะกระดูกขาและกระดูกสะโพกออกชั่งน้ำหนักเนื้อขา (drum stick meat) และเนื้อส่วนสะโพก (thigh meat) ส่วนของปีก (wings) ใช้มีดเซาะรอยต่อกระดูกเพื่อเอาปีกออกจากลำตัวแล้วชั่งน้ำหนัก เลาะเนื้อส่วนของอก (breast) จากลำตัวส่วนบนตามกึ่งกลางของอกแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณชิ้นส่วนของซากไก่แต่ละส่วนที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักซากเปล่าของไก่

**4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

ข้อมูลทั้งหมดนำเข้าวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ด้วยวิธีการของ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SAS (1996)

## ผลการทดลองและวิจารณ์

**1. องค์ประกอบโภชนะของมันเส้นบดหมักยีสต์ *S. cerevisiae***

ค่าองค์ประกอบทางโภชนะของ CCFY แสดงใน Table 2 จากการทดลองพบว่า CCFY มีระดับโปรตีน หยาบ ไขมัน เถ้า และค่าวัตถุแห้งเพิ่มขึ้นจากเดิม 3.15, 0.12, 3.28, 88.14 เป็น 22.63, 0.14, 3.85 และ 91.07 % (DM basis) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่สูงกว่ามันเส้นปกติ

Table 2. Analyzed chemical composition of cassava chips meal and CCFY

| Nutrient chemical composition (%) (DM basis) | Cassava chips meal | CCFY |
|---|---|---|
| Dry matter | 88.14 | 91.07 |
| Crude protein (N x 6.25) | 3.15 | 22.63 |
| Ether extract | 0.12 | 0.14 |
| Crude fiber | 5.36 | 4.82 |
| Ash | 3.28 | 3.85 |

CCFY = Cassava chips meal fermented with yeast *Saccharomyces cerevisiae*

ยกเว้นค่าเยื่อใยหยาบ ที่มีค่าลดลงจากเดิม 5.36 % เหลือ 4.82 % (DM basis) เมื่อเทียบระหว่างมันเส้นกับ CCFY ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับ Oboh (2006) และ Boonnop *et al.* (2009) ที่รายงานว่ามันเส้นและหัวมันสำปะหลังสดเมื่อผ่านการหมักด้วยยีสต์ *S.cerevisiae* ทำให้ค่าโปรตีนหยาบ และไขมัน เพิ่มขึ้น เยื่อใยหยาบลดลง ซึ่งเป็นผลดีต่อสัตว์เมื่อมีการใช้ CCFY ในสูตรอาหาร โดยทำให้ได้รับโปรตีนเพิ่มขึ้น และส่งผลดีต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์ด้วยเนื่องจากมีเยื่อใยหยาบที่ลดลง

**2. สมรรถนะการเจริญเติบโตและต้นทุนการผลิตของไก่เนื้อ**

จากการทดลองผลของการใช้ CCFY ที่ระดับแตกต่างกัน 0, 10, 20 และ 30 % ในสูตรอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ (Table 3) พบว่า ในช่วงไก่เนื้ออายุ 11-22 วัน มีน้ำหนักตัวที่เพิ่ม (body weight gain, BWG) อัตราการเจริญเติบโต (average daily gain, ADG) ปริมาณอาหารที่กิน (feed intake, FI) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (feed conversion ratio, FCR) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยไก่เนื้อที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 0 และ 10 % มีค่า BWG, ADG, FI และ FCR ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 20 และ 30 % ส่วนในช่วงไก่เนื้ออายุ 23-42 วัน ระดับของ CCFY ในสูตรอาหาร มีผลต่อค่า ADG และค่า FCR ของไก่เนื้อ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ระดับของ CCFY ในสูตรอาหาร มีผลต่อค่า BWG และ FI แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะที่ตลอดช่วงการทดลอง (11-

Table 3. Effect of CCFY in diet on growth performance of broilers

| Parameter | Levels of CCFY in diets (%) | | | | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | |
| Grower period (11 to 22 days) | | | | | |
| Body weight gain (g / bird) | 697.61$^{a}$ | 674.53$^{a}$ | 402.34$^{b}$ | 315.35$^{c}$ | 4.82 |
| Average daily gain (g / bird) | 63.36$^{a}$ | 61.02$^{a}$ | 36.06$^{b}$ | 27.96$^{c}$ | 1.67 |
| Average daily feed intake (g / bird) | 104.92$^{a}$ | 112.75$^{a}$ | 86.45$^{c}$ | 95.54$^{b}$ | 10.96 |
| Feed conversion ratio (feed / gain) | 1.65$^{b}$ | 1.84$^{b}$ | 2.13$^{a}$ | 2.30$^{a}$ | 0.19 |
| Finisher period (23 to 42 days) | | | | | |
| Body weight gain (g / bird) | 710.68$^{a}$ | 698.89$^{a}$ | 719.82$^{a}$ | 586.89$^{b}$ | 4.36 |
| Average daily gain (g / bird) | 37.40 | 31.95 | 39.23 | 30.76 | 3.06 |
| Average daily feed intake (g / bird) | 129.76$^{b}$ | 154.92$^{a}$ | 119.71$^{b}$ | 115.69$^{b}$ | 7.23 |
| Feed conversion ratio (feed / gain) | 2.36 | 2.35 | 2.49 | 2.76 | 0.13 |
| Overall (11 to 42 days) | | | | | |
| Body weight gain (g / bird) | 1685.41$^{a}$ | 1547.61$^{a}$ | 1206.38$^{b}$ | 909.69$^{c}$ | 45.76 |
| Average daily gain (g / bird) | 52.16$^{a}$ | 47.25$^{a}$ | 37.47$^{b}$ | 29.20$^{b}$ | 2.81 |
| Average daily feed intake (g / bird) | 117.03$^{a}$ | 133.32$^{a}$ | 102.67$^{b}$ | 105.37$^{b}$ | 7.41 |
| Feed conversion ratio (feed / gain) | 2.01$^{b}$ | 2.09$^{b}$ | 2.32$^{a}$ | 2.45$^{a}$ | 0.12 |
| Mortality rate (%) | 6.70$^{b}$ | 10.00$^{b}$ | 10.00$^{b}$ | 16.65$^{a}$ | 3.17 |

Mean with different superscripts in the same row are significantly different ($P < 0.05$), SEM = standard error of mean

CCFY = Cassava chips meal fermented with yeast *Saccharomyces cerevisiae*

42 วัน) ผลของการใช้ CCFY ที่ระดับแตกต่างกัน 0, 10, 20 และ 30 % ในสูตรอาหาร พบว่ามีผลต่อค่า BWG, ADG, FI และ FCR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยไก่เนื้อที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 0 และ 10 % มีค่า BWG, ADG, FI และ FCR ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 20 และ 30 % ในสูตรอาหาร

เพื่อพิจารณาผลโดยรวมของการใช้ CCFY ที่ระดับแตกต่างกัน 0, 10, 20 และ 30 % ในสูตรอาหารต่อด้านสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อตลอดการทดลอง (11 - 42 วัน) สรุปได้ว่าไก่เนื้อที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 0 และ 10 % มีค่า BWG, ADG, FI และ FCR ในทิศทางที่ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 20 และ 30 % ในสูตรอาหาร ขณะที่ค่าอัตราการตาย (mortality rate, MR) พบว่า กลุ่มที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 30 % ในสูตรอาหารมีค่าสูงกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Adeyemi *et al.* (2008) รายงานว่าการใช้หัวมันสำปะหลังบดหมักด้วยของเหลวจากกระเพาะรูเมนในสูตรอาหารไก่เนื้อ ทำให้การเพิ่มน้ำหนักตัว น้ำหนักตัวสุดท้าย การกินได้ต่อวัน ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร รวมถึงการกักเก็บสารอาหารโปรตีน เยื่อใย และไขมันในร่างกายลดลงตามระดับหัวมันสำปะหลังหมักที่เพิ่มขึ้น และ Khempaka *et al.* (2014) รายงานว่าเมื่อระดับของกากมันสำปะหลังหมักเชื้อรา *A. oryzae* ที่เพิ่มขึ้นในอาหารไก่เนื้อ ทำให้การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร การกินได้ และการย่อยได้ลดลง และการศึกษาของ Oso *et al.* (2014) ที่ใช้หัวมันสำปะหลังบดที่ไม่ได้เอาเปลือกออกที่ระดับ 20 % ของสูตรอาหาร พบว่า ทำให้น้ำหนักมีชีวิต การเพิ่มน้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน และการย่อยได้ของโปรตีนลดลง แต่ทำให้ค่ากลูโคสในซีรั่ม และระดับไขมันคลอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระดับของหัวมันสำปะหลังบดในอาหารเพิ่มขึ้น และงานของ Zanu *et al.* (2017) รายงานว่า การใช้ cassava root flour ทดแทนข้าวโพดที่ระดับ 100 % ในอาหารไก่เนื้อมีผลทำให้ค่า BWG, FCR, น้ำหนักซาก (carcass weight) และเปอร์เซ็นต์ซาก (dressing percentage) ของไก่เนื้อลดลง

ผลของการใช้ CCFY ที่ระดับแตกต่างกัน 0, 10, 20 และ 30 % ในสูตรอาหาร ต่อต้นทุนการผลิตของไก่เนื้อ แสดงใน Table 4 เมื่อพิจารณาผลโดยรวมด้านต้นทุนการผลิตของไก่เนื้อ พบว่า ค่าต้นทุนค่าอาหาร (feed cost, FC) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (feed cost per kilogram gain, FCG) ต้นทุนค่าอาหารที่แท้จริง (real feed cost, RFC) และกำไรสุทธิ (net profit, NP) มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าไก่เนื้อที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 0, 10 และ 20 % ในสูตรอาหาร มีค่า FCG และ RFC ในทิศทางที่ดีกว่าไก่ที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 30 % ในสูตรอาหาร ในขณะที่ไก่กลุ่มที่ได้ CCFY ที่ระดับ 0 และ 10 % ในสูตรอาหาร มีค่า NP สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 20 และ 30 % ในสูตรอาหาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การใช้ CCFY ในระดับที่มากกว่า 10 % ขึ้นไปส่งผลต่อกำไรสุทธิ

Table 4. Effect of CCFY in diet on cost production of broilers at 42 days of age

| Parameter | Levels of CCFY in diets (%) | | | | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | |
| Feed cost per kilogram gain (THB / kg. BW gain) | $36.20^{b}$ | $38.58^{b}$ | $34.03^{b}$ | $56.05^{a}$ | 23.61 |
| Real feed cost (THB / kg) | $38.30^{b}$ | $42.02^{b}$ | $36.83^{b}$ | $64.73^{a}$ | 28.30 |
| Feed cost (THB / kg) | 39.40 | 44.78 | 32.54 | 31.40 | 20.78 |
| Net profit (THB / bird) | $40.05^{a}$ | $39.76^{a}$ | $29.07^{b}$ | $16.76^{c}$ | 5.01 |

Mean with different superscripts in the same row are significantly different ($P < 0.05$), SEM = standard error of mean
CCFY = Cassava chips meal fermented with yeast *Saccharomyces cerevisiae*

(บาทต่อตัว) ลดลง สาเหตุอาจมาจากปัจจัยการใช้วัตถุดิบแหล่งพลังงานจากข้าวโพด (30 - 42.75 %) และ รำ (7.55 - 24.05 %) ในสูตรอาหารที่ค่อนข้างสูง เมื่อมีการใช้ CCFY ทดแทนกากถั่วเหลืองในระดับที่สูงขึ้น (30 %) (Table 1) จึงทำให้มีเยื่อใยรวมของอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่ง Kanto (2016) รายงานว่า เยื่อใยเป็นตัวดูดซับน้ำระหว่างที่อาหารเคลื่อนที่ในทางเดินอาหาร ทำให้อาหารมีความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นอาหารจึงเคลื่อนที่เร็วขึ้นส่งผลให้เอนไซม์ในทางเดินอาหารทำงานได้เต็มที่ Khajarern and Khajarern (2017) รายงานว่าสัตว์ปีกหากได้รับคาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่แป้งเช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพนโทแซน หรือโอลิโกแซคคาไรด์ ทำให้อาหารที่อยู่ในทางเดินอาหาร (digesta) มีความหนืด (viscosity) สูง เอนไซม์ของน้ำย่อยเข้าย่อยไม่ทั่วถึง จึงอาจกระทบต่อการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารลดลงและมีส่วนต่อค่า MR ทำให้ไก่ที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 30 % ในสูตรอาหารมีค่าสูงกว่าทุกกลุ่ม ($P < 0.05$) เมื่อประมวลผลในด้านค่า NP ต่อตัวจึงทำให้มีค่า NP น้อยกว่าทุกกลุ่ม ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองใช้ CCFY ในสูตรอาหารไก่เนื้อครั้งนี้ ตรงกันข้ามกับรายงานของ Diarra *et al*. (2015) ที่ทดสอบใช้ cassava root meal ที่ระดับ 34 % กับ copra meal (กากมะพร้าวสกัดน้ำมัน) ที่ระดับ 50 % และมีการใช้เอนไซม์รวม (allzyme) ในสูตรอาหารไก่เนื้อพันธุ์ Cobb พบว่า ทำให้ต้นทุนในด้านการผลิตเนื้อไก่ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และการศึกษาของ Zanu *et al*. (2017) รายงานว่า การใช้ cassava root flour ทดแทนข้าวโพด 100 % ในสูตรอาหารไก่เนื้อพันธุ์ Cobb 500 ทำให้ต้นทุนอาหารลดลงและมีรายได้สุทธิ (net revenue) เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ดี หากพิจารณาข้อมูลราคาอาหารใน Table 1 เทียบกันเฉพาะกลุ่มควบคุม (ไม่ใช้ CCFY) (ราคา 21.63 บาทต่อกิโลกรัม) กับกลุ่มที่ใช้ CCFY) ที่ระดับ 10 % ในสูตรอาหาร (ราคา 20.28 บาทต่อกิโลกรัม) พบว่า การใช้ CCFY ที่ระดับ 10 % ในสูตรอาหาร มีราคาถูกกว่าคิดเป็น 6.24 % ข้อมูลนี้อาจเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจเชิงธุรกิจได้

### 3. ค่าชีวเคมีในเลือด

ค่าชีวเคมีในเลือดของไก่เนื้อที่อายุ 42 วัน แสดงใน Table 5 พบว่า ผลของการใช้ CCFY ที่ระดับแตกต่างกัน 0, 10, 20 และ 30 % ในสูตรอาหาร พบว่า มีผลต่อค่ากรดยูริก (uric acid) ค่าคอเลสเตอรอลชนิดที่มีความหนาแน่นสูง (HDL cholesterol) ค่าคอเลสเตอรอล

Table 5. Effect of CCFY in diet on blood biochemical of broiler at 42 days of age

| Parameter | Levels of CCFY in diets (%) | | | | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | |
| Creatinine (mg/dL) | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.15 | 0.026 |
| Uric acid (mg/dL) | 8.62[a] | 7.12[a] | 1.95[b] | 3.52[b] | 1.609 |
| Cholesterol (mg/dL) | 125.25 | 124.00 | 126.75 | 130.25 | 12.04 |
| Triglyceride (mg/dL) | 59.00 | 36.25 | 57.25 | 75.50 | 10.63 |
| HDL cholesterol (mg/dL) | 59.50[b] | 72.75[ab] | 94.50[a] | 100.25[a] | 9.64 |
| LDL cholesterol (mg/dL) | 50.00[a] | 18.25[b] | 25.00[b] | 39.75[b] | 11.33 |
| Aspartate aminotransferase (AST) (U/L) | 298.30 | 436.00 | 257.80 | 242.50 | 88.26 |
| Alanine aminotransferase (ALT) (U/L) | 0.50[a] | 3.50[a] | 0.00[b] | 0.00[b] | 0.62 |

Mean with different superscripts in the same row are significantly different ($P < 0.05$), SEM = standard error of mean

High density lipoprotein (HDL), Low density lipoprotein (LDL), CCFY = Cassava chips meal fermented with yeast *Saccharomyces cerevisiae*

ชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDL cholesterol) และค่า alanine aminotransferase (ALT) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ระดับของ CCFY ในสูตรอาหารไม่มีผลต่อค่าครีเอทินิน (creatinine) ค่าคอเลสเตอรอล (cholesterol) ค่าไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) และค่า aspartate aminotransferase (AST) ในเลือดไก่เนื้อ ($P > 0.05$)

Simaraks *et al.* (2004) รายงานว่าค่าทางชีวเคมีในเลือดบ่งบอกกระบวนการแมแทบอลิซึม (metabolism) ของสารอาหารที่ได้รับเข้าไปในร่างกายอีกนัยหนึ่งค่านี้สามารถใช้ประเมินด้านสุขภาพของสัตว์ได้ด้วย และค่าชีวเคมีในเลือดของไก่เนื้อขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น สถานภาพในการได้รับสารอาหาร (nutritional status) เพศ อายุ ฤดูกาล การบาดเจ็บ (trauma) สายพันธุ์หรือการจัดการเลี้ยงไก่ Wyss and Kaddurah-Daouk (2000) รายงานว่าค่าความเข้มข้นของ creatinine สัมพันธ์กับการออกกำลังกาย ซึ่งบ่งชี้ถึงการเกิด muscle metabolism ของกล้ามเนื้อจากการเคลื่อนไหว ค่า uric acid ในเลือดเป็นผลที่เกิดจากกระบวนย่อยสลายสารอาหารโปรตีน และบ่งบอกการทำงานของไตสัตว์ปีกได้ ซึ่งการขับ uric acid ของสัตว์ปีกที่สูงหรือต่ำ อาจขึ้นกับการได้รับโปรตีนในประมาณที่สูงเกิดความต้องการของร่างกายหรือเมื่อสัตว์ปีกนั้นเป็นโรคที่มีผลต่อการทำงานของไต ขณะที่ค่าไขมันในเลือด (lipids profile) ทั่วไปได้แก่ ค่าคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ ไขมันชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDL) และไขมันชนิดความหนาแน่นสูง (HDL) บ่งบอกถึงคุณภาพของอาหารที่ได้รับเข้าไปรวมถึงกระบวนการแมแทบอลิซึม (metabolism) สารอาหารไขมันในร่างกาย โดยปกติไตรกลีเซอไรด์ที่สะสมในเนื้อเยื่อ (adipose tissue) จะเป็นแหล่งพลังงานให้ร่างกาย แต่หากมีปริมาณสูงเกินกว่าที่ร่างกายต้องการจะทำให้เกิดภาวะไขมันอุดตันเส้นเลือด ค่าไตรกลีเซอไรด์จะสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับค่าไขมันชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDL) ซึ่ง LDL เป็นไขมันชนิดเลวทำหน้าที่ขนส่งคอเลสเตอรอลไปยังเลือดและอวัยวะต่าง ๆ เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคหลอดเลือดตีบและแข็ง (atherosclerosis) แต่ขณะที่ไขมันชนิดความหนาแน่นสูง (HDL) ที่เป็นไขมันดี ทำหน้าที่เก็บคอเลสเตอรอลจากส่วนต่างๆ กับไปย่อยสลายที่ตับเพื่อใช้เป็นพลังงานของร่างกาย ซึ่งช่วยลดภาวะการเกิดการตีบและแข็งตัวของเส้นเลือด Clinical Diagnostic Division (1990) รายงานค่าชีวเคมีในเลือดสัตว์ปีกมีค่าปกติของ uric acid และ cholesterol อยู่ในช่วง 1.9 - 12.5 และ 129 - 297 mg/dl ตามลำดับ Café *et al.* (2012) รายงานว่าไก่เนื้อสายพันธ์ CobbAvian48™ อายุ 42 วัน มีค่าเฉลี่ยของ creatinine, triglyceride, cholesterol, HDL-cholesterol และ LDL-cholesterol ในเลือดเท่ากับ 0.44, 32.23, 100.72, 25.88 และ 68.39 mg/dl ตามลำดับ

การทดลองครั้งนี้พบว่า ไก่เนื้อมีค่าครีเอทินิน กรดยูริก คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ ค่าคอเลสเตอรอลชนิดที่มีความหนาแน่นสูง (HDL) ค่าคอเลสเตอรอลชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDL) ค่า AST และค่า ALT โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.11 - 0.15, 1.95 - 8.62, 124.00 - 130.25, 36.25 - 75.50, 59.50 - 100.25, 18.25 - 50.00 mg/dL, 242.50 - 436.00 และ 0.00 - 0.50 U/L ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงปกติ (Clinical Diagnostic Division, 1990; Coles, 2007; Thrall, 2004) อย่างไรก็ดี แม้ค่าคอเลสเตอรอล ค่าไตรกลีเซอไรด์ ค่าคอเลสเตอรอลชนิดที่มีความหนาแน่นสูง (HDL) ค่าคอเลสเตอรอลชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDL) ในงานทดลองนี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาตัวเลขพบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 10 % ในสูตรอาหาร มีค่าคอเลสเตอรอล ค่าไตรกลีเซอไรด์ และทิศทางของค่าคอเลสเตอรอลชนิดที่มีความหนาแน่นสูง (HDL) กับค่าคอเลสเตอรอลชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDL) มีค่าต่ำกว่าทุกกลุ่ม (Table 5) แสดงให้เห็นว่าการใช้ CCFY ที่ระดับ 10 % เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในด้านการ metabolism สารอาหารพลังงาน ทำให้ค่า LDL ในเลือดต่ำ ซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพไก่ และดีต่อผู้บริโภคด้วย เนื่องจากได้บริโภคเนื้อไก่มีไขมัน LDL ต่ำ

Coles (2007) รายงานว่าค่า AST และค่า ALT บ่งบอกถึงการเกิดพิษที่ตับ (toxicology of liver) ในสัตว์ปีกมีค่าปกติในช่วงของค่า AST และ ALT ในสัตว์ปีกส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 52 - 270 และ 6.5 - 263 U/L ตามลำดับ ซึ่งขึ้นสายพันธุ์สัตว์ เพศ อายุ และ

สภาพแวดล้อม Thrall (2004) รายงานว่าหากค่าของ AST เกิดขึ้นมีค่ามากกว่า 800 U/L อาจเป็นสัญญาณบ่งชี้ว่าตับถูกทำลายอย่างรุนแรง จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าไก่เนื้อมีค่า AST และ ALT อยู่ในช่วง 242.50 - 436.00 และ 0.00 - 3.50 U/L ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า CCFY สามารถใช้เป็นอาหารไก่เนื้อได้โดยปราศจากผลกระทบต่อสุขภาพและการให้ผลผลิตของไก่เนื้อ

**4. ลักษณะซากของไก่เนื้อ**

ผลของระดับ CCFY ในสูตรอาหารต่อลักษณะซากของไก่เนื้อที่อายุ 42 วัน แสดงใน Table 6 พบว่าน้ำหนักหลังอดอาหารก่อนชำแหละซาก น้ำหนักซากเปล่า น้ำหนักเครื่องในรวม เนื้ออก ขา ปีก ตับ กึ๋น และไขมันช่องท้องมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่สะโพกรวม เนื้อสะโพก และเนื้อขามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยไก่เนื้อที่ได้รับ CCFY ระดับ 0 และ 10 % ในสูตรอาหาร มีน้ำหนักหลังอดอาหารก่อนชำแหละซาก สัดส่วนของซากเปล่า และเนื้ออก สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 20 และ 30 % ในสูตรอาหาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่ไก่เนื้อที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 20 และ 30 % ในสูตรอาหาร มีค่าน้ำหนักขารวม ปีก ตับ กึ๋น และไขมันช่องท้องสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับ CCFY ที่ระดับ 0 และ 10 % ในสูตรอาหาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อาจมีสาเหตุเนื่องจากไก่ทดลองกลุ่มนี้ (20 และ 30 %) ได้รับแป้งที่อยู่ในหัวมันเส้นบดในปริมาณที่สูงกว่ากลุ่มอื่น เมื่อแป้งถูกย่อยสลายจะเปลี่ยนเป็นกลูโคสให้พลังงานกับสัตว์ เมื่อกลูโคสส่วนที่เกินความต้องการใช้งานก็จะมีการเปลี่ยนรูปกลายไปเป็นไขมันสะสมในเนื้อเยื่อไขมันหรือไขมันในช่องท้อง จึงทำให้ไขมันในช่องท้องสูงขึ้นในไก่กลุ่มที่ได้รับ CCFY ระดับ 20 และ 30 % ในสูตรอาหาร (Table 4) สอดคล้องกับ Mir *et al.* (2017) รายงานว่าการได้รับสารอาหารของไก่เนื้อมีผลกระทบโดยตรง

Table 6. Effect of CCFY in diet on carcass characteristics of broiler at 42 days of age

| Parameter | Levels of CCFY (%) | | | | SEM |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | |
| Shrunk live weight (g) | 2,619.75[a] | 2,619.50[a] | 2,110.63[b] | 1,504.38[C] | 60.28 |
| | | (% of shrunk live weight) | | | |
| Eviscerated carcass | 84.96[a] | 81.57[a] | 77.49[b] | 74.46[b] | 1.08 |
| Giblets | 7.36[c] | 7.63[c] | 8.65[b] | 10.24[a] | 0.41 |
| | | (% of eviscerated carcass) | | | |
| Breast meat | 25.01[a] | 26.18[a] | 23.66[b] | 18.38[c] | 0.78 |
| Thigh | 13.90 | 15.36 | 14.94 | 15.57 | 0.56 |
| Thigh meat | 11.58 | 13.14 | 12.63 | 12.72 | 0.54 |
| Drumstick | 12.39[b] | 12.08[b] | 13.14[a] | 13.96[a] | 0.56 |
| Drumstick meat | 9.39 | 9.33 | 10.05 | 10.12 | 0.48 |
| Wings | 9.01[b] | 9.14[b] | 10.09[a] | 10.43[a] | 0.32 |
| Liver | 2.03[b] | 2.06[b] | 2.82[a] | 2.78[a] | 0.16 |
| Gizzard | 1.60[b] | 1.58[b] | 1.93[b] | 2.81[a] | 0.13 |
| Abdominal fat | 1.19[b] | 1.70[b] | 3.03[a] | 3.57[a] | 0.46 |

Mean with different superscripts in the same row are significantly different ($P < 0.05$), SEM = standard error of mean

CCFY= Cassava chips meal fermented with yeast *Saccharomyces cerevisiae*

ต่อการเปลี่ยนแปลงในด้านการเจริญเติบโตของโครงสร้าง (skeleton) ร่างกาย กล้ามเนื้อ และการสะสมไขมัน (fat depot)

## สรุป

การใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* ไปหมักมันเส้นบดภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เป็นเวลา 21 วัน สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนหยาบ ไขมัน เถ้า และวัตถุแห้งเพิ่มขึ้นจากเดิม 3.15, 0.12, 3.28, 88.14 % เป็น 22.63, 0.14, 3.85 และ 91.07 % (DM basis) ตามลำดับ และทำให้ค่าเยื่อใยหยาบของมันเส้นลดลงจากเดิม 5.36 % เหลือ 4.82 % (DM basis) และสามารถใช้มันเส้นบดหมักยีสต์ *S. cerevisiae* หรือ CCFY ในสูตรอาหารได้ที่ระดับ 10 % ในสูตรอาหาร โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ค่าชีวเคมีในเลือด และลักษณะซากของไก่เนื้อ นอกจากนั้น ยังสามารถลดต้นทุนค่าอาหารได้ถึง 6.24 %

## เอกสารอ้างอิง


Adeyemi, O.A., D. Eruvbetine, T. Oguntona, M. Dipeolu and J.A. Agunbiade. 2008. Feeding broiler chicken with diets containing whole cassava root meal fermented with rumen filtrate. Archivos de Zootecnia 57(218): 247-258.

Antai, S.P. and P.N. Mbongo. 1994. Utilization of cassava peels as substrate for crude protein formation. Plant Foods for Human Nutrition 46: 345-351.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of AOAC International. 15th ed. AOAC. Washington, DC.

Boonkong, S., C. Hongladdaporn, S. Kullawong, S. Kruttaga and P. Noimay. 2018. Utilization of cassava pulp fermented yeast in laying hens diet on production performance, egg quality and economic returns. Prawarun Agriculture Journal 15(2): 372-381. (in Thai)

Boonnop, K., M. Wanapat, N. Nontaso and S. Wanapat. 2009. Enriching nutritive value of cassava root by yeast fermentation. Scientia Agricola 66(5): 629-633.

Café, M.B., F.P. Rinaldi, H.R. Morais, M.R.B. de Mattos Nascimento, A.V. Mundim and C.F.P. Marchini. 2012. Biochemical blood parameters of broilers at different ages under thermoneutral environment. (Online) Available: https://www.researchgate.net/publication/283215287_BIOCHEMICAL_BLOOD_PARAMETERS_OF_BROILERS_AT_DIFFERENT_AGES_UNDER_THERMONEUTRAL_ENVIRONMENT (July 20, 2021).

Clinical Diagnostic Division. 1990. Veterinary Reference Guide: A Summary of Reference Intervals for use with KODAK AKTACHEM Products. Eastman Kodak Company, Rochester, New York.

Coles, B.H. 2007. Essentials of Avian Medicine and Surgery. Blackwell Publishing, Oxford.

Daenseekaew, W. and C. Wachirapakorn. 2014. Effect of ethanol waste fermented by yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and fungi (*Aspergillus niger*) in total mixed ratio on digestibility *in vitro* of gas production. pp. 585-593. *In*: Proceedings of 15th National Proceeding of Graduate Research Conference. Khon Kaen University, Khon Kaen. (in Thai)

Diarra, S.S., D. Sandakabatu, D. Perera, P. Tabuaciri and U. Mohammed. 2015. Growth performance and carcass yield of broiler chickens fed commercial finisher and cassava copra meal-based diets. Journal of Applied Animal Research 43(3): 352-356.

Enriquez, F.Q. and E. Ross. 1967. The value of cassava root meal for chicks. Poultry Science 46(3): 622-626.

Gomez, G., G, Tellez and J. Caicedo. 1987. Effects of the Addition of Vegetable Oil or Animal Tallow to Broiler Diet Containing Cassava Root Meal. Poultry Science 66(4): 725-731.

Gomez, G., M. Valdivieso, D. de la Cuesta and T.S. Salcedo. 1984. Effect of variety and plant age on the cyanide content of whole-root cassava chips and its reduction by sun-drying. Animal Feed Science and Technology 11(1): 57-65.

Iyayi, E.A. and O.O. Tewe. 1994. Cassava feeding in small holder livestock units. Acta Horticulturae 375: 261-270.

Jaturasitha S. 2004. Meat Management. 3rd ed. Ming Muang Printing, Chiang Mai. 170 p. (in Thai)

Kanto, U. 2016. Applied Pig and Poultry Nutrition. 1st ed. UKT Publishing, Chachengsao, Thailand. 712 p.

Khempaka, S., R. Thongkratok, S. Okrathok and W. Molee. 2014. An evaluation of cassava pulp feedstuff fermented with *A. oryzae*, on growth performance, nutrient digestibility and carcass quality of broilers. The Journal of Poultry Science 51(1): 71-79.

Khajarern, S. and J. Khajarern. 2007. Use of cassava products in poultry feeding: roots, tubers, plantains and bananas in animal feeding. (Online). Available: http://www.fao.org/DOCREP/003/T0554E/T0554E10.htm (March 28, 2020).

Khajarern, S. and J. Khajarern. 2017. Feeds and Feeding Nonruminants. 2nd ed. Klungnana Printing, Khon Kaen. 552 p. (in Thai)

Khajarern, S., N. Hutanuwatr, J. Khajarern, N. Kitpanit, R. Phalaraksh and S. Terapuntuwat. 1979. The improvement of nutritive and economic value of cassava root products. Annual report. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kon Kaen University, Khon Kaen.

Khajarern, S., N. Hutanuwatr, J. Khajarern, N. Kitpanit, R. Phalaraksh and S. Terapuntuwat. 1982. The improvement of nutritive and economic value of cassava root products. Annual report. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen.

Mir, N.A., A. Rafiq, F. Kumar, V. Singh and V. Shukla. 2017. Determinants of broiler chicken meat auality and factors affecting them: A review. Journal of Food Science and Technology 54(10): 2997-3009.

Morgan, N.K. and M. Choct. 2016. Cassava: Nutrient composition and nutritive value in poultry aiets. Animal Nutrition 2(4): 253-261.

NRC. 1994. Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.

Oboh, G. 2006. Nutrient enrichment of cassava peels using a mixed culture of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus* spp solid media fermentation techniques. Electronic Journal of Biotechnology 9(1): 46-49.

Oboh, G. and A.A. Akindahunsi. 2005. Nutritional and toxicological evaluation of *Saccharomyces cerevisiae* fermented cassava flour. Journal of Food Composition and Analysis 18(7): 731-738.

Olson, D.W., M.L. Sunde and H. R. Bird. 1969. Amino acid supplementation of mandioca

meal in chick diets. Poultry Science 48(6): 1949-1953.

Omede, A.A., E.U. Ahiwe, Z.Y. Zhu, F. Fru-Nji and P. Ade Iji. 2018. Improving cassava quality for poultry feeding through application of biotechnology. (Online). Available: https://www.researchgate.net/publication/322567371_Improving_Cassava_Quality_for_Poultry_Feeding_Through_Application_of_Biotechnology (March 28, 2020).

Osei, S.A. and S. Duodu. 1988. Effect of fermented cassava peel meal on the performance of broilers. British Poultry Science 29(3): 671-675.

Oso, A.O., O. Akapo, K.A. Sanwo and A.M. Bamgbose. 2014. Utilization of unpeeled cassava (*Manihot esculenta* Crantz) root meal supplemented with or without charcoal by broiler chickens. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 98(3): 431-438.

SAS. 1996. SAS User's Guide. Release 6.12 Editions. SAS Institute, Inc., Cary, NC.

Simaraks, S., O. Chinrasri and W. Aengwanich. 2004. Hematological, electrolyte and serum biochemical values of the Thai indigenous chickens (*Gallus domesticus*) in northeastern, Thailand. Songklanakarin Journal of Science and Technology 26(3): 425-430.

Thrall, M.A. 2004. Veterinary heamatology and clinical chemistry. Lippincott Williams & Wilkins, Philadephia, PA.

Thirumalai, S., K. Vedhanayakam and V. Kathaperrumai. 1990. Use of rice polish and tapioca thippi combination in grower and layer rations. Journal of Veterinary and Animal Sciences 21(2): 15-19.

Uchegbu, M.C., E.B. Etuk, A.A. Omede, C.P. Okpala, I.C. Okoli and M.N. Opara. 2011. Effect of replacing maize with cassava root meal and maize/sorghum brewers' dried grains on the performance of starter broilers. Tropical and Subtropical Agroecosystems 14: 363-367.

Wanapat, M. 2003. Manipulation of cassava cultivation and utilization to improve protein to energy biomass for livestock feeding in the tropics. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 16(3): 463-472.

Wyss, M. and R. Kaddurah-Daouk. 2000. Creatine and creatinine metabolism. Physiological Reviews 80(3): 1107-1213.

Zanu, H.K., M.K. Azameti and D. Asare. 2017. Effect of dietary inclusion of cassava root flour in broiler diets on growth performance, carcass characteristic and haematological parameters. International Journal of Livestock Production 8(3): 28-32.

# การผลิตน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ท

## Production of Yi Liang Duck Nam Prik Ong Packaged in Retort Pouch

**มาลัยพร วงค์แก้ว[1] โบว์ ถิ่นโพธิ์วงศ์[1] เอกรินทร์ อินประมูล[1] ณัฐธินี สาลี[1]**
**กันยวิชญ์ กันจินะ[2] สุรีรัตน์ ถมยา[3] อนิวรรต กันทายวง[1] และ พิกุลทอง ไชยมงคล[4*]**
Malaiporn Wongkaew[1], Bow Tinpovong[1], Aekarin Inpramoon[1], Nuttinee Salee[1],
Kanyawit Kanjina[2], Sureerat Thomya[3], Aniwat Kanthayuang[1] and Pikulthong Chaimongkol[4*]

*[1]สาขาวิชาการผลิตและนวัตกรรมอาหาร วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ. เชียงใหม่ 50220*
*[1]Program in Food Production and Innovation, College of Integrated Science and Technology,*
*Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50220, Thailand*
*[2]กองผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ ถนนพญาไท แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400*
*[2]Division of Livestock Products, Department of Livestock Development, Phayathai Road, Ratchathewi, Bangkok 10400, Thailand*
*[3]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200*
*[3]Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand*
*[4]กลุ่มวิชาศึกษาทั่วไป วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ. เชียงใหม่ 50200*
*[4]Program in General Education, College of Integrated Science and Technology,*
*Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50220, Thailand*
**Corresponding author: Email: c.pikulthong@rmutl.ac.th*

*(Received: 24 August 2021; Accepted: 14 January 2022)*

**Abstract:** Wastes from a low-quality tomato variety “Thomas” and an incompletely trimmed smoked Yi Liang duck were novel recovered to a ready-to-eat Lanna food product called Yi Liang duck Nam Prik Ong. The aims of this research were to investigate a sterilisation process of Yi Liang duck Nam Prik Ong and to evaluate a shelf life of Yi Liang duck Nam Prik Ong packaged in retort pouch using the accelerated shelf life testing method. The product was sterilised at 115 degree Celsius for 5, 10 and 15 minutes. The F zero values of each sterilisation time (5, 10 and 15 minutes) were 4 minutes, 8 minutes and 10 minutes, respectively. The shelf life evaluation of Yi Liang duck Nam Prik Ong packaged in retort pouch at 30 degree Celsius was 65 days. The pH values and sensory acceptance scores of all sterilised products were decreased after two months of storage. However, the number of colonies was less than 100 CFU/gram for total aerobic microbial count of all products. This is in accordance with a notification of the Ministry of Public Health throughout a storage time. This process can be applied as a guideline to process and evaluate other curry types packaged in a retort pouch.

**Keywords:** Accelerated shelf life testing, $F_0$ value, sterilisation

**บทคัดย่อ**: วัสดุเหลือทิ้งจากมะเขือเทศพันธุ์โทมัสคุณภาพต่ำและเศษเนื้อเป็ดอี้เหลียงรมควันที่ผ่านการตัดแต่งไม่สมบูรณ์ถูกนำกลับมาใช้ใหม่เป็นผลิตภัณฑ์อาหารล้านนาพร้อมรับประทานที่เรียกว่าน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่า $F_0$ ของการฆ่าเชื้อน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทและเพื่อประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในสภาวะเร่ง จากการทดลอง พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อน้ำพริกอ่องที่ 115 °C ในการฆ่าเชื้อเป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที มีค่า $F_0$ เท่ากับ 4 นาที, 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ สำหรับการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทของทั้ง 3 ระยะเวลา พบว่า อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 30 °C เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้เป็นเวลา เท่ากับ 65 วัน โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง และคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลงหลังจากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลาสองเดือน แต่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์รวมทั้งหมดยังมีค่าน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาซึ่งไม่เกินมาตรฐานตามที่ประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้ โดยกระบวนการที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการแปรรูปและวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำพริกชนิดอื่นที่บรรจุถุงรีทอร์ทได้

**คำสำคัญ**: การทดสอบอายุการเก็บรักษาโดยวิธีเร่ง, ค่า $F_0$, การสเตอริไลส์

## คำนำ

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งเรา อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ได้ส่งเสริมให้เกษตรกรในพื้นที่เพาะปลูกพืชผักและผลไม้ เพื่อให้มีรายได้เลี้ยงครอบครัว โดยมูลนิธิโครงการหลวงจะเป็นผู้รับซื้อผลผลิตเหล่านั้น สินค้าเกษตรโดยส่วนใหญ่จะเป็นมะเขือเทศบริโภคสดพันธุ์โทมัส จึงทำให้มีจำนวนมะเขือเทศมากเกินความต้องการของตลาดและไม่ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้ ซึ่งสาเหตุเกิดจากกระบวนการการเก็บเกี่ยว การขนส่ง หรือเกิดจากบรรจุภัณฑ์ที่ใส่ผลผลิต (Topaiboul *et al*., 2018) โดยเกษตรกรจะนำมะเขือเทศเหล่านั้นไปทิ้งหรือจำหน่ายในราคาถูก กิโลกรัมละ 28 บาท (ขึ้นอยู่กับราคาตลาดกลาง) เมื่อเปรียบเทียบกับมะเขือเทศพันธุ์อื่น ๆ แล้ว มะเขือเทศบริโภคสดพันธุ์โทมัสมีราคาที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ปลูกเฉพาะในพื้นที่การส่งเสริมของมูลนิธิโครงการหลวงและจัดส่งให้กับร้านอาหารหรือห้างสรรพสินค้า ส่วนใหญ่มะเขือเทศบริโภคสดพันธุ์โทมัสจะนิยมนำไปเป็นส่วนประกอบอาหาร ได้แก่ สลัดผัก สเต็ก หรือรับประทานสด เพราะมีรสชาติที่ค่อนข้างหวานและอร่อย พร้อมกันนี้ โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมปศุสัตว์ มีเนื้อเป็ดอี้เหลียงรมควันที่ติดกับโครงกระดูกซึ่งเหลือจากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก คิดเป็นร้อยละ 28.12 ของโครงกระดูกทั้งหมด ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นว่าวัตถุดิบทั้งสองชนิด ได้แก่ มะเขือเทศพันธุ์โทมัสและเนื้อเป็ดอี้เหลียงติดโครงกระดูก สามารถนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้มีราคาที่สูงขึ้นได้ แต่ยังคงมีต้นทุนของวัตถุดิบที่ต่ำ แทนการนำวัตถุดิบเหล่านั้นไปทิ้งให้เปล่าประโยชน์ โดยนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องเนื้อเป็ดอี้เหลียง

น้ำพริกอ่องเป็นอาหารภาคเหนือ มีหมูสับเป็นส่วนประกอบและลักษณะเด่นของน้ำพริก คือ สีสันสวยงาม โดยน้ำพริกที่ได้จะมีสีส้ม ซึ่งได้มาจากมะเขือเทศและพริกแห้ง มีรสชาติ เค็ม เผ็ดเล็กน้อย และมีรสหวานอมเปรี้ยวจากมะเขือเทศ นิยมรับประทานกับผักสดหรือผักต้ม น้ำพริกอ่องเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่จัดอยู่ในกลุ่มอาหารเป็นกรดต่ำ โดยมีค่าความเป็นกรด - ด่าง ระหว่าง 4.8 - 5.2 (Krusong, 1996) ซึ่งไม่สามารถเก็บรักษาได้นานที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้ในปัจจุบัน ผู้บริโภคมีความต้องการสินค้าอาหารสำเร็จรูปพร้อมรับประทานที่มีคุณภาพ ปลอดภัย และเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน ด้วยการตระหนักถึงแนวโน้มดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ผลิตน้ำพริกอ่องเป็ด-อี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ท เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ทกำลังได้รับความนิยม และเข้ามาทดแทนตลาดอาหารบรรจุกระป๋อง (Parnsakhorn *et al*.,

2020) เพราะถุงรีทอร์ทมีความปลอดภัย น้ำหนักเบา สะดวกต่อการขนส่งกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดกระป๋อง และมีต้นทุนการผลิตต่ำ โดยกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA) และคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) ได้ทำการตรวจสอบจนเป็นที่แน่ใจแล้วว่าถุงรีทอร์ทไม่เป็นอันตรายต่ออาหาร แม้จะผ่านการแปรรูปที่ใช้อุณหภูมิสูงในระดับปราศจากเชื้อ (Chankiatkong, 1992) ระดับการฆ่าเชื้อของแต่ละผลิตภัณฑ์นั้น ขึ้นอยู่กับค่า $F_0$ ซึ่งค่า $F_0$ คือเวลาของการฆ่าเชื้อที่เทียบเท่า ณ อุณหภูมิ 121.1 °C (250 องศาฟาเรนไฮต์) ของกระบวนการฆ่าเชื้อที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิอื่น ๆ ซึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 355 อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทกำหนดให้ค่า $F_0$ ที่ใช้ในการฆ่าเชื้ออาหารที่เป็นกรดต่ำจะต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 3 นาที เพื่อเพียงพอต่อการทำลายสปอร์ของเชื้อแบคทีเรีย *Clostridium botulinum* (Ministry of Public Health, 2013)

การนำน้ำพริกอ่องเนื้อเป็ดอี้เหลียงมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์บรรจุถุงรีทอร์ท นอกจากจะช่วยให้เก็บรักษาไว้ได้นานขึ้นที่อุณหภูมิห้องแล้ว ยังเป็นการประชาสัมพันธ์และส่งเสริมการตลาดผลิตภัณฑ์อาหารล้านนาสำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ทให้เป็นที่รู้จักเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นการหาค่า $F_0$ ของการฆ่าเชื้อน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทและประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในสภาวะเร่ง ที่สามารถควบคุมคุณภาพทางด้านเคมีและชีวภาพให้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ไม่เพียงแต่เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารดั้งเดิมของภาคเหนือให้อยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถนำไปจำหน่ายในท้องตลาดให้กว้างมากขึ้นแล้ว ยังตอบโจทย์การทำให้ขยะเป็นศูนย์ (zero waste) ของกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวมะเขือเทศพันธุ์โทมัสและกระบวนการแปรรูปเป็ดอี้เหลียงรมควันได้อีกทางหนึ่งด้วย

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมตัวอย่างน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงในถุงรีทอร์ทสำหรับการหาค่า $F_0$

เตรียมน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงซึ่งประกอบด้วย มะเขือเทศพันธุ์โทมัส เนื้อเป็ดอี้เหลียง หอมแดง กะปิจืด กะปิหวาน กระเทียม น้ำมันพืช พริกจินดาแห้งคั่ว ถั่วเน่าแผ่นคั่ว ซุปไก่ก้อน และเกลือป่น เท่ากับร้อยละ 59.38, 29.69, 2.97, 1.66, 1.66, 1.19, 1.19, 1.19, 0.59, 0.36 และ 0.12 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บรรจุน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียง 200 กรัม ในถุงรีทอร์ทแบบทึบชนิดตั้งได้ ขนาด 12 x 20 เซนติเมตร ทำการไล่อากาศและปิดผนึกปลายถุงด้วยเครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน สำหรับถุงตัวอย่างที่ใช้วัดอุณหภูมิเพื่อหาค่า $F_0$ ทำการเจาะรูที่ตำแหน่ง 1/3 ของความสูงจากก้นถุงรีทอร์ท ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ร้อนช้าของภาชนะบรรจุ (Sawardsuk, 2016) เพื่อใส่สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด T (thermocouple type T) ปลายเข็มวัดอุณหภูมิด้านในถุง ทำการเจาะทะลุเนื้อเป็ดอี้เหลียงบริเวณตรงกลางซึ่งเป็นส่วนที่หนาที่สุด จากนั้นใส่น้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียง แล้วทำการไล่อากาศที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 90 °C เป็นเวลา 10 นาที และปิดผนึก แล้วจัดเรียงถุงลงตะกร้าหม้อฆ่าเชื้อในแนวนอน (Figure 1)

### การหาค่า $F_0$ ของน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ท

ทำการฆ่าเชื้อน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทที่อุณหภูมิ 115 °C ที่ระยะเวลา 5, 10 และ15 นาที โดยเป็นช่วงเวลาฆ่าเชื้อหลัง come-up time ด้วยหม้อฆ่าเชื้อแบบนิ่ง (still steam retort) ของทางศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ เชียงใหม่ ซึ่งหม้อฆ่าเชื้อดังกล่าวทำงานแบบกะ (batch) ใช้สำหรับฆ่าเชื้ออาหารที่บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิทที่อยู่นิ่ง ไม่มีการเคลื่อนที่โดยวางอาหารในตะกร้าขนาดใหญ่ หรือวางเรียงบนชั้น โดยในการวิจัยได้บันทึกอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ทุก ๆ 1 นาที ตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการ จากนั้นนำข้อมูลคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการคำนวณหาพื้นที่

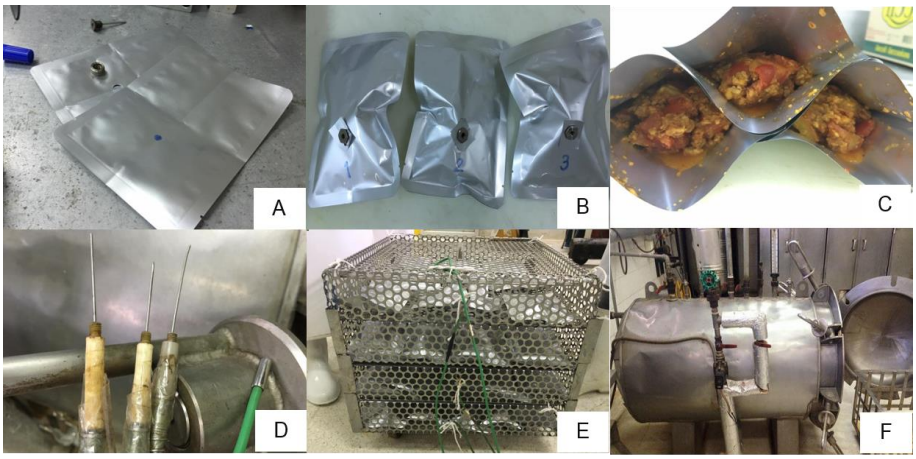


Figure 1. Preparation of Yi Liang duck Nam Prik Ong packed in retort pouch for $F_0$ evaluation A. Retort pouch, B. Puncture position of retort pouch for thermocouple connection, C. Packing of Nam Prik Ong, D. Thermocouple type T, E. Thermocouple position in retort basket, F. Retort

ใต้กราฟ โดยคำนวณค่าอัตราการทำลายจุลินทรีย์ (lethal rate: L) ดังสมการที่ 1 เมื่อ T คือ อุณหภูมิที่จุดร้อนช้าที่สุดของอาหารในภาชนะบรรจุในระหว่างการให้ความร้อน ในหน่วยองศาเซลเซียส (Holdsworth and Simpson, 2016) ผลรวมของค่า L ในแต่ละช่วงอุณหภูมิจะนำมาคำนวณค่า $F_0$ ของกระบวนการฆ่าเชื้อ (สมการที่ 2) ด้วยวิธีการประมาณค่าพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal method) จากกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เมื่อ t คือ ช่วงความห่างของเวลาในกระบวนการให้ความร้อนหน่วยนาที (Tiensanguankul and Limpatanachot, 2000) เมื่อครบเวลาที่กำหนดผลิตภัณฑ์จะถูกลดอุณหภูมิลงจนถึง 40 °C ภายในเวลา 5 นาที แล้วนำไปประเมินอายุการเก็บรักษาต่อไป

$$L = 10^{\frac{T-250}{18}} \quad (1)$$

$$F_0 = \frac{t\{(L_1+L_2) + (L_2+L_3)+...+(L_{n-1}+L_n)\}}{2} \quad (2)$$

**การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทโดยวิธีการเร่งอุณหภูมิสภาวะ**

นำผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 และ 55 °C จากนั้นสุ่มตัวอย่างทุก 7 วัน เป็นระยะเวลา 56 วัน (Apirattananusorn and Chinabhark, 2013) เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส เคมี และชีวภาพ สำหรับนำไปใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

**คุณภาพทางเคมี**

นำตัวอย่างน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทที่ผ่านการเก็บรักษาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Samdaeng *et al.*, 2015)

**คุณภาพทางประสาทสัมผัส**

นำตัวอย่างน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทที่ผ่านการเก็บรักษามาประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9 - point Hedonic scale โดยประเมินความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ (ดัดแปลงจากวิธี ASTM International, 2005) ใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด จำนวน 10 คน โดยเป็นผู้ที่มีความคุ้นเคยกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์และผ่านการฝึกฝนมาก่อน

**คุณภาพทางชีวภาพ**

นำตัวอย่างน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทที่ผ่านการเก็บรักษามาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ด้วยวิธีการนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) (Maturin and Peeler, 2001)

### การคำนวณอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

นำระยะเวลา (วัน) ของคุณภาพด้านที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดมาคำนวณอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ดังสมการต่อไปนี้ (Mizrahi, 2004; Tung *et al.*, 2001)

$$Q_{10} = \frac{\theta_{s(T)}}{\theta_{s(T+10)}} \quad \text{และ} \quad Q_1 = Q_{10}^{0.1} \qquad (3)$$

$$Q_1^{\Delta T} = \frac{\theta_{s(T)}}{\theta_{s(T+\Delta T)}} \qquad (4)$$

Where; $\theta_{s(T)}$ = อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ T (วัน)

$\theta_{s(T+10)}$ = อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ T + 10 (วัน)

$Q_{10}$ and $Q_1$ = ความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ T + 10 และ T + 1 °C

$\Delta T$ = ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ประเมิน และอุณหภูมิ T

### สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยได้ศึกษากรรมวิธีในการฆ่าเชื้อน้ำพริกอ่องบรรจุถุงรีทอร์ทที่ 3 ระยะเวลา ได้แก่ 5, 10 และ 15 นาที โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (completely randomised design; CRD) โดยสุ่มตัวอย่างวัตถุดิบที่นำมาผลิตน้ำพริกอ่องที่ได้มาจากล๊อตการผลิตแตกต่างกัน และสุ่มตัวอย่าง 5 ถุง นำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ โดยในการวิจัยได้ดำเนินการทดสอบการฆ่าเชื้อจำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### การหาค่า $F_0$ ของน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ท

จากข้อมูลอุณหภูมิและเวลาทั้งหมดในกระบวนการฆ่าเชื้อน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ท ที่อุณหภูมิ 115 °C เวลา 5, 10 และ 15 นาที นำมาหาค่าอัตราการทำลายจุลินทรีย์ โดยการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟของค่าอัตราการทำลายจุลินทรีย์กับระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (Figure 2) ซึ่งค่าดังกล่าวมีการเพิ่มขึ้นและลดลงในระหว่างการฆ่าเชื้อเนื่องจากหม้อฆ่าเชื้อที่ใช้การวิจัยเป็นชนิดที่ควบคุมแรงดันแบบกึ่งอัตโนมัติ ส่งผลให้อุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้นและลดลงระหว่างการฆ่าเชื้อ แต่ไม่น้อยกว่า 115 °C และ

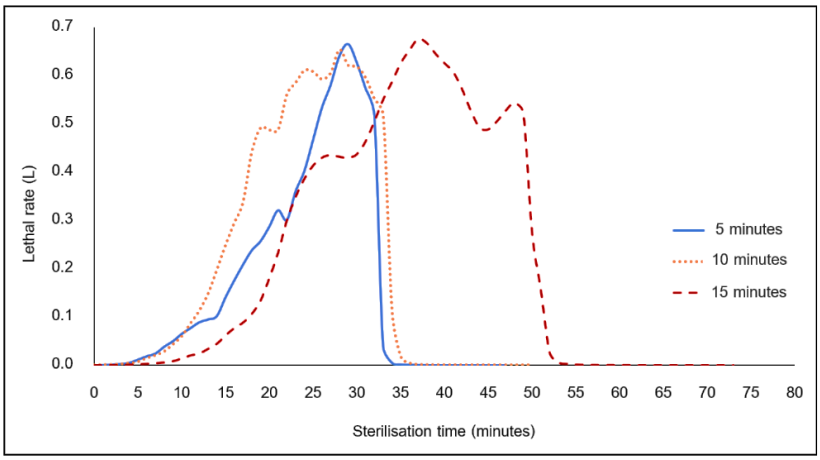


Figure 2. Lethality values of Yi Liang duck Nam Prik Ong packaged in retort pouch sterilised at 115 °C using different times

คำนวณค่า $F_0$ ของน้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทที่ฆ่าเชื้อเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที ได้เท่ากับ 4 นาที, 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ ซึ่งค่า $F_0$ ของทั้ง 3 เวลา เป็นไปตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 355 ที่กำหนดให้อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่มีความเป็นกรดต่ำ ต้องผ่านการฆ่าเชื้อที่ $F_0$ ไม่ต่ำกว่า 3 นาที (Ministry of Public Health, 2013) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์น้ำพริกกะปิที่ใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อที่ 116 องศาเซลเซียส พบว่า มีค่า $F_0$ เท่ากับ 5 นาที ซึ่งผู้บริโภคให้การยอมรับด้านความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบมากที่สุด (Wasantiwong *et al*., 2010)

## การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทโดยวิธีการเร่งอุณหภูมิสภาวะ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทที่เก็บรักษาโดยวิธีการเร่งอุณหภูมิ เป็นระยะเวลา 56 วัน มีดังนี้

### คุณภาพทางเคมี

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของทุกผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาไว้ทั้ง 2 อุณหภูมิค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่อุณหภูมิ 45 °C มีการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของทุกผลิตภัณฑ์ตั้งแต่วันที่ 0 - 56 อยู่ในช่วง 5.31 - 4.77 สำหรับที่อุณหภูมิ 55 °C อยู่ในช่วง 5.31 - 4.60 (Table 1 และ 2) ซึ่งโดยมาตรฐานค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำพริกอ่องควรอยู่ในช่วง 4.8 - 5.2 (Phromphichai, 1999) แสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 45 °C ยังคงคุณภาพทางเคมีตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แต่สำหรับที่อุณหภูมิ 55 °C ในวันที่ 56 ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางเคมีไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเกิดกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง ซึ่งกรดไขมันอิสระเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมเสียอาหารและทำให้ค่าความเป็นกรดสูงขึ้น (Apirattananusorn and Chinabhark, 2013) รวมทั้งการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารประเภทกรดต่ำในภาชนะปิดสนิทอาจมีการเจริญของเชื้อกลุ่ม flat sour spoilage ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในอาหารลดลงได้เช่นกัน (Rungsardthong, 2000) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tasaudom *et al*. (2009) ที่พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์น้ำพริกปลาย่างแมงดาและน้ำพริกปลาร้าสมุนไพรที่บรรจุในขวดแก้วปิดสนิท ซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 98 °C เป็นเวลา 15 นาที มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่ผลิตภัณฑ์กลับมีการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่าเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (แช่เย็น) ทั้งนี้เนื่องมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นช่วยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของอาหารได้ (Sothornvit, 2007)

### คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบทั้ง 10 คน ให้คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทที่ผ่านการฆ่าเชื้อในทุกกรรมวิธีไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาไว้ทั้ง 2 อุณหภูมิ มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง (Table 1 และ 2) โดยที่อุณหภูมิ 45 °C มีคะแนนในทุกกรรมวิธีเกินกว่าคะแนนครึ่งหนึ่ง (4.50) ของคะแนนรวมทั้งหมด (9.00) แต่ในขณะที่อุณหภูมิ 55 °C พบว่าคะแนนของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า 4.50 ตั้งแต่วันที่ 49 เป็นต้นไป แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงขึ้นช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีและส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับคุณภาพทางเคมีดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Ruangchai and Tantakasem (2011) ที่พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำพริกมะขามผสมกระเจี๊ยบที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (แช่เย็น) มีคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอุณหภูมิต่ำช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางประสาทสัมผัสน้อย

Table 1. Qualities of Yi Liang duck Nam Prik Ong packed in retort pouch during storage at 45 °C

| Shelf life (days) | Product qualities | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | pH value | | | Sensory evaluation | | | Total plate count (CFU/gram) | | |
| | 5 min | 10 min | 15 min | 5 min | 10 min | 15 min | 5 min | 10 min | 15 min |
| 0 | 5.21 ± 0.14$^{ns}$ | 5.31 ± 0.13$^{ns}$ | 5.29 ± 0.26$^{ns}$ | 7.03 ± 0.67$^{ns}$ | 6.70 ± 1.06$^{ns}$ | 7.20 ± 0.91$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 7 | 5.26 ± 0.02$^{ns}$ | 5.30 ± 0.02$^{ns}$ | 5.30 ± 0.03$^{ns}$ | 6.70 ± 0.95$^{ns}$ | 6.60 ± 0.84$^{ns}$ | 6.70 ± 0.82$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 14 | 5.23 ± 0.01$^{b}$ | 5.21 ± 0.02$^{a}$ | 5.23 ± 0.01$^{b}$ | 6.80 ± 0.92$^{ns}$ | 6.70 ± 0.82$^{ns}$ | 6.60 ± 0.97$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 21 | 5.19 ± 0.01$^{a}$ | 5.28 ± 0.01$^{b}$ | 5.18 ± 0.02$^{a}$ | 6.70 ± 0.95$^{ns}$ | 6.30 ± 0.82$^{ns}$ | 6.40 ± 0.84$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 28 | 5.03 ± 0.02$^{ns}$ | 5.06 ± 0.01$^{ns}$ | 5.06 ± 0.01$^{ns}$ | 6.70 ± 0.95$^{ns}$ | 6.50 ± 0.85$^{ns}$ | 6.50 ± 1.08$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 35 | 4.88 ± 0.03$^{a}$ | 5.13 ± 0.03$^{b}$ | 5.11 ± 0.01$^{b}$ | 6.50 ± 0.97$^{ns}$ | 6.60 ± 0.52$^{ns}$ | 6.60 ± 0.70$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 42 | 4.83 ± 0.05$^{a}$ | 5.10 ± 0.06$^{b}$ | 5.05 ± 0.04$^{b}$ | 5.50 ± 1.08$^{ns}$ | 6.10 ± 0.88$^{ns}$ | 5.90 ± 0.74$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 49 | 4.80 ± 0.00$^{a}$ | 4.89 ± 0.01$^{b}$ | 4.90 ± 0.08$^{c}$ | 5.50 ± 0.50$^{ns}$ | 5.50 ± 0.85$^{ns}$ | 5.50 ± 1.18$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 56 | 4.80 ± 0.02$^{ns}$ | 4.79 ± 0.04$^{ns}$ | 4.77 ± 0.01$^{ns}$ | 4.70 ± 0.95$^{ns}$ | 4.80 ± 1.03$^{ns}$ | 4.60 ± 0.96$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |

Average ± standard deviation with different letters in each column of each quality is significantly different ($P < 0.05$); ns means are not significantly different at $P = 0.05$

Table 2. Qualities of Yi Liang duck Nam Prik Ong packed in retort pouch during storage at 55 °C

| Shelf life (days) | Product qualities | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | pH value | | | Sensory evaluation | | | Total plate count (CFU/gram) | | |
| | 5 min | 10 min | 15 min | 5 min | 10 min | 15 min | 5 min | 10 min | 15 min |
| 0 | 5.21 ± 0.14$^{ns}$ | 5.31 ± 0.13$^{ns}$ | 5.29 ± 0.26$^{ns}$ | 7.03 ± 0.67$^{ns}$ | 6.70 ± 1.06$^{ns}$ | 7.20 ± 0.91$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 7 | 5.19 ± 0.02$^{a}$ | 5.34 ± 0.04$^{b}$ | 5.24 ± 0.01$^{a}$ | 6.90 ± 0.87$^{ns}$ | 6.90 ± 0.74$^{ns}$ | 6.70 ± 1.16$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 14 | 5.16 ± 0.03$^{a}$ | 5.22 ± 0.01$^{b}$ | 5.18 ± 0.03$^{ab}$ | 6.80 ± 0.84$^{ns}$ | 6.70 ± 0.74$^{ns}$ | 6.60 ± 0.67$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 21 | 5.21± 0.02$^{ab}$ | 5.17 ± 0.02$^{a}$ | 5.22 ± 0.03$^{b}$ | 6.70 ± 0.88$^{ns}$ | 6.70 ± 0.68$^{ns}$ | 6.60 ± 1.16$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 28 | 4.89 ± 0.04$^{ns}$ | 5.97 ± 0.02$^{ns}$ | 4.91 ± 0.07$^{ns}$ | 6.60 ± 1.07$^{ns}$ | 6.60 ± 0.84$^{ns}$ | 6.60 ± 0.97$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 35 | 4.96 ± 0.06$^{a}$ | 5.05 ± 0.01$^{b}$ | 4.93 ± 0.03$^{a}$ | 6.50 ± 0.85$^{ns}$ | 6.50 ± 0.97$^{ns}$ | 6.50 ± 0.97$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 42 | 4.84 ± 0.02$^{ns}$ | 4.84 ± 0.02$^{ns}$ | 4.88 ± 0.08$^{ns}$ | 6.40 ± 1.07$^{ns}$ | 6.20 ± 1.03$^{ns}$ | 6.10 ± 0.99$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 49 | 4.82 ± 0.01$^{ns}$ | 4.83 ± 0.01$^{ns}$ | 4.81 ± 0.02$^{ns}$ | 3.40 ± 1.50$^{ns}$ | 3.70 ± 1.95$^{ns}$ | 4.30 ± 1.77$^{ns}$ | < 100 | < 100 | < 100 |
| 56 | 4.65 ± 0.05$^{ns}$ | 4.67 ± 0.03$^{ns}$ | 4.60 ± 0.02$^{ns}$ | ND | ND | ND | < 100 | < 100 | < 100 |

Average ± standard deviation with different letters in each column of each quality is significantly different ($P < 0.05$); ns means is not significantly different at $P = 0.05$; ND means is not determined

**คุณภาพทางชีวภาพ**

ผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทที่ผ่านการฆ่าเชื้อในทุกกรรมวิธีและเก็บรักษาไว้ทั้ง 2 อุณหภูมิ ไม่พบจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม (Table 1 และ 2) ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของ Ministry of Public Health (2013) กำหนดให้อาหารในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่มีความเป็นกรดต่ำมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115 °C ในทุกเวลาสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่จะสามารถเจริญในภาชนะปิดสนิทได้

จากการวิเคราะห์คุณภาพทั้ง 3 ด้าน ผู้วิจัยเลือก คุณภาพทางประสาทสัมผัส เป็นดัชนีชี้วัดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ท เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นผลิตภัณฑ์น้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 °C มีอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์จากการยอมรับของผู้ทดสอบสิ้นสุดในวันที่ 49 และ ที่อุณหภูมิ 45 °C ผู้ทดสอบให้การยอมรับสิ้นสุดในวันที่ 56 เมื่อนำระยะเวลาที่ได้จากทั้ง 2 อุณหภูมิ มาทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4 °C (แช่เย็น) และ 30 °C (อุณหภูมิห้อง) พบว่า สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้เป็นเวลา 84 วัน (ประมาณ 3 เดือน) และ 65 วัน (ประมาณ 2 เดือน) ตามลำดับ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Lapchutiporn *et al*. (2008) ที่รายงานว่า อายุการเก็บรักษาของน้ำพริกน้ำเงี้ยวโดยวิธีเร่งอุณหภูมิที่ 45 และ 55 °C ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ได้เป็นเวลา 8 และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ โดยสามารถทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 30 °C ได้ 154 วัน (5 เดือน) และที่อุณหภูมิ 4 °C ได้ 897 วัน (2 ปี 5 เดือน) นอกจากนี้ Samdaeng *et al*. (2015) ได้รายงานว่า ผลิตภัณฑ์คั่วกลิ้งและน้ำพริกเห็ดแครงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น สามารถเก็บรักษาได้น้อยกว่า 1 และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ

## สรุป

น้ำพริกอ่องเป็ดอี้เหลียงบรรจุถุงรีทอร์ทที่ฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิ 115 °C เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที มีค่า $F_0$ เท่ากับ 4 นาที, 8 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงเวลาเป็นนาทีเทียบเท่าการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิอ้างอิง 121.1 °C โดยมีสปอร์ของเชื้อ *C. botulinum* เป็นเชื้อเป้าหมาย เป็นไปตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุขที่กำหนดให้อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่มีความเป็นกรดต่ำต้องผ่านการฆ่าเชื้อที่ $F_0$ ไม่ต่ำกว่า 3 นาที โดยมีอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4 และ 30 °C เท่ากับ 84 วัน (ประมาณ 3 เดือน) และ 65 วัน (ประมาณ 2 เดือน) ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อในทั้ง 3 ระยะเวลา มีคุณภาพทางประสาทสัมผัส เคมี และชีวภาพ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

## เอกสารอ้างอิง

Apirattananusorn, S. and K. Chinabhark. 2013. Development of packages for ready-to-eat chili paste products. KMUTT Research and Development Journal 36(4): 451-464. (in Thai)

ASTM International. 2005. Standard Guide for Sensory Evaluation Methods to Determine the Sensory Shelf Life of Consumer Products. ASTM E2454-05. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Chankiatkong, S. 1992. No canned food. DIProm Journal 3: 33-41. (in Thai)

Holdsworth, S.D. and R. Simpson. 2016. Thermal Processing of Packaged Foods. 3rd ed. Springer, Cham. 516 p.

Krusong, W. 1996. Food preservation and processing. pp. 91-113. *In*: Food Preservation and Processing. Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi.

Lapchutiporn, J., P. Tuitemwong, K. Tuitemwong and J. Kunkriangvong. 2008. Accelerated shelf life testing of a "Namkneaw" chilli paste. pp. 301-309. *In*: Proceedings of 46th Kasetsart University Annual Conference: Science. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Maturin. L. and J.T. Peeler. 2001. Chapter 3: Aerobic plate count. *In*: FDA Bacteriological Analytical Manual. AOAC International, Gaithersburg, MD.

Ministry of Public Health. 2013. Food in a hermetically sealed container. Notification of Ministry of Publish Health (No. 335) B.E. 2556. Ministry of Public Health, Bangkok. (in Thai)

Mizrahi, S. 2004. Accelerating shelf life tests. pp. 317-339. *In*: P. Steels (ed.). Understanding and Measuring the Shelf-life of Food. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

Parnsakhorn, S., J. Langkapin, P. Pansri and T. Chaiyadam. 2020. Effect of sterilization process on physicochemical properties of lotus leaf wrapped rice in retort pouch product. Journal of Applied Research on Science and Technology 19(1): 1-15. (in Thai)

Phromphichai, R. 1999. Nam Prik Ong. pp. 3258-3259. *In*: Thailand Cultural Encyclopedia: North. Thailand Culture Encyclopedia Foundation Bangkok. (in Thai)

Ruangchai, S. and S. Tantakasem. 2011. Storage quality of tamarind/roselle chili paste. University of the Thai Chamber of Commerce Journal: Humanities and Social Sciences 31(2): 89-98. (in Thai)

Rungsardthong, V. 2000. Food Processing Technology. King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok: 500 p. (in Thai)

Samdaeng, W., T., Maireng, B. Pimpa and S. Lekjing. 2015. Study on shelf life of common split gill mushroom (*Schizophyllum commune*) roast curry and chili paste products. Burapha Science Journal 20(2): 33-47. (in Thai)

Sawardsuk, P. 2016. Effect of heating time on physical properties of Thai style stewed mackerel in salty soup packed in retort pouch. Khon Kaen Agriculture Journal 44(2): 257-264. (in Thai)

Sothornvit, R. 2007. Introduction to Food Chemistry and Microbiology. Kasetsart University Press, Bangkok. 231 p. (in Thai)

Tasaudom, U., W. Srapinkaraburi and S. Nipronrum. 2009. The production improvement for shelf-life extension of chili paste products. Naresuan University Journal: Science and Technology 17(2): 136-144. (in Thai)

Tiensanguankul, J. and P. Limpatanachot. 2000. Computer interface technique assisting in $F_0$ determination program for canned food. B.S. Food Engineering Project. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Topaiboul, S., P. Aue-anggoon, J. Kongrueng, P. Klomklom, A. Inpramoon and N. Saikaew. 2018. Effect of impaction on bruise of “Xichu (P2)” Persimmons. Journal of Agricultural Research and Extension 35(2): 24-33. (in Thai)

Tung, M.A., I.J. Britt and S. Yada. 2001. Packaging Considerations. pp. 129-145. In: N.A.M. Eskin and D.S. Robinson (eds.). Food Shelf Life Stability: Chemical, Biochemical, and Microbiological Changes. CRC Press, Boca Ration.

Wasantiwong, K., K. Surarakdisai and S. Boonjakoon. 2010. Effect of lethalities of the thermal process ($F_0$) levels on canned Num Phrik Kapi. Journal of Food Health and Bioenvironmental Science 3(1): 75-85. (in Thai)

# 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).

(ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลปีที่ตีพิมพ์ ให้ระบุเป็นปีที่เข้าไปสืบค้นข้อมูล)

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

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

**การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์**

โปรดตรวจสอบบทความต้นฉบับให้เป็นไปตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ 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

**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

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

# JOURNAL OF AGRICULTURE

A Technical Journal of Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

## Volume 38, Issue 1 January - April 2022





ISSN 0857-0841