



วารสารเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURE

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 35 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2562

ผลของสารประกอบแคลเซียมและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อคุณภาพผลสตรอว์เบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80	
ชิตาพร ผิวแดง และ ดรุณี นามพรหม.....	183
โครงสร้างประชากรและความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูงในจังหวัดเชียงราย	
ธัญญา วิริยา คันสนีย์ จำจาด และ ต่อนภา ผุสดี.....	193
ผลของฤดูกาลต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดดาวอินคา	
กนกวรรณ ละอองสูง สุภาภรณ์ ญะเมืองมอญ สุชาดา จำรัส จีราภรณ์ วีระดิษฐกิจ และ ชนาภานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย.....	205
อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระเทียมในอำเภอขุนยวม จังหวัดแม่ฮ่องสอน	
อนุสรฯ อินน้อย เกวลิน คุณาศักดากุล และ ชูชาติ สันธทรัพย์.....	215
การละลายฟอสเฟตและกลไกลดความเป็นพิษของแบคทีเรียต้านทานอาร์ซินิก	
ยุพา จอมแก้ว และ อรวรรณ ฉัตรสีรุ่ง.....	227
ลักษณะดินที่เกิดจากหินปูนระหว่างพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ในลุ่มน้ำแม่ดาว อำเภอแม่สลด จังหวัดตาก	
เบญจพร พรมเสนวงศ์ สุนทร คำยอง นิวัติ อนงค์รักษ์ และ พันธุ์พล หัตถโกศล.....	239
การใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดโพธิ์อินิกเพื่อการควบคุมด้วงซีโก้ <i>Alphitobius diaperinus</i> (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae)	
รัตนภรณ์ หมายหมั่น เยาวลักษณ์ จันทน์บาง ไสว บุรณพานิชพันธุ์ และ วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ.....	253
ชีววิทยาของไร <i>Tyrophagus pacificus</i> Fan & Zhang (Acar: Acaridae) ที่เข้าทำลายเห็ดถั่งเช่าสีทอง	
ยุพาพร อุณหนันท์ จีราพร กุลสาริน ไสว บุรณพานิชพันธุ์ และ พลอยชมพู กรวิภาสเรือง.....	263
ศักยภาพทางชีวภาพและตารางชีวิตของด้วงเต่าสีส้มเมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียว	
ฉัตรชัย พรโสภณ วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ ปาณิสรา เทพกุล ไสว บุรณพานิชพันธุ์ และ จีราพร กุลสาริน.....	271
ประสิทธิภาพของคาร์บาริล ฟิโพรนิล และไซเพอร์เมทรินต่อกิ่งก๊อตะเข็บสามสี <i>Antheromorpha uncinata</i> Jeekel	
ณัฐดนัย ลิขิตตระการ จักรพงษ์ สุภาภรณ์ วงศ์พันธ์ พรหมวงศ์ ฉัตรสุดา เมื่อกใจแผ้ว จีราภรณ์ คำปลิว	
พิสิษฐ์ พูลประเสริฐ ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์ และ วรุฒ ศิริวุฒิ.....	283
พลวัตประชากรและการควบคุมมอดข้าวเปลือกในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าว	
นภัส ยิ้มกรุง วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ ปาณิสรา เทพกุล ไสว บุรณพานิชพันธุ์ และ เยาวลักษณ์ จันทน์บาง.....	295
ผลของการใช้สารเคลือบบางชนิดกับดักด้วใหม่ต่อการพัฒนาการและคุณภาพของเห็ดถั่งเช่าสีทอง <i>Cordyceps militaris</i> (L.) Link	
กิตติมา จินจรรยา จีราพร กุลสาริน ธัญญา ทะพังค์แก และ ไสว บุรณพานิชพันธุ์.....	303
การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ	
โชติรัตน์ ศรีเกลื่อน ปนัดดา จะแจ้ง ชัยสิทธิ์ ทองจุ จำเนียร ชมภู และ วณิดา สืบสายพรหม.....	311
ผลของการใช้เนื้อในเมล็ดมะขามป่นในอาหารต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการให้อาหารในปลานิลแดง	
นารัตน์ สิงห์โต มหัทธนี ภิญญ และ อนุรักษ์ เขียวจระเขด.....	321
ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในสวัสดิการของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย	
อารุณี ลอยมา จุฑาทิพย์ เฉลิมผล รุจ ศิริสัญลักษณ์ และ ผยรัตน์ ภาสน์พิพัฒน์กุล.....	333

ISSN 0857-0841

TCI กลุ่มที่ 1

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

เรื่องที่ตีพิมพ์

1. เป็นบทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการทางด้านเกษตรศาสตร์และสาขาที่เกี่ยวข้อง
 2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด
- 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 ความยาวต้นฉบับไม่เกิน 10 หน้า
 - 2) ชื่อเรื่องให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 18 points พิมพ์ตัวหนา (bold) และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ 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 สรุปเอกสารอ้างอิง ให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 16 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
 - 8) หัวข้อย่อย ให้พิมพ์ตัวหนาและจัดชิดซ้าย
 - 9) คำอธิบายตารางและภาพให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 points พิมพ์ตัวหนา โดยคำอธิบายตารางให้พิมพ์เหนือตารางและจัดชิดซ้าย ส่วนคำอธิบายภาพให้พิมพ์ใต้ภาพและจัดกึ่งกลางหน้า และคำอธิบายตารางและภาพถ้ามีมากกว่าหนึ่งบรรทัดให้เริ่มต้นพิมพ์บรรทัดถัดมาตรงกับข้อความของบรรทัดแรก
 - 10) หากมีชื่อวิทยาศาสตร์ปรากฏในบทความ ให้เขียนตามหลักเกณฑ์การเขียนชื่อวิทยาศาสตร์ในครั้งแรกที่ปรากฏขึ้นให้สะกดเต็ม เช่น *Meloidogyne incognita* และหลังจากนั้นถ้ามีการระบุชื่อนี้บ่อยครั้งให้ย่อชื่อสกุล โดยเขียนเป็น *M. incognita*
 - 11) คำว่า *et al.* และ *P* (*P*-value) ให้พิมพ์เอน

ข้อแนะนำการใช้ภาษา

- 1) ใช้คำศัพท์ตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน และประกาศของราชบัณฑิตยสถาน
- 2) การเขียนชื่อเฉพาะหรือคำแปลจากภาษาต่างประเทศ ควรพิมพ์ภาษาเดิมของชื่อนั้นๆ ไว้ในวงเล็บในครั้งแรกที่ปรากฏในบทความ โดยพิมพ์เป็นอักษรตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะให้พิมพ์เฉพาะอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่
- 3) ไม่ควรใช้ภาษาต่างประเทศถ้ามีภาษาไทยใช้อยู่แล้ว
- 4) รักษาความสม่ำเสมอในการใช้คำ คำศัพท์ และตัวย่อ โดยตลอดทั้งบทความ

การเรียงลำดับหัวข้อ ให้เรียงตามลำดับดังนี้

1. **ชื่อเรื่อง (Title)** ควรสั้น ชัดเจน และต้องสื่อเป้าหมายหลักของการศึกษาวิจัย มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ต้นฉบับที่เป็นภาษาไทยให้พิมพ์ชื่อเรื่องที่เป็นภาษาไทยก่อน แล้วตามด้วยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดมา หากต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ ให้พิมพ์ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษก่อนแล้วตามด้วยภาษาไทย

2. **ชื่อผู้เขียน** ให้ใช้ชื่อเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หากผู้เขียนมีหลายคนและมีที่อยู่หรือสังกัดแตกต่างกัน ให้ใช้เลขด้วย (superscript) ที่ต่างกัน กำกับไว้ท้ายนามสกุลของผู้เขียนที่มีที่อยู่ต่างกันนั้น หากมีผู้เขียนคนเดียว หรือหลายคนที่มีที่อยู่เดียวกัน ไม่ต้องใช้เลขด้วยกำกับท้ายนามสกุลของผู้เขียน นอกจากนี้ ให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับไว้ท้ายนามสกุลของผู้เขียนที่ให้ติดต่อ (corresponding author) ด้วย

3. **ที่อยู่ หรือสังกัด** ให้ระบุเฉพาะที่อยู่หรือสังกัดของผู้เขียนเท่านั้น มีทั้งที่เป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษหากที่อยู่มีหลายแห่ง ให้พิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่แห่งแรกก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ จากนั้นพิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่แห่งที่สองแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ สลับกัน ในลักษณะนี้เรื่อยไปหากมีมากกว่าสองแห่ง ในกรณีผู้เขียนเป็นนักศึกษา ให้ระบุที่อยู่ตามที่อยู่หรือสังกัดของอาจารย์ที่ปรึกษาเท่านั้น นอกจากนี้ บรรทัดถัดจากที่อยู่ ให้พิมพ์ที่อยู่อีเมล (email address) ของผู้เขียนที่ให้ติดต่อ (corresponding author) ด้วย

4. **บทคัดย่อ (Abstract)** ควรเป็นเนื้อหาที่สั้น ชัดเจนและเข้าใจง่าย โดยรวมเหตุผลในการศึกษาวิจัย อุปกรณ์ วิธีการ ตลอดจนผลการศึกษาและสรุปด้วย ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่ควรเกิน 250 คำ และให้ระบุคำสำคัญ (keywords) ไว้ท้ายบทคัดย่อแต่ละภาษาด้วย คำสำคัญไม่ควรเกิน 5 คำ ต้นฉบับที่เป็นภาษาไทยให้พิมพ์บทคัดย่อภาษาอังกฤษก่อนบทคัดย่อภาษาไทย หากต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ ให้พิมพ์บทคัดย่อภาษาไทยก่อนบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

5. เนื้อหา (Text) ประกอบด้วย

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

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

5.3 **ผลการทดลองและวิจารณ์ หรือ ผลการศึกษาและวิจารณ์ (Results and Discussion)** ให้นิยายผลการศึกษาวิจัย พร้อมเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางหรือภาพประกอบได้ โดยตารางหรือภาพรวมทั้งคำอธิบายให้จัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ถ้ามีตารางหรือภาพในบทความให้อ้างตารางหรือภาพนั้นในเนื้อหาด้วย สำหรับบทวิจารณ์ ควรเชื่อมโยงกับผลการศึกษาว่าสอดคล้องกับสมมุติฐาน หรือแตกต่างจากผลงานวิจัยที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่อย่างไรและด้วยเหตุใด โดยมีพื้นฐานการอ้างอิงที่เชื่อถือได้

5.4 **สรุป (Conclusion)** เป็นการสรุปผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย อาจมีข้อเสนอแนะหรือระบุอุปสรรคและแผนงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป

5.5 **กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)** อาจมีหรือไม่ก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ช่วยเหลือในงานวิจัย แต่ไม่ได้เป็นผู้ร่วมงานวิจัย

5.6 เอกสารอ้างอิง (References) ให้เรียงเอกสารตามตัวอักษร

หลักการอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง

เนื่องจากวารสารเกษตรกำลังปรับเข้าสู่ฐานข้อมูล ACI (ASEAN Citation Index) ข้อกำหนดประการหนึ่งก็คือ เอกสารอ้างอิง (reference) ต้องจัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ถ้าเป็นภาษาอื่น เช่น ภาษาไทย ต้องแปลเป็นภาษาอังกฤษ แล้ววงเล็บท้ายข้อความว่า in Thai เป็นต้น หลักการอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง มีดังนี้

1. **การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง** ไม่ควรอ้างอิงถึงเรื่องที่ไม่เกี่ยวข้อง ระบบที่ใช้ข้างขึ้นคือ ระบบชื่อและปี (Name-and-year System) ให้ใช้ชื่อสกุลและปี ค.ศ. เช่น Kubo (2003)....หรือ....(Kubo, 2003) ถ้าผู้เขียนมี 2 คน ให้ใช้ เป็น Muthita and Kuanprasert (2004)หรือ....(Muthita and Kuanprasert, 2004) หากมีมากกว่า 3 คน ให้ใช้ เป็น Bukhari *et al.* (2011)....หรือ....(Bukhari *et al.*, 2015) สำหรับในบัญชีเอกสารอ้างอิง ให้ระบุชื่อผู้เขียนทุกคนห้ามใช้คำว่า และคณะ หรือ *et al.*

(ดูคำแนะนำการเขียนเอกสารอ้างอิง การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ และการพิจารณาบทความได้ที่ปกหลังด้านใน)

วารสารเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURE

ผู้จัดพิมพ์	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Publisher	Faculty of Agriculture, Chiang Mai University
กำหนดการพิมพ์	วารสารราย 4 เดือน (3 ฉบับ/ปี) คือ ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม	Publication	Tri-annually Issue 1 January-April Issue 2 May-August Issue 3 September-December
วัตถุประสงค์	เพื่อเผยแพร่วิทยาการด้านการเกษตร และสาขาที่เกี่ยวข้อง	Objective	To disseminate academic knowledge in agriculture and related fields
ที่ปรึกษา	คณบดีคณะเกษตรศาสตร์ รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ ศ. เขียวชาญพิเศษ ดร. สันชัย จตุรสิทธิ์	Consultants	Dean, Faculty of Agriculture; Associate Dean for Research and Academic Services Sanchai Jaturasitha, Dr.sc.agr., Prof.
บรรณาธิการ	ศ.ดร. ดนัย บุญเกียรติ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editor	Danai Boonyakiat, Ph.D., Prof. Chiang Mai University
รองบรรณาธิการ	รศ.ดร. ไสว บุรณพานิชพันธุ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Vice Editor	Sawai Buranapanichpan, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
กองบรรณาธิการ ฝ่ายวิชาการ	รศ.ดร. เกวลิน คุณาศักดากุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รศ.ดร. สุนทร คำยอง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รศ.ดร. รุจ ศิริสัญลักษณ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รศ.ดร. ชนกานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. สุรินทร์ นิลสำราญจิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. เยาวลักษณ์ จันทร์บาง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. ฉันทลักษณ์ ติยายน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. จิรวรรณ กิจชัยเจริญ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร. เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.ดร. ชูชาติ สันทรทรัพย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editorial Board (Academic)	Kaewalin Kunasakdakul, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University Soontorn Khamyong, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University Ruth Sirisunyaluck, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University Chanakan Prom-u-thai, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University Surin Nilsamranchit, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Yaowaluk Chanbang, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Chantalak Tiyyayon, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Jirawan Kitchaicharoen, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Saowaluck Yammuen-art, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Choochad Santasup, Ph.D. Chiang Mai University

ผศ.ดร. สรณะ สมโน
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 ศ.ดร. จรัญ จันทลักขณา
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 ศ. ญาณวิทย์ ดร. เมธาวรรณพัฒน์
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 ศ.ดร. อังศุมาลย์ จันทรวาปัติย์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 ศ.ดร. สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 ศ.ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์
 สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
 รศ.ดร. เสวียน เปรมประสิทธิ์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 รศ.ดร. วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 รศ.ดร. เพชรรัตน์ ธรรมเบญจพล
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 รศ. บำเพ็ญ เขียวหวาน
 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
 รศ.ดร. เกียรติศักดิ์ เม่งอำพัน
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 ผศ.ดร. ปฎิภาณ สุทธิกุลบุตร
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 ผศ.ดร. เพ็ญพร เจนการกิจ
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 ผศ.ดร. ไชยวรรณ วัฒนจันทร์
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 ผศ.ดร. เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 กองบรรณาธิการ
 ฝ่ายการจัดการ
 นางลาลิตยา นุ่มมีศรี
 นางสาวอรนิชาณ์ ปารมี
 นายมานพ เปี้ยพรรณ

Sarana Sommano, Ph.D., Assist. Prof.
 Chiang Mai University
 Charan Chantalakhana, Ph.D., Prof.
 Kasetsart University
 Metha Wanapat, Ph.D., Prof.
 Khon Kaen University
 Angsumarn Chandrapatya, Ph.D., Prof.
 Kasetsart University
 Suchila Techawongstien, D.agr., Prof.
 Khon Kaen University
 Tawadchai Suppadit, Ph.D., Prof.
 National Institute of Development Administration
 Savent Pampasit, Ph.D., Assoc. Prof.
 Naresuan University
 Weerathep Pongprasert, Ph.D., Assoc. Prof.
 Naresuan University
 Petcharat Thummabenjapone, Ph.D., Assoc Prof.
 Khon Kaen University
 Bumpen Keowan, M.S., Assoc. Prof.
 Sukhothai Thammathirat Open University
 Kriangsak Mengumphan, Ph.D., Assoc. Prof.
 Maejo University
 Pathipan Sutigoolabud, Ph.D., Assist. Prof.
 Maejo University
 Penporn Janekarnkij, Ph.D., Assist. Prof.
 Kasetsart University
 Chaiyawan Wattanachant, Ph.D., Assist. Prof.
 Prince of Songkla University
 Saowakon Wattanachant, Ph.D., Assist. Prof.
 Prince of Songkla University
 Editorial Board
 (Management)
 Lalitaya Nummisri
 Onnichia Paramee
 Manop Pearpun

บทบรรณาธิการ

สวัสดีครับท่านผู้อ่านวารสารเกษตร ของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วารสารเกษตรฉบับนี้เป็นฉบับที่ 2 ของปีที่ 35 ในฉบับนี้มีบทความวิจัยจากนักวิจัยทั้งหมด 15 เรื่อง ซึ่งประกอบด้วยบทความวิจัยจากสาขาวิชาพืชสวน พืชไร่ ปฐพีศาสตร์ ภูมิวิทยา สัตวศาสตร์ และส่งเสริมการเกษตร ปัจจุบันวารสารเกษตรได้เข้าสู่ฐานข้อมูลในระบบ ThaiJO แล้ว (<https://www.tci-thaijo.org/index.php/joacmu/index>) นอกจากนี้มีข้อกำหนดที่เปลี่ยนแปลงไป คือ การปรับการเขียนอ้างอิงที่เป็นภาษาไทย ต้องปรับเป็นภาษาอังกฤษแล้ววงเล็บ in Thai ทำย่ยข้อความ เพื่อการเตรียมความพร้อมในการก้าวสู่ฐานข้อมูล ACI (ASEAN Citayion Index) โดยเริ่มตั้งแต่ฉบับหน้าเป็นต้นไป

วารสารเกษตร ขอขอบพระคุณนักวิชาการและนักวิจัยทางการเกษตรทุกท่านที่ให้ความไว้วางใจตีพิมพ์ผลงาน และสนใจติดตามผลงานวิจัยในวารสารมาโดยตลอด หากท่านมีข้อเสนอแนะที่จะทำให้วารสารเกษตรมีความน่าสนใจยิ่งขึ้น ท่านสามารถเสนอแนะได้ที่ E-mail: agjournal22@gmail.com พบกันใหม่ในฉบับหน้าครับ

ศาสตราจารย์ ดร. ดนัย บุญยเกียรติ

บรรณาธิการวารสารเกษตร

ผลของสารประกอบแคลเซียมและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ต่อคุณภาพผลสตรอว์เบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80

Effects of Calcium Compounds and Plant Growth Regulators on Fruit Qualities of Strawberry cv. Praratchatan 80

ชิตาพร ผิวแดง และ ดรุณี นภาพรม^{*}
Chitaphorn Peawdang and Daruni Naphrom^{*}

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: daruni.n@cmu.ac.th

(Received: 6 July 2018; Accepted: 5 November 2018)

Abstract: Study on the effects of calcium compounds and plant growth regulators on the fruit quality of strawberry cv. Praratchatan 80 was carried out at farmer's farm in Mae Sa Mai village, Mae Rim district, Chiang Mai province. The experiment was designed based on factorial in randomized complete block design (3x3x3) + 1. Factor A was 3 stages of flower development; after full bloom, 14 days after full bloom and 21 day after full bloom, factor B was 3 types of calcium compounds; CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, and Ca^{2+} chelated which sprayed at 200 mg/L and factor C was 3 types of plant growth regulators; 50 mg/L GA_3 , 10 mg/L CPPU and 50 mg/L NAA. The spraying treatments were compared to water spraying (control). The results revealed that spraying Ca^{2+} chelated combined with NAA at 21 days after full bloom gave bigger fruit size and higher fruit weight than control significantly and tended to has fruit size and fruit weight higher than other spraying treatments, while the spraying at full bloom stage showed that spraying all calcium compounds combined with CPPU and NAA gave higher TSS than control significantly and tended to has higher TSS than other spraying treatments. In addition, the spraying of Ca^{2+} chelated combined with 3 types of plant growth regulators enhanced fruit firmness. Furthermore, spraying CaCl_2 and Ca^{2+} chelated combined with NAA could prolong shelf-life of strawberry fruit as compared to control.

Keywords: Ca^{2+} chelated, CaCl_2 , CaNO_3 , NAA, CPPU, GA_3

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของสารประกอบแคลเซียมร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อคุณภาพผลของสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 ทำการทดลอง ณ แปลงสตรอว์เบอร์รีของเกษตรกร หมู่บ้านแม่สาใหม่ อ.แมริม จ.เชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบ Factorial ($3 \times 3 \times 3$) + 1 in RCBD ปัจจัยแรกคือ ระยะการพ่นสาร 3 ระยะ ได้แก่ 1) ระยะหลังดอกบานเต็มที่ 2) ระยะ 14 วันหลังดอกบานเต็มที่ และ 3) ระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ ปัจจัยที่ 2 คือ ชนิดสารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด ได้แก่ 1) CaCl_2 , 2) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ และ 3) Ca^{2+} chelated ความเข้มข้น 200 มก./ล. ปัจจัยที่ 3 คือ ชนิดสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช 3 ชนิด ได้แก่ 1) GA_3 50 มก./ล., 2) CPPU 10 มก./ล. และ 3) NAA 50 มก./ล. เปรียบเทียบกับการพ่นน้ำกลั่น ผลการทดลองพบว่า การพ่น Ca^{2+} chelated ร่วมกับ NAA ที่ระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ ให้น้ำหนักและขนาดของผลมากกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มของน้ำหนักผล และขนาดผลมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ในขณะที่การพ่นสารในระยะดอกบานเต็มที่พบว่าการพ่นสารประกอบแคลเซียมทุกชนิดร่วมกับ CPPU และ NAA ทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) มากกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มให้ค่า TSS มากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ และการพ่น Ca^{2+} chelated ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 3 ชนิด สามารถเพิ่มความแน่นเนื้อได้ นอกจากนี้การพ่น CaCl_2 และ Ca^{2+} chelated ร่วมกับ NAA สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลสตรอว์เบอร์รีได้เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม

คำสำคัญ: แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมไนเตรท เอ็นเอเอ ซีพีฟิยู จิบเบอเรลลิน ออกซิน

คำนำ

สตรอว์เบอร์รี (*Fragaria × ananassa* Duch.) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีการปลูกกระจายกันมากที่สุด ในเขตประเทศที่มีภูมิอากาศหนาวเย็น เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และประเทศในทวีปยุโรป สำหรับประเทศไทยสตรอว์เบอร์รีจัดได้ว่าเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งมีพื้นที่ปลูกมากในภาคเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2558 มีพื้นที่ปลูกสตรอว์เบอร์รีถึง 6,537 ไร่ โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 2,129 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559) สตรอว์เบอร์รีที่นิยมปลูกเป็นพันธุ์พระราชทาน 80 ซึ่งได้รับการพัฒนาปรับปรุงพันธุ์โดยมูลนิธิโครงการหลวงจัดเป็นสตรอว์เบอร์รีประเภทวันสั้น (short day type) มีความต้องการความหนาวเย็นปานกลาง (ประมาณ 15-18 องศาเซลเซียส) ในการกระตุ้นการสร้างตาดอก ให้ผลผลิตต่อต้นสูง มีกลิ่นหอม และสามารถทนต่อโรคแอนแทรกโนสและราแป้ง (ณรงค์ชัย และคณะ, 2551) อย่างไรก็ตามสตรอว์เบอร์รีเป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น เนื่องจากมีลักษณะนิ่ม ผิวบาง ง่ายต่อการเกิดความเสียหายทั้งในขณะเก็บเกี่ยว และในระหว่าง

การขนส่ง การที่มีลักษณะที่นิ่มนั้น เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของเพกตินที่อยู่ในผนังเซลล์ ซึ่งเพกตินเป็นองค์ประกอบสำคัญที่เชื่อมกับแคลเซียมอยู่ในส่วนของมิดเดิลลามลลา (middle lamella) ทำหน้าที่เชื่อมเซลล์ให้ติดกันส่งผลให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรง (दनัย, 2540) มีการรายงานว่าการใช้แคลเซียมสามารถเพิ่มคุณภาพผลและความแน่นเนื้อของผลได้ และยังสามารถลดการเข้าทำลายของเชื้อรา ซึ่งการฉีดพ่นแคลเซียมเป็นวิธีการที่นิยมอย่างแพร่หลายในสตรอว์เบอร์รี (Singh *et al.*, 2007) และผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล (Kadir, 2004) และมะละกอ (Madani *et al.*, 2014) โดยการใช้แคลเซียมในรูปแบบต่าง ๆ เช่น CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ และ Ca^{2+} chelated เป็นต้น คุณภาพผลของ สตรอว์เบอร์รีสามารถพิจารณาจากขนาดของผล สี และความหวาน ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญต่อการวางจำหน่ายสตรอว์เบอร์รีผลสด ผลสตรอว์เบอร์รีที่มีขนาดเล็กน้ำหนักผลประมาณ 6-8 กรัม เป็นขนาดผลที่ไม่สามารถนำมาวางจำหน่ายได้ ซึ่งพบมากถึง 39.69% (ณรงค์ชัย, 2550) จากหลายงานทดลองพบว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มออกซิน จิบเบอเรลลิน และไทโตโคนินที่ ความเข้มข้นระหว่าง 10-200 มก./ล. มีผลส่งเสริมการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ในพืช

หลายชนิดจึงนำมาใช้เพิ่มขนาดของผลไม้ชนิดต่าง ๆ เช่น ในการพ่น NAA 200 ppm และ CPPU 40 ppm กับผล แก้วมังกรระยะ 10 วันหลัง ดอกบาน ทำให้ผลมีขนาดใหญ่กว่าชุดควบคุม (ธนากร และคณะ, 2559) ในการพ่น CPPU 10 ppm กับผลกีวี่ระยะ 2 สัปดาห์หลังติดผล ให้ความยาวและน้ำหนักของผลที่ดีกว่าการให้ในปริมาณ 2.5, 5.0, 7.5, 12.5 และ 15.0 ppm (Kumar and Thakur, 2013) และในการพ่น GA₃ ที่ความเข้มข้น 15, 20 และ 25 ppm กับผลเชอรี่ที่ระยะผลสีเหลือง พบว่าให้ขนาดของผลที่ใหญ่กว่ากรรมวิธีควบคุม (Canli and Orhan, 2009)

ดังนั้นการทดลองนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของสารประกอบแคลเซียมและสารควบคุมการเจริญเติบโตในระยะเวลาพัฒนาของดอกในระยะต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพผล และยืดอายุการเก็บรักษาของสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80

อุปกรณ์และวิธีการ

คัดเลือกต้นสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 ที่มีความสมบูรณ์ ซึ่งปลูกที่ระดับความสูง 700 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล ณ แปลงสตรอว์เบอร์รีของเกษตรกรรมบ้านแม่สาใหม่ อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยปลูกต้นใหม่ในช่วงเดือนกันยายน 2559 วางแผนการทดลองแบบ Factorial (3×3)+1 in RCBD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้ต้นสตรอว์เบอร์รีจำนวน 30 ต้น ต่อ 1 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ ระยะการพัฒนารูปของดอกสตรอว์เบอร์รี 3 ระยะ ได้แก่ 1) ระยะดอกบานเต็มที่ (มีอับเรณูเป็นสีน้ำตาล) 2) ระยะ 14 วันหลังดอกบานเต็มที่ (ผลสีเขียวขนาดความกว้าง 11 มม.) และ 3) ระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ (ผลสีขาวยาวขนาดความกว้าง 16 มม.) ปัจจัยที่ 2 คือ ชนิดของสารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด ได้แก่ 1) CaCl₂, 2) Ca(NO₃)₂ และ 3) Ca²⁺ chelated โดยที่สารประกอบแต่ละชนิดมีความเข้มข้นของแคลเซียม 200 มก./ล. ปัจจัยที่ 3 คือ ชนิดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช 3 ชนิด ได้แก่ 1) GA₃ 50 มก./ล. 2) CPPU 10 มก./ล. และ 3) NAA 50 มก./ล. และกรรมวิธีที่พ่นน้ำกลั่น (กรรมวิธีควบคุม)

คัดเลือกต้นสตรอว์เบอร์รีที่ระยะดอกบานเต็มที่ และทำเครื่องหมายครั้งที่หนึ่งในวันที่ 28 ธันวาคม 2559

เพื่อเป็นตัวแทนของดอกระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ ต่อมาในวันที่ 4 มกราคม 2560 เลือกต้นสตรอว์เบอร์รีที่ระยะดอกบานเต็มที่ ทำเครื่องหมายครั้งที่สอง เพื่อเป็นตัวแทนของดอกสตรอว์เบอร์รีในระยะ 14 วันหลังดอกบานเต็มที่ ต่อมาในวันที่ 18 มกราคม 2560 เลือกต้นสตรอว์เบอร์รีที่ระยะดอกบานเต็มที่ ทำเครื่องหมายครั้งที่สาม เพื่อเป็นตัวแทนของดอกสตรอว์เบอร์รีในระยะหลังดอกบานเต็มที่ และในครั้งนี้ทำการพ่นสารละลายตามกรรมวิธีต่าง ๆ กับต้นที่ได้มีการทำเครื่องหมายไว้ทั้งหมด โดยพ่นสารให้ชุ่มทั้งต้นสตรอว์เบอร์รีจำนวน 1 ครั้ง จากนั้นเมื่อผลสตรอว์เบอร์รีมีอายุ 28 วันหลังดอกบานเต็มที่ หรือมีระยะความสุกที่ 50-65% ทำการเก็บเกี่ยวผลสตรอว์เบอร์รีในแต่ละกรรมวิธี เพื่อบันทึกคุณภาพผล ได้แก่ ขนาดผล (ความกว้าง ความยาว และความหนา) น้ำหนักผล ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ (TSS) ปริมาณกรดไทเทรตได้ (TA) ความแน่นเนื้อ วัดด้วยเครื่องวัดความแน่นเนื้อขนาด 1 กก. หัววัดรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. และประเมินอายุการเก็บรักษา โดยพิจารณาจากการเข้าทำลายของเชื้อราหรือการเน่าของผลสตรอว์เบอร์รี ซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส หากผลมีเชื้อราและ/หรือเน่าเสียเพียง 1 ผล ภายในภาชนะบรรจุแสดงว่าหมดอายุการเก็บรักษา ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลผลการทดลอง ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลอง

คุณภาพผล

ผลการทดลองพบว่าทั้ง 3 ปัจจัย (ระยะการเจริญเติบโตของดอก ชนิดของสารประกอบแคลเซียม และ ชนิดของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช) มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันในด้านน้ำหนักผลและขนาดของผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยพบว่าการพ่นสารประกอบแคลเซียมและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชทุกกรรมวิธี ที่ระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ ให้แนวโน้มของ

คุณภาพผลในด้านน้ำหนักผลและขนาดผลมากกว่าการพ่นในระยะดอกบานเต็มที่ และระยะ 14 วันหลังดอกบานเต็มที่ และพบว่า การพ่นสารประกอบแคลเซียมและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชทุกกรรมวิธี ให้น้ำหนักผลมากกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Ca^{2+} chelated ร่วมกับ NAA ที่ระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ ทำให้ผลสตอร์วเบอร์รี่ที่เก็บเกี่ยวในระยะความสุก 50-60% มีน้ำหนักผลเฉลี่ยเท่ากับ 13.17 มก. มากกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีน้ำหนักผลเฉลี่ยเท่ากับ 6 มก. (ภาพที่ 1) และมีปฏิสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับขนาดผล โดยพ่น Ca^{2+} chelated ร่วมกับ NAA ที่ระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ สามารถทำให้ขนาดผลสตอร์วเบอร์รี่เพิ่มขึ้น มีความกว้าง ความยาว และความหนาผล เท่ากับ 26.06, 28.89 และ 28.42 มม. ตามลำดับ มากกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 2)

ด้านการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำคั้นสตอร์วเบอร์รี่ พบปฏิสัมพันธ์ร่วมกันของทั้ง 3 ปัจจัยต่อปริมาณ TSS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า การพ่นสารประกอบแคลเซียมและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ระยะดอกบานเต็มที่ ให้แนวโน้มของปริมาณ TSS ที่มากกว่าการพ่นในระยะ 14 วัน และระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ และพบว่า การพ่นสารประกอบแคลเซียมทุกชนิดร่วมกับ CPPU และ NAA ให้ปริมาณ

TSS มากกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการพ่นสารประกอบแคลเซียมทั้ง 3 รูป ร่วมกับ GA_3 นั้น ให้ปริมาณ TSS ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม (ภาพที่ 3) ในส่วนของปริมาณ TA พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน และทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามกรรมวิธีการพ่น CaCl_2 ร่วมกับ GA_3 และ NAA ที่ระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ มีแนวโน้มให้ปริมาณ TA ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม (ภาพที่ 4)

ในด้านความแน่นเนื้อของผลสตอร์วเบอร์รี่นั้น ทั้ง 3 ปัจจัย มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าการพ่นสารประกอบแคลเซียม และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มให้ความแน่นเนื้อมากกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยแต่ละระยะมีการตอบสนองต่อการพ่นสารแต่ละชนิดแตกต่างกัน กล่าวคือ ในระยะดอกบานเต็มที่ พบว่าการพ่น CaCl_2 ร่วมกับ GA_3 และ NAA การพ่น $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ร่วมกับ GA_3 และการพ่น Ca^{2+} chelated ร่วมกับ GA_3 , CPPU และ NAA เพิ่มความแน่นเนื้อได้ โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ส่วนในการพ่นระยะ 14 วันหลังดอกบานเต็มที่ พบว่าทุกกรรมวิธีสามารถเพิ่มความแน่นเนื้อได้ โดยเฉพาะ Ca^{2+} chelated ร่วมกับ CPPU และ NAA เช่นเดียวกันกับการพ่นในระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ พบว่าทุกกรรมวิธีสามารถเพิ่มความแน่นเนื้อได้ โดยเฉพาะ Ca^{2+} chelated ร่วมกับ NAA มีแนวโน้มให้ความแน่นเนื้อมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ (ภาพที่ 5)

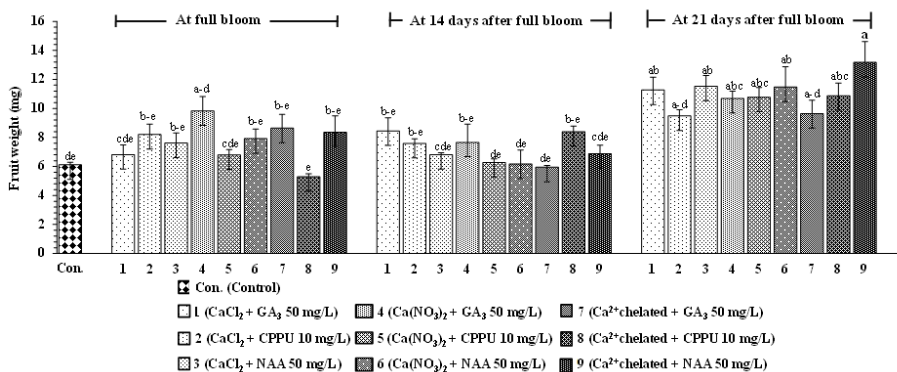


Figure 1. Fruit weight of strawberry at harvesting stage after spraying with calcium compounds and plant growth regulators at different flower development stages

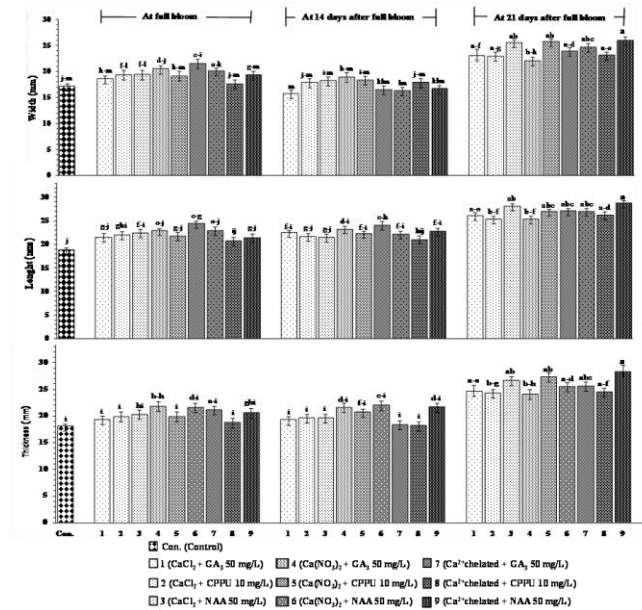


Figure 2. Fruit size (width, length and thickness) of strawberry at harvesting stage after spraying with calcium compounds and plant growth regulators at different flower development stages

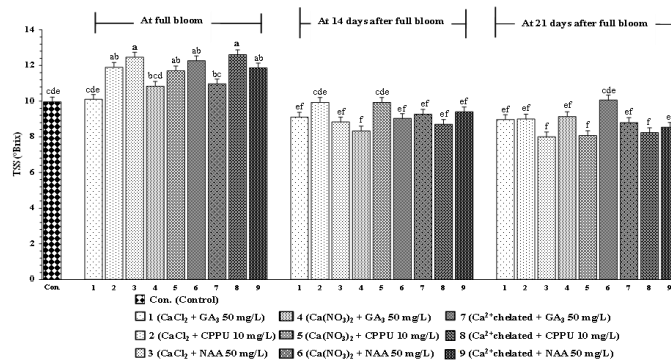


Figure 3. TSS (°Brix) of strawberry fruit at harvesting stage after spraying with calcium compounds and plant growth regulators at different flower development stages

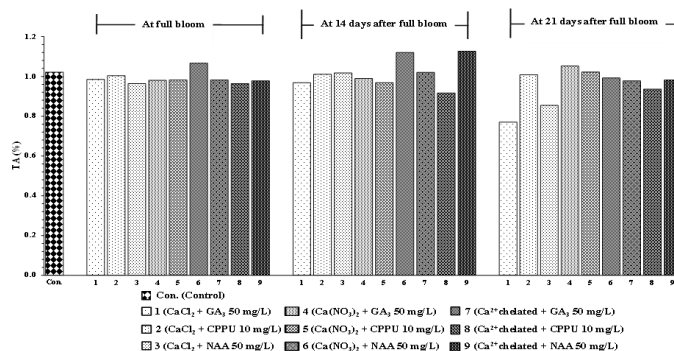


Figure 4. TA (%) of strawberry fruit at harvesting stage after spraying with calcium compounds and plant growth regulators at different flower development stages

อายุการเก็บรักษา

การเก็บรักษาผลสตอร์วเบอร์รี่หลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส ทั้ง 3 ปีวิจัย มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญ พบว่า ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มให้อายุการเก็บรักษาของผลสตอร์วเบอร์รี่มากกว่ากรรมวิธีควบคุม ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ถึง 26 วัน ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมเก็บรักษาได้ 13 วัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพ่น CaCl_2 และ Ca^{2+} chelated ร่วมกับ GA_3 , CPPU และ NAA ที่ระยะดอกบานเต็มที่ การพ่น Ca^{2+} chelated ร่วมกับ CPPU และ NAA ที่ระยะ 14 วันหลังดอกบานเต็มที่ และการพ่น CaCl_2 ร่วมกับ GA_3 และ Ca^{2+} chelated ร่วมกับ NAA ในระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลสตอร์วเบอร์รี่ได้ (ภาพที่ 6)

วิจารณ์

จากการศึกษาผลของสารประกอบแคลเซียมและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ที่พ่นในระยะดอกบานเต็มที่ ระยะ 14 วันหลังดอกบานเต็มที่ และระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ ต่อคุณภาพผลและอายุการเก็บรักษาของผลสตอร์วเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 พบว่าการพ่น Ca^{2+} chelated ร่วมกับ NAA ที่ระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ ทำให้น้ำหนัก และขนาด (ความกว้าง ความยาว และความหนา) ของผล มีแนวโน้มสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ในการศึกษาครั้งนี้การพ่นสารโดยตรงกับผลที่ระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ เป็นช่วงระยะที่เหมาะสมในการเพิ่มน้ำหนักและขนาดผล ซึ่งเป็นระยะที่ผลแห้งเมล็ดล่อน (achene) มีสีเขียว และเนื้อผลมีสีขาว เรียกว่า white stage จากการเจริญเติบโตของ

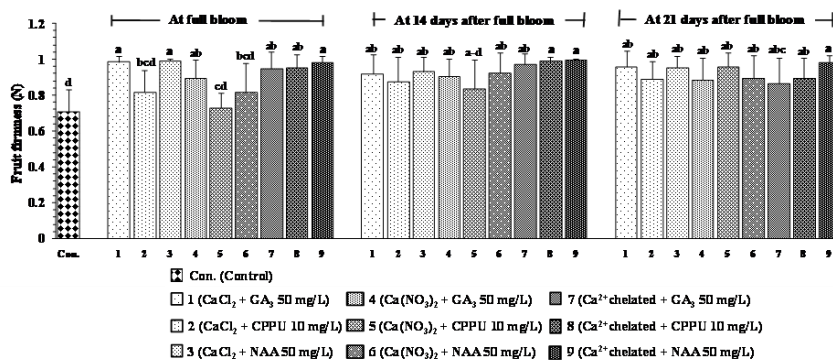


Figure 5. Fruit firmness of strawberry fruit cv. Paratchatan 80 at harvesting stage after spraying with calcium compounds and plant growth regulators at different flower development stages

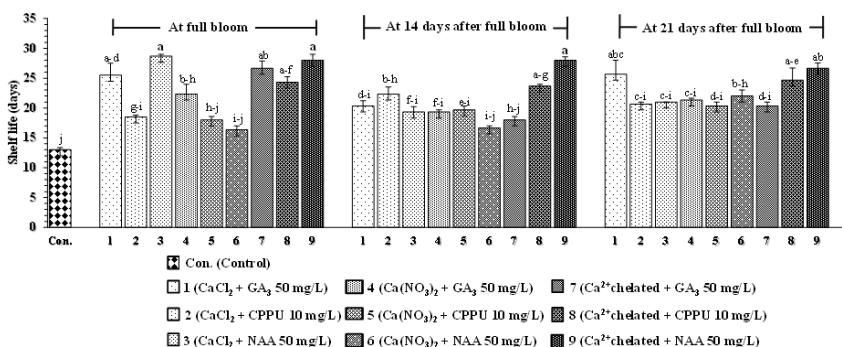


Figure 6. Shelf life of strawberry fruit cv. Paratchatan 80 after different treatments

ผลสตรอว์เบอร์รีเป็นแบบ sigmoid curve ในช่วงระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่เป็นช่วงที่ผลสตรอว์เบอร์รีมีการขยายขนาดเพิ่มสูงขึ้น (Fait *et al.*, 2008; Symons *et al.*, 2012) และการให้ NAA ในระยะนี้อาจเป็นช่วงที่สามารถตอบสนองกับผลสตรอว์เบอร์รีได้ดีกว่าที่ระยะอื่น ๆ เนื่องจากผลสตรอว์เบอร์รีมีการเจริญเติบโตด้วยการขยายขนาดของเซลล์อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งผลแก่ (Avigdor-Avidov, 1986) โดยคุณสมบัติของ NAA ซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มออกซิน มีบทบาทช่วยในการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ (Davies, 2010) และ achene ที่ติดอยู่กับผลสตรอว์เบอร์รี เป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาผลโดยการสร้างฮอร์โมนออกซินที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของผล ซึ่งออกซินสามารถช่วยเพิ่มการพัฒนาของผลให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ (สังคม, 2532) ใน การ ท ด ล อ ง ข อ ง Singh *et al.* (2017) ได้รายงานว่าการพ่น NAA กับผลฝรั่งทำให้ขนาดและน้ำหนักของผลฝรั่งมากกว่ากรรมวิธีควบคุม แต่เมื่อเปรียบเทียบการใช้ของ NAA และ GA_3 ที่ปริมาตร 50 มก./ล. กับผลเงาะ ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักผล (พณิตา และคณะ, 2559) สำหรับผลของแคลเซียมในการทดลองของ Sotiropoulos *et al.* (2010) พบว่าการพ่นแคลเซียมกับผลท้อก่อนเข้าสู่ระยะที่ผนังผลชั้นในมีความแข็ง (pit hardening) ไม่พบความแตกต่างของความกว้าง ความยาว และน้ำหนักของผลเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม

ส่วนปริมาณ TSS ในผลสตรอว์เบอร์รีพบว่าการพ่น $CaCl_2$ ร่วมกับ NAA และการพ่น Ca^{2+} chelated ร่วมกับ CPPU ที่ระยะดอกบานเต็มที่ ให้แนวโน้มของปริมาณ TSS ที่มากกว่ากรรมวิธีอื่น ซึ่ง CPPU และ NAA เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มกระตุ้นการเจริญเติบโต มีผลต่อการเคลื่อนย้ายของสารอาหารได้ดี (Kuiper, 1993) นอกจากนี้การพ่นสารที่ระยะ 14 และ 21 วันหลังดอกบาน (ระยะผลอ่อน) ทำให้มีขนาดและน้ำหนักของผลมากกว่า ซึ่งอาจทำให้มีความเข้มข้นของ TSS น้อยกว่าการพ่นในระยะดอกบานเต็มที่ เช่นเดียวกับการพ่น CPPU ที่ความเข้มข้น 5-10 มก./ล. ทำให้ผลของกีวี่ฟรุติมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ปริมาณความเข้มข้น TSS ลดลง (Kim *et al.*, 2006) นอกจากนี้การพ่น Ca^{2+} chelated ร่วมกับ

NAA มีผลทำให้แนวโน้มของความแน่นเนื้อมากขึ้นและมีอายุการเก็บรักษาของผลสตรอว์เบอร์รีนานยิ่งขึ้นเฉลี่ย 26 วัน เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่เก็บได้เพียง 13 วัน เนื่องจากแคลเซียมมีความสามารถช่วยลดการเข้าทำลายของเชื้อรา โดยการลดการออกของสปอร์ และรักษาความสมบูรณ์ของผนังเซลล์ (Ciccarese *et al.*, 2013) เช่นเดียวกับ Madani *et al.* (2014) ที่พบว่า การพ่นแคลเซียมนั้นสามารถรักษาคุณภาพของผลมะละกอได้ โดยสามารถรักษาความแน่นเนื้อและลดการเข้าทำลายของเชื้อรา การพ่นแคลเซียมในรูป Ca^{2+} chelated มีประสิทธิภาพดีกว่าในรูปอื่น ๆ เพราะสารคีเลตมีโครงสร้างที่เป็นลิแกนด์มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวมากกว่าหนึ่งคู่ที่ใช้ในการสร้างพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์กับไอออน ทำให้การยึดเกาะระหว่างสารคีเลตกับไอออนของแคลเซียมมีความเหนียวแน่น ไอออนของธาตุอื่นเข้ามายึดเกาะได้ยาก ส่งผลให้ตกตะกอนได้ยาก ไม่เกิดการแก่งแย่งการดูดใช้ธาตุอาหารกับธาตุอื่น ๆ ภายในพืช และทำให้ธาตุแคลเซียมพร้อมใช้สำหรับการดูดซึมของพืช (ยงยุทธ, 2557) และการพ่นแคลเซียมโดยตรงที่ผลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแคลเซียมได้ดีกว่าการให้ทางดิน หรือการพ่นทางใบ เช่น ในกรณีของแอปเปิล การพ่นสารละลายแคลเซียมขณะที่ผลกำลังพัฒนากับผลโดยตรง มักจะให้ผลดีกว่าการพ่นทางใบ ทั้งนี้เพื่อลดการแก่งแย่งระหว่างใบและผล ซึ่งสารละลายแคลเซียมจะไปสร้างเสถียรภาพให้เพกตินในมิดเดิลลามেলাในผนังเซลล์ของผลโดยตรง แคลเซียมเพกตินมีผลสำคัญต่อการรักษาความแข็งแรงของโครงสร้างเนื้อเยื่อ (วิจิตร, 2552) จึงลดความเสียหายขณะผลขยายขนาดอย่างรวดเร็ว รวมทั้งลดความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Lester and Grusak (2004) พบว่าการฉีดพ่นปุ๋ยแคลเซียม คีเลตให้กับแตงฮันนี่นิว ทำให้เก็บรักษาผลหลังการเก็บเกี่ยวได้นาน 3 สัปดาห์ อีกทั้งยังคงมีความแน่นเนื้อและความเข้มข้นของแคลเซียมในผลสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่พ่นแคลเซียม ทำให้ยังคงสภาพเหมาะแก่การจำหน่าย และเมื่อแคลเซียมทำงานร่วมกันกับ NAA ที่มีการเคลื่อนย้ายแบบ basipetal ไปยังผลสามารถช่วยให้การเคลื่อนย้ายของแคลเซียมไปสะสมที่ผลเพิ่มขึ้นด้วย (Zhou *et al.*, 1999) สอดคล้องกับการทดลองของ Abbasi

et al. (2013) ในการพ่น NAA ร่วมกับ แคลเซียมกับต้นมะเขือเทศที่อยู่ในระยะช่อดอกแรกบาน พบว่าสามารถเพิ่มการสะสมของแคลเซียมในผลได้ ส่งผลให้ขณะเก็บรักษาสามารถรักษาสภาพได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม

สรุป

ผลการศึกษาพบว่าทั้งสามปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กันในด้านน้ำหนักและขนาดผล ในการเพิ่มขนาดและน้ำหนักของผลสตอร์วเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 ควรพ่น Ca^{2+} chelated ร่วมกับ NAA ที่ระยะ 21 วันหลังดอกบานเต็มที่ ส่วนในระยะดอกบานเต็มที่การพ่นสารประกอบแคลเซียมทุกชนิดร่วมกับ CPPU และ NAA ให้ปริมาณ TSS มากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ การพ่น Ca^{2+} chelated ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชทุกชนิดสามารถเพิ่มความแน่นเนื้อได้ และการพ่น $CaCl_2$ และ Ca^{2+} chelated ร่วมกับ NAA สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ แต่ด้วยราคาของ CPPU ที่ค่อนข้างสูงจึงควรใช้ NAA ที่มีราคาถูกกว่า ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจจะเปรียบเทียบจำนวนครั้งของการพ่นสาร เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบพัฒนาคุณภาพของผลสตอร์วเบอร์รี่ให้ดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย และขอขอบคุณสวนสตอร์วเบอร์รี่เกษตรกร หมู่บ้านแม่สาใหม่ อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2559. สตอร์วเบอร์รี่ 2558. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล : www.agriinfo.go.th/year59/plant/rortor/fruit.pdf (30 พฤศจิกายน 2560).
- ณรงค์ชัย พิพัฒน์ณรงค์. 2550. การผลิตไม้ผลเมืองหนาวขนาดเล็กในเขตร้อน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 176 หน้า.
- ณรงค์ชัย พิพัฒน์ณรงค์ เวช เตชะ และ อิทธิ วาจากิ. 2551. สตอร์วเบอร์รี่ "พันธุ์พระราชทาน 80". เอกสารจากงานวิจัยสตอร์วเบอร์รี่ มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่. 3 หน้า.
- ดนัย บุญเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของพืชสวน. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 226 หน้า.
- ธนากร บุญกล้า พุทธิศ ศรัญญู พิมพ์นิภา เพ็งช่วง อีร์หะวานนท์ และ ภาสันต์ ศารทูลทัต. 2559. ผลของ GA_3 NAA และ CPPU ต่อขนาดและคุณภาพผลแก้วมังกร 'แดงสยาม'. เกษตร 44(1): 887-891.
- พนิดา สุข สุขิตา ชัยกุล นงนุช ชนะสิทธิ์ และ ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข. 2559. ผลของ GA_3 NAA และ สารคล้ายบราสซิน (BS) ต่อขนาดและน้ำหนักของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน. วารสารเกษตร 33(2): 175-184.
- ยงยุทธ ไชยสถ. 2557. การให้ปุ๋ยทางใบ. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 164 หน้า.
- วิจิตร วังโน. 2552. ธาตุอาหารกับการผลิตพืชผล. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 371 หน้า.
- สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2532. สตอร์วเบอร์รี่. วิทยาลัยอุบลราชธานี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 144 หน้า.
- Abbasi, N.A., L. Zafar, H.A. Khan and A.A. Qureshi. 2013. Effects of naphthalene acetic acid and calcium chloride application on nutrient uptake, growth, yield and post harvest performance of tomato fruit. Pakistan Journal of Botany 45(5): 1581-1587.
- Avigdor-Avidov, H. 1986. Strawberry. pp. 419-448. In: S.P. Monselise (ed.). Handbook of Fruit Set and Development. CRC Press, Boca Raton, Florida.

- Canli, F.A. and H. Orhan. 2009. Effects of preharvest gibberellic acid applications on fruit quality of 0900 Ziraat sweet cherry. HortTechnology 19(1): 127-129.
- Ciccarese, A., A.M. Stellacci, G. Gentilesco and P. Rubino. 2013. Effectiveness of pre- and post-veraison calcium applications to control decay and maintain table grape fruit quality during storage. Postharvest Biology and Technology 75: 135-141.
- Davies, P.J. 2010. The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. pp. 1-15. In: P.J. Davies (ed.). Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!. Springer, Dordrecht.
- Erogul, D. 2014. Effect of preharvest calcium treatments on sweet cherry fruit quality. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 42(1): 150-153.
- Fait, A., K. Hanhineva, R. Beleggia, N. Dai, I. Rogachev, J.V. Nikiforova, R.A. Fernie and A. Aharoni. 2008. Reconfiguration of the achene and receptacle metabolic networks during strawberry fruit development. Plant Physiology 148: 730-750.
- Kadir, S. A. 2004. Fruit quality at harvest of ‘Jonathan’ apple treated with foliarly applied calcium chloride. Journal of Plant Nutrition 27(11): 1991-2006.
- Kim, J.G., Y. Takami, T. Mizugami, K. Beppu, T. Fukuda and I. Kataoka. 2006. CPPU application on size and quality of hardy kiwifruit. Scientia Horticulturae 110: 219-222.
- Kuiper, D. 1993. Sink strength: established and regulated by plant growth regulators. Plant Cell & Environment 16(9): 1025-1026.
- Kumar, J. and D. Thakur. 2013. Effect of different concentration of CPPU and fruit thinning on yield and quality of kiwifruit cv. Allison and Hayward. The Asian Journal of Horticulture 8(2): 701-705.
- Lester, G.E. and M.A. Grusak. 2004. Field application of chelated calcium: postharvest effects on antelope and honeydew fruit quality. HortTechnology 14: 29-38.
- Madani, B.M., T.M. Mohamed, C.B Watkins, J. Kadir, Y. Awang and T. R. Shojaei. 2014. Preharvest calcium chloride sprays affect ripening of Eksotika III papaya fruits during cold storage. Scientia Horticulturae 171: 6-13.
- Singh, K., M. Sharma and S.K. Singh. 2017. Effect of plant growth regulators on fruit yield and quality of guava (*Psidium guajava*) cv. Allahabad Safeda. Journal of Pure and Applied Microbiology 11(2): 1149-1154.
- Singh, R., R.R. Sharma and S.K. Tyagi. 2007. Pre-harvest foliar application of calcium and boron influences physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Scientia Horticulturae 112: 215-220.
- Sotiropoulos, T., L. Therios and N. Voulgarakis. 2010. Effect of various foliar sprays on some fruit quality attributes and leaf nutritional status of the peach cultivar ‘Andross’. Journal of Plant Nutrition 33: 471-484.
- Symons, G.M., Y.J. Chua, J.J. Ross, L.J. Quittenden, N.W. Davies and J.B. Reid. 2012. Hormonal changes during non-climacteric ripening in strawberry. Journal Experimental Botany 63(13): 4741-4750.

Zhou, W., H. Wang, L. Zhao and B. Lin. 1999. Study on characteristics of calcium uptake by young fruit of apple (*Malus pumila*) and its regulation by hormone. Scientia Agricultura Sinica 3: 5-9.

โครงสร้างประชากรและความหลากหลายทางพันธุกรรม ของข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูงในจังหวัดเชียงราย

Population Structure and Genetic Diversity of Highland Rice Landraces in Chiang Rai Province

ธัญญา วิริยา¹ ศันสนีย์ จำจด^{1, 2} และ ต่อนภา ผุสดี^{1, 2*}

Tanya Wiriya¹, Sansanee Jamjod^{1, 2} and Tonapha Pusadee^{1, 2*}

¹สาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

²ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

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

(Received: 2 April 2018; Accepted: 20 August 2018)

Abstract: Highland rice landraces are the unique germplasm containing useful traits and significant valuable genetic resources for the future crop improvement. The objectives of this present study were to determine population structure and genetic diversity using 12 microsatellite loci, including 23 morphological characteristics of highland rice landraces in Chiang Rai province which had 19 populations in total representing of 19 farmers' seed lots from 3 different elevations i.e. low (<500 MASL), medium (500-1,000 MASL) and high (>1,000 MASL). The results illustrated that the highland rice landraces at the low elevation had the highest level of morphological variation and genetic diversity than the medium and high elevations. The structure analysis found that at K= 2 highland rice landrace populations in the present study were structured into 2 groups according to the subspecies types; *indica* and *tropical japonica* group, while at K= 4 the highland rice landraces populations were structured into 4 groups associate to subspecies types and elevations. Such the structure of highland rice landraces in the present study was the consequence of the local adaptation. Understanding the genetic structure and genetic diversity of highland rice landraces varieties can be used as a guideline for conservation, while it should focus on both *ex situ* conservation and *in situ* conservation. Moreover, these genetic resources can also be utilized for the future rice breeding programs.

Keywords: Highland rice landraces, genetic diversity, population structure, local adaptation

บทคัดย่อ: ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูงเป็นแหล่งพันธุกรรมที่มีเอกลักษณ์และมีลักษณะที่เป็นประโยชน์ นับเป็นแหล่งพันธุกรรมที่สำคัญในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวทั้งในปัจจุบันและอนาคต การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินโครงสร้างและความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพื้นเมืองที่สูงในจังหวัดเชียงรายด้วยเครื่องหมายโมเลกุล microsatellite จำนวน 12 ตำแหน่ง รวมถึงบันทึก 23 ลักษณะสัณฐานของข้าวพื้นเมืองที่สูงในจังหวัดเชียงรายทั้งหมด 19 ประชากร ที่เก็บจากเกษตรกร 19 ราย จากพื้นที่ 3 ระดับความสูง ได้แก่ พื้นที่สูงน้อยกว่า 500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (low) พื้นที่สูงปานกลางตั้งแต่ 500-1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (medium) และพื้นที่สูงกว่า 1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (high) จากผลการวิจัยพบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ระดับความสูงน้อยกว่า 500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีความหลากหลายทั้งในระดับสัณฐาน และระดับโมเลกุลมากกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ความสูงระดับปานกลางตั้งแต่ 500-1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล และพื้นที่สูงกว่า 1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างประชากรพบว่าที่ $K=2$ ประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ศึกษาสามารถแบ่งกลุ่มตามชนิดย่อย ได้แก่ *indica* และ *tropical japonica* ในขณะที่ $K=4$ ประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ตามชนิดย่อยและระดับความสูง โครงสร้างของข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ศึกษาในครั้งนี้เป็นผลมาจากการจัดการของเกษตรกรและการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมท้องถิ่น การทำความเข้าใจในโครงสร้างทางพันธุกรรมและความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์พื้นเมืองสามารถใช้เป็นแนวทางการอนุรักษ์ข้าวพันธุ์พื้นเมืองในสภาพท้องถิ่นนอกสภาพท้องถิ่น และยังสามารถนำแหล่งพันธุกรรมมาใช้ประโยชน์ ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวในอนาคต

คำสำคัญ: ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูง ความหลากหลายทางพันธุกรรม โครงสร้างประชากร การปรับตัวต่อสภาพท้องถิ่น

คำนำ

ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง เนื่องจากความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เพื่อให้สามารถอยู่รอดในธรรมชาติได้ ทำให้ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีลักษณะทางสัณฐานที่แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ ขึ้นอยู่กับการปรับตัวให้เฉพาะเจาะจงต่อปัจจัยในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ เช่น ข้าวพันธุ์พื้นเมืองบางพันธุ์สามารถปรับตัวให้ทนทานหรือต้านทานในสภาพแข่งขันกับโรคแมลงและสภาพดินในถิ่นอาศัย ในขณะที่ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูงบางพันธุ์มีคุณภาพทางโภชนาการสูง เช่น ข้าวพื้นเมืองพันธุ์ปิฮูพบว่าปริมาณแอนโทไซยานินสูงถึง 312 มิลลิกรัม/100 กรัม (พิทวัส และคณะ, 2560) แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้าวพันธุ์พื้นเมืองบางพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคและแมลง (Harlan, 1975) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ถูกควบคุมด้วยยีนที่มีความเฉพาะเจาะจง (Hardon *et al.*, 2000) ความหลากหลายทางพันธุกรรมจะถูกแบ่งออกเป็นความหลากหลายระหว่างประชากรและความหลากหลายระหว่างต้นภายในประชากร (Frankel *et al.*, 1995) สามารถประเมินได้จากความแตกต่างทางลักษณะสัณฐานและความแตกต่างใน

ระดับดีเอ็นเอ ปัจจุบันสามารถวัดความหลากหลายในระดับดีเอ็นเอโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลเข้ามาช่วยในการจำแนกความหลากหลาย (Ni *et al.*, 2002)

ในงานวิจัยนี้ศึกษาข้าวพื้นเมืองที่สูงของจังหวัดเชียงราย ซึ่งจังหวัดเชียงรายตั้งอยู่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงประมาณร้อยละ 95 ของพื้นที่ทั้งหมดแต่ละพื้นที่มีระดับความสูงแตกต่างกันตามสภาพภูมิศาสตร์ โดยสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 500-2,000 เมตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2549) เนื่องจากพื้นที่บนภูเขาส่งผลต่อสภาพภูมิศาสตร์ของถิ่นอาศัยที่แตกต่างกันจึงทำให้พืชพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกบนพื้นที่สูงมีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง (Rerkasem and Rerkasem, 2002) ประชากรในจังหวัดเชียงรายร้อยละ 30 เป็นชาวไทยภูเขาชาติพันธุ์ต่าง ๆ เช่น ชาติพันธุ์อาข่า ชาติพันธุ์ม้ง ชาติพันธุ์ลาหู่ ชาติพันธุ์เย้า และชาติพันธุ์ขมุ เป็นต้น ส่วนใหญ่ปลูกข้าวพันธุ์พื้นเมืองเพื่อบริโภคเป็นอาหารหลัก (กรมทรัพยากรธรณี, 2549) เนื่องจากมีความแตกต่างของสภาพภูมิศาสตร์ของถิ่นอาศัย และการดำรงชีวิตของประชากรในพื้นที่ที่แตกต่างกัน ทำให้พันธุ์พื้นเมืองเกิดการปรับตัวเพื่อให้เข้ากับสภาพแวดล้อมและความต้องการของผู้คนแตกต่างกัน อีกทั้งยังมีการ

แลกเปลี่ยนเมล็ดพันธุ์ระหว่างชนเผ่า และระหว่างหมู่บ้านตามวิถีชีวิตและประเพณีที่แตกต่างกัน ซึ่งแต่ละชนเผ่าก็จะมีวิธีการคัดเลือกพันธุ์เพื่อปลูกและเก็บรักษาพันธุ์ตามลักษณะที่ต้องการแตกต่างกันออกไป มีรายงานการพบความหลากหลายของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่ปลูกบนพื้นที่สูง เช่น ในพันธุ์เดียวกันจะมีเมล็ดที่มีทั้งสีเปลือกและรูปร่างเมล็ดแตกต่างกัน (ดาเนิน, 2546)

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการปลูกข้าวพันธุ์พื้นเมืองลดลง เนื่องจากได้ผลตอบแทนต่ำกว่าพืชชนิดอื่น ทำให้ความหลากหลายของข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีน้อยลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้รวบรวมข้าวพันธุ์พื้นเมืองท้องถิ่นที่ปลูกโดยชนเผ่าหลากหลายชาติพันธุ์ที่อาศัยอยู่บนพื้นที่สูงในจังหวัดเชียงราย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมทั้งภายในและระหว่าง

ประชากรข้าวพื้นเมืองที่สูง รวมทั้งโครงสร้างประชากรและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมในระดับโมเลกุลโดยอาศัยการวิเคราะห์ลายพิมพ์ดีเอ็นเอด้วยเทคนิคเครื่องหมายโมเลกุล microsatellite ร่วมกับการประเมินลักษณะทางสัณฐาน

อุปกรณ์และวิธีการ

ประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูง

เก็บรวบรวมตัวอย่างข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูงทั้งหมด 7 พันธุ์ จำนวน 19 ประชากร (ตารางที่ 1) ประกอบด้วยพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่เก็บมาจากพื้นที่ที่มีความสูงแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ พื้นที่สูงน้อยกว่า 500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล พื้นที่สูงปานกลางตั้งแต่

Table 1. Elevations (MASL), varieties, accession number and subspecies types for 7 highland rice landraces varieties and two pure line cultivated rice varieties in the present study

Elevation	Variety	Accession number	Subspecies type
Low (< 500 MASL)	Ngaw-siw 1	LNGS1	<i>indica</i>
	Ngaw-siw 2	LNGS2	<i>indica</i>
	Ngaw-siw 3	LNGS3	<i>indica</i>
	Bian-pae-ton 1	LBPT1	<i>tropical japonica</i>
	Bian-pae-ton 2	LBPT2	<i>tropical japonica</i>
Medium (500-1,000 MASL)	Haw-chae 1	MHCH1	<i>tropical japonica</i>
	Haw-chae 2	MHCH2	<i>tropical japonica</i>
	Haw-chae 3	MHCH3	<i>indica</i>
	Haw-jae 1	MHJ1	<i>tropical japonica</i>
	Haw-jae 2	MHJ2	<i>indica</i>
	Ja-peu-ma 1	MJPM1	<i>tropical japonica</i>
	Ja-peu-ma 2	MJPM2	<i>tropical japonica</i>
	Ja-peu-ma 3	MJPM3	<i>tropical japonica</i>
	Chae-ta-te 1	HCHTT1	<i>tropical japonica</i>
	Chae-ta-te 2	HCHTT2	<i>tropical japonica</i>
High (>1,000 MASL)	Chae-ta-te 3	HCHTT3	<i>indica</i>
	Ble-de 1	HBD1	<i>tropical japonica</i>
	Ble-de 2	HBD2	<i>tropical japonica</i>
	Ble-de 3	HBD3	<i>tropical japonica</i>
Checked	Khao Dawk Mali 105	KDML105	<i>indica</i>
	Pathum Thani 1	PTT1	<i>indica</i>

500-1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล และพื้นที่สูงกว่า 1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ปลูกทดสอบเปรียบเทียบด้วยข้าวพันธุ์ปรับปรุงจำนวน 2 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) และ ปทุมธานี 1 (PTT1) ในสภาพเดียวกันที่โรงเรือนทดลอง สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยเฉพาะเมล็ดในแก้วพลาสติกเมื่อต้นกล้าอายุ 1-2 สัปดาห์ ย้ายต้นกล้าลงปลูกในกระถางพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ปลูกกระถางละ 2 กระถาง ๆ ละ 10 ต้น และใส่ปุ๋ย 16-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ โดยให้อยู่สภาพน้ำขังในกระถางตลอดเวลา เมื่อถึงระยะแตกกอ เก็บตัวอย่างใบแยกต้นโดยสุ่มประชากรละ 5 ต้น ๆ ละ 2-3 ใบใน silica gel เพื่อนำไปสกัด DNA

การประเมินลักษณะทางสัณฐาน

เมื่อประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูงจำนวน 19 ประชากร (ตารางที่ 1) และข้าวพันธุ์ปรับปรุงจำนวน 2 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) และ ปทุมธานี 1 (PTT1) เข้าสู่ระยะแตกกอ บันทึกลักษณะทรงกอ การมีขนบนแผ่นใบ สีแผ่นใบ สีกาบใบ รูปารังลิ้นใบ สีลิ้นใบ สีหูใบ สีข้อ สืบปล้อง และสีข้อต่อใบ ระยะออกดอก เมื่อข้าวที่ศึกษาออกดอกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ บันทึกลักษณะสียอดดอก สียอดเกสรเพศเมีย การย่นโผล่ของเกสรเพศเมีย ความยาวของเกสรเพศเมีย ความยาวเกสรเพศผู้ สีกลิบรวมดอก ลักษณะรวง การโผล่พันคอรวง มุมของใบธง และการมีหาง ระยะสุกแก่ สีเปลือก การมีขนบนเปลือก และสีเยื่อหุ้มเมล็ด (IRRI, 1980)

การประเมินโครงสร้างประชากรและความหลากหลายทางพันธุกรรม

นำตัวอย่างใบข้าวแห้งประชากรละ 5 ต้น สกัดดีเอ็นเอโดยวิธี CTAB (Doyle and Doyle, 1987) แล้วนำดีเอ็นเอที่สกัดได้มาเพิ่มปริมาณด้วยปฏิกิริยา PCR โดยใช้ microsatellite primer จำนวน 12 ตำแหน่ง (ตารางที่ 2) และวิเคราะห์ชนิดย่อย (subspecies type) โดยใช้ organelle markers จำนวน 3 ตำแหน่งด้วยวิธีของ Okoshi *et al.* (2016) เตรียม DNA template 1 μ l ที่มีความเข้มข้น

10-20 ng จากนั้นเติมสารผสมปริมาตร 9 ไมโครลิตร (μ l) ต่อ 1 หลอดตัวอย่าง ซึ่งประกอบไปด้วย deionized water, 10X buffer, 50 mM $MgCl_2$, 25 mM dNTP, 20 pM primer, 0.5 unit Taq DNA Polymerases และ DMSO ปฏิกิริยา PCR ประกอบด้วย denaturing แรกเริ่มที่ 95 °C นาน 5 นาที ตามด้วยรอบของ denaturing ที่ 95 °C นาน 30 วินาที annealing ที่ 55-58 °C นาน 30 วินาที และ extension ที่ 72 °C นาน 30 วินาที จำนวน 40 รอบ และตามด้วย final extension 72 °C นาน 5 นาที นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำ PCR ไปตรวจสอบด้วย 10% polyacrylamide gel electrophoresis นำภาพลายพิมพ์ดีเอ็นเอที่ได้วิเคราะห์โดยการตรวจวัดขนาด (bp) ของแถบดีเอ็นเอที่ปรากฏ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐาน

ลักษณะทางสัณฐาน วัดความหลากหลายภายในประชากรโดยใช้ค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon's index (H') (Coffey, 2002; Shannon and Weaver, 1949) และ normalization ค่า H' ตามวิธีการของ Pielou (1966)

การวิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรม

รวบรวมข้อมูลพันธุกรรมที่ได้จากการวิเคราะห์ลายพิมพ์ดีเอ็นเอมาคำนวณ และตรวจวัดค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม (genetic diversity) ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม (H_e) ด้วยโปรแกรม geneAIE version 6.502 (Peakall and Smouse, 2006) ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมเฉลี่ย (H_s) ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมรวม (H_t) และค่าความแตกต่างระหว่างประชากร (F_{ST}) ด้วยโปรแกรม FSTAT version 2.9.3 (Goudet, 2001)

วิเคราะห์ความแตกต่างทางพันธุกรรมของประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูงจังหวัดเชียงรายทั้งหมด 7 พันธุ์ จำนวน 19 ประชากร โดยใช้ hierarchical analysis of molecular variance (AMOVA) ที่ได้จากการคำนวณ F_{ST} จากค่า variance components เพื่อใช้ในการพิจารณาผลการวิเคราะห์ว่ามีหรือไม่มี ความแตกต่าง

Table 2. Detail of SSR markers used in the present study

Primer name	Chr.	SSR motif	Primer sequence ¹	Tm (C)	Expected size (bp)	H _e
RM084	1	(TCT)10	F 5'-taaggggtccatccacaagatg-3' R 5'-ttgcaaatgcagctagagtac-3'	55	113	0.317
RM318	2	(GT)15	F 5'-gtacggaaaacatggtaggaag-3' R 5'-tcgaggggaaggatctggtc-3'	55	140	0.513
RM251	3	(CT)29	F 5'-gaatggcaatggcgctag-3' R 5'-atgcgggtcaagattcgatc-3'	55	147	0.673
RM241	4	(CT)31	F 5'-gagccaaataagatcgctga-3' R 5'-tgcaagcagcagatttagtg-3'	55	138	0.719
RM122	5	(GA)7A(GA)2A(GA)11	F 5'-gagtcgatgtaatgtcatcagtc-3' R 5'-gaaggaggtatcgcttgggac-3'	55	227	0.095
RM164	5	(GT)16TT(GT)4	F 5'-tcttgcccgtcactgcagatattc-3' R 5'-gcagccctaattgtacaattcttc-3'	58	246	0.490
RM584	6	(CT)14	F 5'-agaaatggatcaggaaggc-3' R 5'-gatcctgcaggaaccacac-3'	55	169	0.442
RM11	7	(GA)17	F 5'-tctctcttccccgatc-3' R 5'-atagcgggagggcttag-3'	55	140	0.679
RM447	8	(CTT)8	F 5'-cccttgctgtctcctctc-3' R 5'-acgggcttctctcctctc-3'	55	111	0.455
RM316	9	(GT)8-(TG)9(TTG)4(TG)4	F 5'-ctagtgggcatacgcgatggc-3' R 5'-acgcttatgttacgtcaac-3'	55	192	0.498
RM167	11	(GA)16	F 5'-gatccagcgtgaggaacacgt-3' R 5'-agtcggaccacaagtgcggtgtc-3'	55	128	0.449
RM247	12	(CT)16	F 5'-tagtgccgatcgatgtaacg-3' R 5'-catatggtttgacaagcg-3'	55	131	0.725

¹ Chen and Tanksley (1997); Temnykh *et al.* (2000); Temnykh *et al.* (2001) and Wu *et al.* (1993)

อย่างมีนัยสำคัญ ด้วยโปรแกรม GeneAEx version 6.502 (Peakall and Smouse, 2006)

การวิเคราะห์โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากร

จัดกลุ่มโครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองทั้งหมด 7 พันธุ์ที่เก็บมาจาก 3 ระดับความสูงของจังหวัดเชียงราย และข้าวพันธุ์ปรับปรุง ด้วยวิธี Markov Chain Monte Carlo (MCMC) โดยใช้โปรแกรม STRUCTURE version 2.3.4 (Pritchard *et al.*, 2000) เพื่อใช้อธิบายโครงสร้างของความแปรปรวนทาง

พันธุกรรม และแสดงจำนวนกลุ่มที่มีความแตกต่างทางพันธุกรรมของประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมือง โดยตั้งค่า parameter set ของค่า K ตั้งแต่ 1-15 จำนวน K ละ 5 ซ้ำที่ burn-in period จำนวน 1,000,000 step และ MCMC จำนวน 1,000,000 step (Pritchard and Wen, 2004) เลือกกลุ่ม (K) ที่ดีที่สุดด้วยการประมาณ ad hoc statistic ΔK จากจำนวนกลุ่ม (K) ทั้งหมดที่ได้จากโปรแกรม STRUCTURE (Evanno *et al.*, 2005) ใน structure harvester (Earl and Vonholdt, 2012)

สร้างโครงสร้างความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างประชากรจากค่าระยะห่างทางพันธุกรรมโดยใช้ Microsatellite จำนวน 12 ตำแหน่ง ด้วยวิธีของ Neighbour-joining (NJ) จากโปรแกรม POWERMARKER version 3.0 (Liu and Muse 2005) โดยเลือก dendrogram tree ของ C.S. Chord genetic distance (Cavalli-Sforza and Edwards 1967) แล้วเปิดด้วยโปรแกรม MEGA7 (Tamura *et al.*, 2011)

ผลการทดลอง

ลักษณะทางสัณฐาน

จากการบันทึกลักษณะทางสัณฐานของข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูงของจังหวัดเชียงรายจำนวน 7 พันธุ์ 19 ประชากร จากพื้นที่สูงแตกต่างกัน 3 ระดับ ทั้งหมด 23 ลักษณะ พบว่ามี 4 ลักษณะที่ไม่มีความหลากหลายทั้งภายในและระหว่างประชากร โดยทุกประชากรมีลิ้นใบสีขาว รูปกว้างลิ้นใบ 2 แฉก ปล้องสีเขียว และกลีบรองดอกสีขาว พบจำนวน 19 ลักษณะที่มีความหลากหลายทั้งภายในและระหว่างประชากร (ภาพที่ 1) โดยพบว่าข้าวพันธุ์เปรียบเทียบทั้ง 2 พันธุ์ ไม่มีความหลากหลายทั้งภายในและระหว่างประชากร ($H' = 0$) ในขณะที่ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ระดับความสูงน้อยกว่า 500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (low) มี 19 ลักษณะที่มีความหลากหลายทั้งภายในและระหว่างประชากร และยังแสดงค่าความหลากหลายรวม (H') สูงที่สุดเท่ากับ 15.490 ส่วนข้าวพันธุ์

พื้นเมืองที่ระดับความสูงปานกลางตั้งแต่ 500-1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (medium) และพื้นที่สูงมากกว่า 1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (high) มี 14 ลักษณะที่มีความหลากหลายทั้งภายในและระหว่างประชากร แสดงค่าความหลากหลายรวม (H') เท่ากับ 11.221 และ 10.914 ตามลำดับ (ภาพที่ 1)

ความหลากหลายทางพันธุกรรม

เครื่องหมายโมเลกุล microsatellite ทั้ง 12 ตำแหน่งแสดงความหลากหลายในตัวอย่างข้าวที่ศึกษา (ตารางที่ 2) พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ระดับความสูงน้อยกว่า 500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (low) มีความหลากหลายทางพันธุกรรมภายในประชากรต่ำ แต่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมรวมสูงที่สุด ($H_T = 0.440$) ในขณะที่ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ระดับความสูงปานกลางตั้งแต่ 500-1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (medium) มีค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมรวมประชากรต่ำที่สุด ($H_T = 0.167$) แต่พบว่ามีค่าความแตกต่างระหว่างประชากรสูงที่สุด คือ $F_{ST} = 0.436$ (ตารางที่ 3)

วิเคราะห์แยกตามชนิดย่อย พบว่าข้าวพันธุ์เปรียบเทียบทั้ง 2 พันธุ์ อยู่ในกลุ่ม *indica* ส่วนข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ *indica* ประกอบด้วย 6 ประชากร และ *tropical japonica* ประกอบด้วย 13 ประชากร (ตารางที่ 1) พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองกลุ่ม *indica* (6 ประชากร) มีความหลากหลายรวมภายในกลุ่ม (H_T) และความแตกต่างระหว่างประชากร

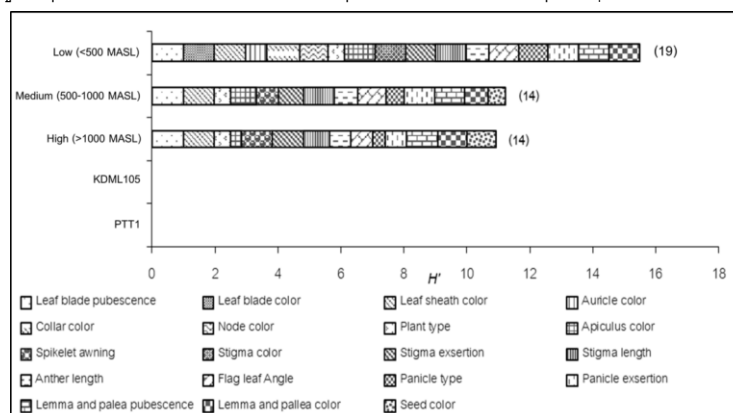


Figure 1. Shannon's index (H') of 19 highland rice landraces populations and two pure line cultivated rice varieties on 23 morphological traits. Numbers in the parentheses represent number of polymorphic traits

Table 3. Genetic diversity parameter highland rice landraces from 3 elevation levels and two pure line cultivated rice

Elevations	N	n	H'	H_e	H_s	H_T	F_{ST}
Low (<500 MASL)	5	25	15.490	0.024	0.030	0.440	0.410
Medium (500 - 1,000 MASL)	8	40	11.221	0.133	0.156	0.167	0.436
High (>1,000 MASL)	6	30	10.914	0.107	0.133	0.356	0.223
Total Elevations	3	19	67.244	0.407	0.421	0.501	0.080
Total Pure line varieties	2	10	0	0	0	0.125	1

Number of accession (N), number of individuals (n), shannon's index for morphological traits (H'), Nei's (1973) gene diversity (H_e), average gene diversity (H_s), total gene diversity (H_T), and genetic differentiation (F_{ST})

(F_{ST}) ภายในกลุ่มมากกว่ากลุ่ม *tropical japonica* เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชนิดย่อย พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองทั้ง 2 กลุ่ม แสดงค่าความแตกต่าง (F_{ST}) เท่ากับ 0.262 (ตารางที่ 4)

โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากร

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูงทั้งหมด 7 พันธุ์ และข้าวพันธุ์เปรียบเทียบ 2 พันธุ์ พบว่ากลุ่ม (K) ที่ได้จากการประมาณ ad hoc statistic ΔK ได้แก่ K=2 และ K=4 โดยที่ K=2 ประชากรข้าวแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (ภาพที่ 2b) ได้แก่ พันธุ์ข้าวที่อยู่ในกลุ่ม *indica* (สีด้าเทา) และพันธุ์ข้าวที่อยู่ในกลุ่ม *tropical japonica* (สีเทา) ส่วนที่ K=4 คือ ประชากรข้าวที่ถูกจัดกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม (ภาพที่ 2a) ซึ่งพบว่าพันธุ์ข้าวที่อยู่ในกลุ่ม *indica* ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย โดยแยกข้าวพันธุ์พื้นเมือง (สีเทา) ออกจากข้าวพันธุ์ปรับปรุง (สีด้าเทา) ส่วนกลุ่มที่ 3 คือกลุ่มพันธุ์ข้าว *tropical japonica* ส่วนใหญ่อยู่ในระดับความสูงตั้งแต่ 500-800 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (สีเทา) และกลุ่มที่ 4 คือกลุ่มพันธุ์ข้าว *tropical japonica* ส่วนใหญ่อยู่ในระดับความสูงตั้งแต่มากกว่า 800 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (ดำ) และพบว่ามีข้าวบางพันธุ์ที่ถูกกำหนดให้เป็นสมาชิกมากกว่าหนึ่งกลุ่ม (admixture)

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างประชากรจากค่าระยะห่างทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูงทั้งหมดที่ศึกษา และพันธุ์ปรับปรุง 2 พันธุ์ พบว่าสามารถแบ่งข้าวที่ศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม

ได้แก่ พันธุ์ข้าวกลุ่ม *indica* (สีด้าเทา) จำนวน 8 ประชากร และพันธุ์ข้าวกลุ่ม *tropical japonica* (สีเทา) จำนวน 11 ประชากร (ภาพที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับการจัดกลุ่มโครงสร้างทางพันธุกรรมด้วย STRUCUTRE ที่ K = 2 (ภาพที่ 2b)

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานทั้งหมด 23 ลักษณะ และไมโครสatelลิต จำนวน 12 ตำแหน่งในข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 19 ประชากร จากพื้นที่สูง 3 ระดับ พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ระดับความสูงน้อยกว่า 500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (low) มีความหลากหลายภายในประชากรต่ำ แต่พบว่ามีค่าความหลากหลายรวมสูงที่สุด และมีความแตกต่างระหว่างประชากรสูงที่สุดเช่นกัน เนื่องจากข้าวที่ความสูงน้อยกว่า 500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (low) น่าจะเป็นผลมาจากการคัดเลือกจากธรรมชาติ (natural selection) ที่มีความแปรปรวนสูง และการคัดเลือกของเกษตรกร (farmers' selection) ที่หลากหลายชาติพันธุ์ (Pusadee et al., 2009) อีกทั้งเกษตรกรรู้จักพันธุ์ข้าวของตนเอง และสามารถที่จะคัดเลือกข้าวแต่ละพันธุ์ที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์ประจำพันธุ์ได้ ทำให้มีความหลากหลายภายในประชากรต่ำ ส่งผลให้มีความแตกต่างระหว่างประชากรสูง ซึ่งจะแตกต่างจากข้าวที่ระดับความสูงมากกว่า 1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (high) ที่พบว่ามีค่าความหลากหลายภายในประชากรสูงแต่มีความหลากหลายรวมต่ำ น่าจะเป็นผลมาจากการปรับตัวต่อระดับความสูง เนื่องจากที่ระดับความสูงที่แตกต่างกันจะมีสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

Table 4. Genetic diversity parameter of 7 highland rice landraces varieties and two pure line cultivated rice varieties classified as *indica* and *tropical japonica* types of Chiang Rai province

Species type	N	n	H _e	H _s	H _T	F _{ST}
<i>Indica</i>	1	40	0.090	0.113	0.616	0.817
<i>Tropical japonica</i>	1	65	0.085	0.106	0.296	0.640
Total Species type	2	105	0.454	0.463	0.628	0.262

Number of accession (N), number of individuals (n), Nei's (1973) gene diversity (H_e), average gene diversity (H_s), total gene diversity (H_T), and genetic differentiation (F_{ST})

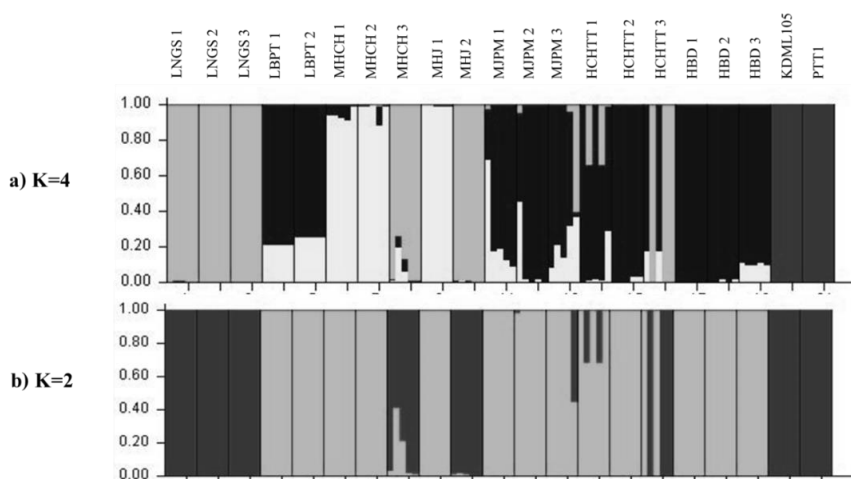


Figure 2. Population assignment using STRUCTURE analysis of 7 highland rice landraces varieties and two pure line cultivated rice varieties in Chiang Rai province. Distinct colors represent different inferred populations based on STRUCTURE's results. Color codes are as follows: a) *indica* (local varieties); gray, *indica* (pure line cultivated); dark gray, *tropical japonica* (low elevations); white gray and *tropical japonica* (high elevations); dark gray (K = 4) and b) *indica*; dark gray and *tropical japonica*; gray (K = 2)

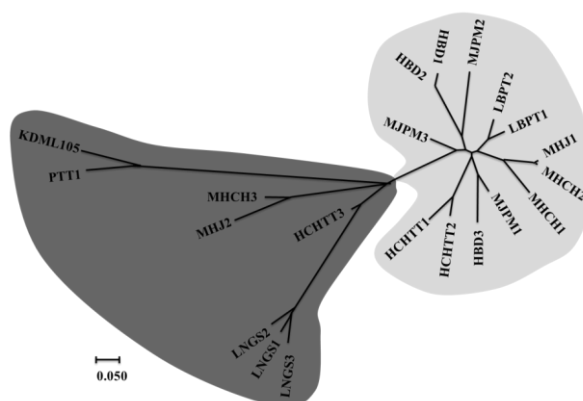


Figure 3. Cluster analysis using NJ method based on Chord (1967) genetic distance. Distinct colors represent different inferred populations based on STRUCTURE's results; *indica*: dark gray and *tropical japonica*: gray

(Ohsawa and Ide, 2008) เช่น ปัจจัยสภาพแวดล้อมบนพื้นที่สูงจะมีอุณหภูมิต่ำและฤดูปลูกที่สั้นทำให้เกิดข้อจำกัดในการอยู่รอดและการปรับตัวของพืช (Frei *et al.*, 2014) รวมถึงการแลกเปลี่ยนเมล็ดพันธุ์ (seed exchange) ระหว่างเกษตรกร (Brown, 1978) จนทำให้ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีลักษณะที่หลากหลาย สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Phanthaboun (2009) ที่พบว่าความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์พื้นเมืองหลวงพระบางในประเทศลาวมีการแลกเปลี่ยนเมล็ดพันธุ์ของเกษตรกรทั้งภายในหมู่บ้าน 68% และระหว่างหมู่บ้าน 32% ส่วนใหญ่เป็นการแลกเปลี่ยนผ่านทางเครือข่าย เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Cui *et al.* (2017) ที่พบว่าความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์พื้นเมืองยูนนานของประเทศไทยเกิดจากการแลกเปลี่ยนเมล็ดพันธุ์ของเกษตรกรที่อยู่ในพื้นที่ระดับความสูงเดียวกัน

จากการศึกษาโครงสร้างประชากรข้าวพันธุ์พื้นเมือง พบว่าที่ $K = 2$ (ภาพที่ 2b) ที่แบ่งประชากรข้าวออกเป็น 2 กลุ่มตามชนิดย่อย คือข้าวในกลุ่ม *indica* (สีน้ำตาล) และข้าวในกลุ่ม *tropical japonica* (สีเทา) และสอดคล้องกันกับการจัดความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมโดยใช้ dendrogram tree (ภาพที่ 3) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Garris *et al.* (2005) ที่พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองอินโดนีเซียจำนวน 309 พันธุ์แสดงค่าความแตกต่างระหว่างชนิดย่อยเท่ากับ 0.380 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Thomson *et al.* (2009) ที่พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองของประเทศอินโดนีเซียจำนวน 183 ประชากรแสดงค่าความแตกต่างระหว่างชนิดย่อยสูงถึง 0.590

ส่วนที่ $K = 4$ (ภาพที่ 2a) แบ่งประชากรข้าวออกเป็น 4 กลุ่ม คือ พันธุ์ข้าวที่อยู่ในกลุ่ม *indica* ที่เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมือง (สีเทา) และข้าวพันธุ์เบรียบเทียบ (สีน้ำตาล) ส่วนอีก 2 กลุ่มย่อยคือพันธุ์ข้าวที่อยู่ในกลุ่ม *tropical japonica* โดยแยกกลุ่มข้าว *tropical japonica* ที่ระดับความสูงน้อยกว่า 800 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (สีเทา) ออกจากกลุ่มข้าว *tropical japonica* ที่ระดับความสูงมากกว่า 800 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (สีดำ) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Xiong *et al.* (2010) ที่พบว่า ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่เก็บจากระดับความสูงตั้งแต่ 450-2350

เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ในมณฑลยูนนานประเทศจีนจำนวน 203 พันธุ์ ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม *indica* และ กลุ่ม *japonica* ซึ่งในพื้นที่ระดับความสูงน้อยกว่า 1,600 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (low altitude) พบว่าส่วนใหญ่เป็นข้าวในกลุ่ม *indica* : ในขณะที่พื้นที่ระดับความสูงมากกว่า 1,600 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (high altitude) พบว่าส่วนใหญ่เป็นข้าวในกลุ่ม *japonica* ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าโดยทั่วไปข้าวในกลุ่ม *indica* เป็นข้าวเขตร้อนที่ขึ้นในระดับความสูงที่ต่ำและมีสภาพอากาศอบอุ่น ส่วนข้าวในกลุ่ม *japonica* เป็นข้าวที่ขึ้นบนพื้นที่สูง ซึ่งมีสภาพอากาศหนาวเย็นและมีระดับความชื้นในดินต่ำ (Chang and Oka 1976; Songqiao 1991) เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Cui *et al.* (2017) ที่ได้ศึกษาโครงสร้างทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่เก็บมาจากพื้นที่สูงเหนือระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 425-2,274 เมตร ในจังหวัดยูนนานประเทศจีนจำนวน 188 ประชากร พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ศึกษาถูกแบ่งตามระดับความสูง โดยที่ความสูงระดับ Lower ($<1,400$ เมตรเหนือระดับน้ำทะเล) พบว่าข้าวพื้นเมืองส่วนใหญ่เป็นชนิด *indica* ส่วนที่ความสูงระดับ Higher ($>1,600$ เมตรเหนือระดับน้ำทะเล) พบว่าข้าวพื้นเมืองส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม *japonica*

งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางอนุรักษ์ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูงที่พบได้ถึงแม้จะมีชื่อเรียกที่เหมือนกัน ยังพบว่ามีความแตกต่างทางพันธุกรรมในสภาพท้องถื่น (*in situ* conservation) เพื่อให้ได้ลักษณะที่มีการปรับตัวและวิวัฒนาการตามสภาพธรรมชาติและนอกสภาพท้องถื่น (*ex situ* conservation) โดยเป็นการเก็บรักษาพืชพื้นเมืองที่พบนอกแหล่งเดิมเพื่อสำรองไว้เมื่อเกิดเหตุการณ์ร้ายแรงต่อพืช เช่น โรคระบาด น้ำท่วม และไฟไหม้ และเพื่อนำแหล่งพันธุกรรมมาใช้ประโยชน์ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าว

สรุป

ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สูงของจังหวัดเชียงรายที่ศึกษา มีความหลากหลายทั้งภายในและระหว่างประชากร โดยข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ระดับความสูงน้อยกว่า 500 เมตร

เหนือระดับน้ำทะเล มีความหลากหลายรวมมากกว่า ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ระดับความสูงมากกว่า 500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล และข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่นำมาศึกษาครั้งนี้มีโครงสร้างประชากรแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ตามชนิดย่อย ได้แก่ กลุ่ม *indica* และ กลุ่ม *tropical japonica* และมีโครงสร้างย่อยแบ่งตามระดับความสูง เป็นผลมาจากการจัดการของเกษตรกร และการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมท้องถิ่น จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ความหลากหลายทางพันธุกรรมของลักษณะทางสัณฐานที่ปรากฏมีความสัมพันธ์กับความหลากหลายในระดับโมเลกุล ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางอนุรักษ์ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูงในสภาพท้องถิ่น (*in situ* conservation) เพื่อให้ได้ลักษณะที่มีการปรับตัวและวิวัฒนาการตามสภาพธรรมชาติ และนอกสภาพท้องถิ่น (*ex situ* conservation) โดยเป็นการเก็บรักษาพืชพื้นเมืองที่พบนอกแหล่งเดิม และนำแหล่งพันธุกรรมมาศึกษาลักษณะที่เป็นประโยชน์ เพื่อจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ รวมถึงนำมาใช้ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเกษตรกรในพื้นที่ภาคเหนือที่อนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ในการศึกษา ขอขอบคุณงบประมาณในการวิจัย จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (TRG5780091) สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2549. การจำแนกเขตและแนวทางการบริหารจัดการธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดเชียงราย. เอกสารวิชาการ. สถาบันธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดเชียงราย, เชียงราย. 41 หน้า.

ดำเนิน กาละดี. 2546. ความแตกต่างทางพันธุกรรมภายในประชากรกับการเกิดเมล็ดลีบของพันธุ์

ข้าวไร่พื้นเมืองโบราณที่บ้านแสนใจใหม่ ต. แม่สลอง อ. แม่ฟ้าหลวง จ. เชียงราย. เอกสารวิชาการ. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 42 หน้า.

พิทวัส สมบูรณ์ ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย ต่อนภา ผุสดี และ ศันสนีย์ จำจด. 2560. การกระจายตัวทางพันธุกรรมของปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าวลูกผสมข้าวที่ 2 ระหว่างข้าวเหนียวดำจากที่สูงและข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกที่ลุ่มและที่สูง. วารสารเกษตร 33(3): 323-332.

Brown, A.H.D. 1978. Isozymes, plant population genetic structure and genetic conservation. *Theoretical and Applied Genetics* 52(4): 145-157.

Cavalli-Sforza, L.L. and A.W.F. Edwards. 1967. Phylogenetic analysis: models and estimation procedures. *Evolution* 21(3): 550-570.

Chang, T.T. and H.I. Oka. 1976. Genetic variousness in the climatic adaptation of rice cultivars. pp. 87-111. *In*: R. Kisimoto and V.A. Dyck (eds.). *Proceedings of the Symposium on Climate and Rice*. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

Chen, X., S. Temnykh, Y. Xu, Y.G. Cho and S.R. McCouch. 1997. Development of a microsatellite framework map providing genome-wide coverage in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 95(4): 553-567.

Coffey, K. 2002. Quantitative methods for the analysis of agrobiodiversity. pp. 78-95. *In*: H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons and M. Stocking (eds.). *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*. Intermediate

- Technology Development Group Publishing, London.
- Cui, D., C. Tang, J. Li, X.A. T. Yu, X. Ma, E. Zhang, Y. Wang, G. Cao, F. Xu, L. Dai, L. Han and H. J. Koh. 2017. Genetic structure and isolation by altitude in rice landraces of Yunnan, China revealed by nucleotide and microsatellite marker polymorphisms. Plos One 12(4): e0175731.
- Doyle, J. J. and J. L. Doyle. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Focus 12: 13-15.
- Earl, D.A. and B.M. Vonholdt. 2012. STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. Conservation Genetics Resources 4(2): 359-361.
- Evanno, G., S. Regnaut and J. Goudet. 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. Molecular Ecology 14(8): 2611-2620.
- Frankel, O.H., A.H. Brown and J.J. Burdon. 1995. The Conservation of Plant Biodiversity. Cambridge University Press, Cambridge. 301 p.
- Frei, E.R., J. Ghazoul, P. Matter, M. Heggli and A.R. Pluess. 2014. Plant population differentiation and climate change: responses of grassland species along an elevational gradient. Global Change Biology 20(2) : 441-455.
- Garris, A.J., T.H. Tai, J. Coburn, S. Kresovich and S. McCouch. 2005. Genetic structure and diversity in *Oryza sativa* L. Genetics 169(3): 1631-1638.
- Goudet, J. 2001. FSTAT, a program to estimate and test gene diversity and fixation indices (version 2.9. 3). (Online). Available: <https://www2.unil.ch/popgen/softwares/fstat.htm> (October 11, 2016).
- Hardon, J., D. Duwick and B. Visser. 2000. Genetic diversity, conservation and development. pp. 1-7. In: A. Conny and D.B. Walter (eds.). Encouraging Diversity: the Conservation and Development of Plant Genetic Resources. Intermediate Technology Publications Ltd., London.
- Harlan, J.R. 1975. Crop and Man. American Society of Agronomy. The American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin. 284 p.
- IRRI. 1980. Descriptors for Rice, *Oryza sativa* L. International Rice Research Institute, Manila. 21 p.
- Liu, K. and S.V. Muse. 2005. PowerMarker: an integrated analysis environment for genetic marker analysis. Bioinformatics 21(9): 2128-2129.
- Ni, J., P.M. Colowit and D.J. Mackill. 2002. Evaluation of genetic diversity in rice subspecies using microsatellite markers. Crop Science 42(2): 601-607.
- Ohsawa, T. and Y. Ide. 2008. Global patterns of genetic variation in plant species along vertical and horizontal gradients on mountains. Global Ecology and Biogeography 17(2): 152-163.
- Okoshi, M., K. Matsuno, K. Okuno, M. Ogawa, T. Itani and T. Fujimura. 2016. Genetic diversity in Japanese aromatic rice (*Oryza sativa* L.) as revealed by nuclear and organelle DNA markers. Genetic Resources and Crop Evolution 63(2):199-208.
- Peakall, R. and P.E. Smouse. 2006. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research.

- Molecular Ecology Resources 6(1): 288-295.
- Phanthaboun, K. 2009. Genetic diversity of local rice varieties in Luang Prabang, Lao. M. S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 109 p.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology 13: 131-144.
- Pritchard, J.K. and W. Wen. 2004. Documentation for STRUCTURE software: Vers. 2. (Online). Available: <https://web.stanford.edu/group/pritchardlab/software/readme/readme.html> (October 23, 2016).
- Pritchard, J.K., M. Stephens and P. Donnelly. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. Genetics 155(2): 945-959.
- Pusadee, T., S. Jamjod, Y.C. Chiang, B. Rerkasem and B.A. Schaal. 2009. Genetic structure and isolation by distance in a landrace of Thai rice. Proceedings of the National Academy of Sciences 106(33) : 13880-13885.
- Rerkasem, B. and K. Rerkasem. 2002. Agrodiversity for *in situ* conservation of Thailand's native rice germplasm. Chiang Mai University Journal 1(2): 129-148.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University Illinois Press, Urbana, Illinois. 117 p.
- Songqiao, Z. 1991. Historical development and geographic distribution of agriculture (farming) in China. Geographical Research 10(1): 1-11.
- Tamura, K., D. Peterson, N. Peterson, G. Stecher, M. Nei and S. Kumar. 2011. MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. Molecular Biology and Evolution 28(10): 2731-2739.
- Temnykh, S., G. DeClerck, A. Lukashova, L. Lipovich, S. Cartinhour and S. McCouch. 2001. Computational and experimental analysis of microsatellites in rice (*Oryza sativa* L.): frequency, length variation, transposon associations, and genetic marker potential. Genome Research 11(8): 1441-1452.
- Temnykh, S., W.D. Park, N. Ayres, S. Cartinhour, N. Hauck, L. Lipovich and S.R. McCouch. 2000. Mapping and genome organization of microsatellite sequences in rice (*Oryza sativa* L.). Theoretical and Applied Genetics 100(5): 697-712.
- Thomson, M.J., N.R. Polato, J. Prasetyono, K.R. Trijatmiko, T.S. Silitonga and S.R. McCouch. 2009. Genetic diversity of isolated populations of Indonesian landraces of rice (*Oryza sativa* L.) collected in east Kalimantan on the island of Borneo. Rice 2(1): 80-92.
- Wu, K.S. and S.D. Tanksley. 1993. Abundance, polymorphism and genetic mapping of microsatellites in rice. Molecular and General Genetics 241(1): 225-235.
- Xiong, Z., S. Zhang, Y. Wang, B.V. Ford-Lloyd, M. Tu, X. Jin, Y. Wu, H. Yan, X. Yang, P. Liu and B.R. Lu. 2010. Differentiation and distribution of indica and japonica rice varieties along the altitude gradients in Yunnan province of China as revealed by InDel molecular markers. Genetic Resources and Crop Evolution 57(6): 891-902.

ผลของฤดูกาลต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดดาวอินคา

Seasonal Effects on Seed Yield and Quality of Sacha Inchi

กนกวรรณ ละอออง สุปกรณ์ ญะเมืองมอญ สุชาดา จำรัส จีราภรณ์ วีระดิษฐ์กิจ
และ ชนาکانต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย*

Kanokwan Laororng, Supaporn Yamuangmorn, Suchada Jumrus, Jeeraporn Veeradittakit
and Chanakan Thebault Prom-u-thai*

สาขาวิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
Division of Agronomy, Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture Chiang Mai University,
Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: chanakan.p@cmu.ac.th; chanakan15@hotmail.com

(Received: 27 September 2018; Accepted: 17 December 2018)

Abstract: Sacha inchi is claimed among health conscious people as high nutritional value plant in protecting against several diseases such as high cholesterol and diabetes. Its cultivation is widely interested among farmers in several regions of Thailand. This experiment was to evaluate the effect of production seasons on seed yield and nutritional quality of sacha inchi. The experiment was arranged in completely randomize design (CRD) in 3 seasons. The pod yield of sacha inchi was collected in 3 different seasons (dry, rainy and late rainy) during 2016-2017 which 10 plants were collected in each season. The collected seeds were also analyzed for percent oil yield and fatty acid profile in comparison between the seasons. The dry and late rainy seasons were found to have 20.3% and 20.0% higher pod and seed dry weight than the rainy season, respectively. The seed set in late rainy season was about 4.2% higher than in the dry and rainy seasons. The oil yield extracted from the seeds in late rainy season was 6.7% higher than in the dry and rainy seasons and the similar result was also observed in fatty acid profile. This study investigated that production seasons had affected on both seed yield and nutritional quality of sacha inchi. The information is very useful for management of sacha inchi cultivation in order to maximize the benefit of both yield and nutritional qualities. The future study is requiring increasing the number of experimental locations to further confirm the effect of production season on yield and nutritional quality in sacha inchi.

Keywords: Sacha inchi, fatty acid, seed quality, season, healthy food

บทคัดย่อ: ดาวอินคากำลังได้รับความสนใจนำมาปลูกอย่างแพร่หลายในกลุ่มเกษตรกรหลายพื้นที่ในประเทศไทย เนื่องจากผลผลิตที่ให้ผลตอบแทนสูงอย่างต่อเนื่องและมีคุณค่าทางโภชนาการที่สามารถนำไปใช้ในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคสำคัญหลายชนิด เช่น โรคไขมันและเบาหวาน เป็นต้น จึงเป็นที่ต้องการในกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพเป็นอย่างมาก การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแปรปรวนของผลผลิตและคุณภาพทางโภชนาการในเมล็ดของดาวอินคาที่ให้ผลผลิตในฤดูกาลที่แตกต่างกัน โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomize design (CRD) เก็บผลผลิตใน 3 ฤดู ฤดูกาลละ 10 ต้น โดยปลูกดาวอินคาทั้งหมด 30 ต้น ระยะปลูกเท่ากับ 2x2 เมตร เก็บผลผลิตฝักของดาวอินคา 3 ฤดูกาลที่แตกต่างกันคือฤดูแล้ง ฤดูฝน และฤดูปลายฝน ผลการทดลองพบว่าในฤดูแล้งและปลายฝนให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งฝักและเมล็ดสูงที่สุด โดยมีน้ำหนักแห้งฝักและเมล็ดมากกว่าในฤดูฝน 20.3% และ 20.0% ตามลำดับ ส่วนการติดเมล็ดพบว่าฤดูปลายฝนมีการติดเมล็ดมากกว่าในฤดูฝนและฤดูแล้ง 4.2% และปริมาณน้ำมันพบว่าในฤดูปลายฝนจะมีปริมาณน้ำมันมากกว่าฤดูแล้งและฤดูฝน 6.7% เช่นเดียวกับปริมาณกรดไขมันที่พบว่าในฤดูหนาวมีปริมาณกรดไขมันชนิดต่าง ๆ สูงกว่าฤดูแล้งและฤดูฝน การทดลองนี้บ่งชี้ว่าฤดูกาลผลิตมีผลต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการในเมล็ดดาวอินคา ซึ่งข้อมูลจากการทดลองนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการจัดการในการปลูกดาวอินคาเพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม การเพิ่มสถานที่ในการปลูกเพื่อวัตถุประสงค์ของสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาลและสถานที่ปลูกต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของดาวอินคาควรจะมีการศึกษาเพื่อการยืนยันผลการทดลองต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: ดาวอินคา กรดไขมัน คุณภาพเมล็ด ฤดูกาล อาหารสุขภาพ

คำนำ

ดาวอินคามีชื่อสามัญคือ *sacha Inchi* ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Plukenetia volubilis* L. จัดเป็นพืชในกลุ่มที่ให้ไขมันอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae พบครั้งแรกบริเวณลุ่มน้ำอะเมซอนแถบประเทศเปรู สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตรภูมิประเทศที่มีอากาศอบอุ่น อย่างไรก็ตาม พืชชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิค่อนข้างกว้างตั้งแต่ 10-36 องศาเซลเซียส (Gillespie, 2007) ในประเทศจีนมีรายงานการปลูกดาวอินคาเป็นจำนวนมากที่เมืองสิบสองปันนามณฑลยูนนาน (กรมเศรษฐกิจระหว่างประเทศ, 2557) สำหรับในประเทศไทยพบว่าการปลูกดาวอินคาจำนวนมากในหลายจังหวัด เช่น พิษณุโลก เชียงใหม่ และ สุโขทัย เป็นต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559) และมีแนวโน้มในการขยายพื้นที่ในการปลูกเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมล็ดมีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถนำมาแปรรูปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพและยารักษาโรคได้หลากหลาย เช่น โรคไขมันและเบาหวาน น้ำมันดาวอินคามีประสิทธิภาพในการเพิ่มระดับอินซูลินในเลือดมีผลต่อการรักษาระดับน้ำตาลในเลือดและลดระดับไขมันและคลอเลสเตอรอลในเลือดของ

ผู้ป่วยที่มีปัญหาระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดสูง (Garmendia *et al.*, 2011) ส่วนเมล็ดของดาวอินคาพบว่าอุดมไปด้วยน้ำมัน โปรตีนและแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Gutiérrez *et al.*, 2011) สำหรับกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ในเมล็ดพบว่าประกอบไปด้วยโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 ในปริมาณสูงถึง 50.8% และ 33.4% ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโอเมก้า 3 ที่พบสามารถช่วยส่งเสริมความสามารถของสติปัญญา ชะลอความเสื่อมและบำรุงสมอง เนื่องจากมีผลต่อการทำงานของช่องทางผ่านไอออน (ion channels) และการส่งผ่านสัญญาณของระบบประสาท การทำงานของตัวรับสัญญาณสื่อประสาทในสมอง และเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์สมอง ซึ่งมีผลต่อการนำกระแสประสาท (Yehuda *et al.*, 1995) ดังนั้นดาวอินคาเป็นพืชที่มีคุณค่าทางด้านอาหารและยาเป็นอย่างมาก สามารถส่งเสริมให้มีการปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจ เพื่อยกระดับรายได้ของเกษตรกรในประเทศไทยในวงกว้าง

ดาวอินคาเป็นพืชที่สามารถขยายพันธุ์โดยใช้ส่วนของเมล็ดมาเพาะเป็นต้นกล้าและนำไปปลูกในแปลง โดยเริ่มให้ผลผลิตเมื่อมีอายุได้ประมาณ 5-8 เดือน และมีอายุขัยยาวประมาณ 20-40 ปี (Gillespie, 2007) สามารถ

เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตลอดทั้งปี แต่ยังไม่มียางานว่าผลผลิตและคุณภาพเมล็ดของดาวอินคานั้นแปรปรวนตามฤดูกาลในการปลูกอย่างไร ทำให้ยังขาดข้อมูลศักยภาพในการให้ผลผลิตทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพในเมล็ดของดาวอินคาในแต่ละฤดูกาลเพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณภาพเมล็ดที่มีประสิทธิภาพสูงจำเป็นต้องศึกษาอิทธิพลของฤดูกาลต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดดาวอินคา เพื่อกำหนดแนวทางในการผลิตได้อย่างมีศักยภาพ การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลของฤดูกาลต่อการให้ผลผลิตและคุณภาพเมล็ดของดาวอินคา ผลจากการทดลองทดลองนี้จะสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดศักยภาพการผลิตดาวอินคาทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพได้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การปลูกและเก็บข้อมูล

ดำเนินการวิจัยที่ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2559 - เมษายน พ.ศ.2561 วางแผนการทดลองแบบ completely randomize design (CRD) เก็บผลผลิตใน 3 ฤดูกาล ๗ ละ 10 ต้น โดยปลูกดาวอินคาทั้งหมด 30 ต้น ระยะปลูกเท่ากับ 2x2 เมตร ในแปลงขนาด 120 ตารางเมตร โดยเฉพาะเมล็ดดาวอินคาที่ได้รับการสนับสนุนมาจากบริษัทซีไอ โอเมก้าฟลันท์ จำกัด จนได้ต้นกล้าที่มีอายุ 30 วัน หลังจากนั้นย้ายปลูกลงแปลงที่เตรียมไว้ เมื่อเข้าสู่เดือนที่ 5-8 เริ่มเก็บข้อมูลผลผลิตในแต่ละเดือนโดยแบ่งตามฤดูกาล 3 ฤดูดังนี้คือ 1) ฤดูแล้งเริ่มตั้งแต่เดือนปลายเดือนกุมภาพันธ์-เดือนพฤษภาคม 2) ฤดูฝนตั้งแต่เดือนมิถุนายน-เดือนกันยายน และ 3) ฤดูปลายฝนตั้งแต่เดือนตุลาคม-เดือนมกราคม โดยสุ่มเก็บฝักดาวอินคาในแต่ละต้นจำนวน 30 ฝักแต่ละเดือนในแต่ละฤดูกาล นำไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จนน้ำหนักคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักแห้งของส่วนประกอบฝักดาวอินคา หลังจากนั้นแยกเมล็ดดาวอินคาออกจากฝักเพื่อชั่งน้ำหนักแห้งรวมและเมล็ดเดี่ยว เก็บข้อมูลสภาพอากาศทั้ง 3 ฤดูตามฤดูกาลเก็บ

เกี่ยวจากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งห่างจากแหล่งที่ปลูกดาวอินคาประมาณ 3 กิโลเมตร

การวิเคราะห์ทางเคมี

นำเมล็ดที่แกะเปลือกแล้วมาบดละเอียดเพื่อหาปริมาณน้ำมันและกรดไขมันในเมล็ดดาวอินคาโดยใช้เครื่องสกัดไขมันแบบ Soxhlet extraction unit (E-812 SOX) (Niu *et al.*, 2014) ชั่งน้ำหนักเมล็ดดาวอินคาบดละเอียดจำนวน 2.5 กรัม สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (hexane) และคำนวณเปอร์เซ็นต์ไขมันที่สกัดได้จากน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการสกัดทั้งหมด จากนั้นนำน้ำมันที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันโดยใช้วิธี Gas chromatograph - flame ionization detector (GC-FID) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-17A ตามวิธีการของ (AOAC, 1995; Chirinos *et al.*, 2015) โดยใช้ syringe ดูดสารตัวอย่างที่สกัดแล้วปริมาตร 1 ไมโครลิตร ฉีดเข้าเครื่อง GC-FID นำ chromatogram ที่ได้มาวิเคราะห์ retention time เพื่อเปรียบเทียบ ความแตกต่างของปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิดในตัวอย่างที่เก็บมาแต่ฤดูกาล

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีโดยหาค่า least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลอง

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในแต่ละฤดูปลูก

สภาพอากาศทั้ง 3 ฤดูกาลพบว่า มีความแปรปรวนของระดับอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้น และจำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสงในแต่ละฤดูกาล (ตารางที่ 1) โดยพบว่าฤดูแล้งมีระดับอุณหภูมิแตกต่างกันแต่ละวันอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 13.0-40.5 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยที่ 28.3 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 0-124.8 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย 4.5 มิลลิเมตร ความชื้นอยู่ในช่วง 19.0-96.0% มีค่าเฉลี่ยที่ 64.5% และจำนวนชั่วโมงที่

Table 1. Temperature, rain fall, relative humidity and hour of sunshine each day during three seasons (dry, rainy and late rainy) in 2016-2017 at demonstration field, Agronomy division, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University where the experiment is located

	Season		
	Dry	Rainy	Late rainy
Temperature (°C)			
Range	13.0-40.5	22.3-35.9	9.6-35.5
Mean	28.3	27.8	24.0
SD	2.5	1.0	2.5
CV (%)	8.8	3.6	10.4
Rain fall (mm)			
Range	0-124.8	0-51.2	0-29.2
Mean	4.5	6.2	1.9
SD	14.3	9.7	3.4
CV (%)	317.7	156.4	178.9
Relative humidity (%)			
Range	19.0-96.0	48.0-96.0	24.0-96.0
Mean	64.5	77.7	73.1
SD	9.0	11.3	7.6
CV (%)	13.9	14.5	10.4
Hour of sunshine (h)			
Range	0-11.9	0-11.2	0-11.4
Mean	8.3	4.1	6.6
SD	2.9	3.1	3.3
CV (%)	34.9	75.6	50.0

Sources: Northern Meteorological Center (2017, 2018)

ได้รับแสงอยู่ในช่วง 0-11.9 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 8.3 ชั่วโมง ส่วนในฤดูฝนพบว่ามียกระดับอุณหภูมิที่ต่ำสุดสูงกว่าแต่ระดับอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าฤดูร้อนอยู่ในช่วง 22.3-35.9 องศาเซลเซียส แต่มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากฤดูแล้งที่ 27.8 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 0-51.2 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยมากกว่าในฤดูแล้งที่ 6.1 มิลลิเมตร ความชื้นในช่วง 48.0-96.0% มีค่าเฉลี่ย 77.7% และจำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสงอยู่ในช่วง 0-11.2 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 4.1 ชั่วโมง และในฤดูปลายฝนพบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 9.6-35.5 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดจากทั้ง 3 ฤดูกาลที่ 24.0 องศาเซลเซียส และมีปริมาณน้ำฝนน้อย

กว่าทั้งสองฤดู อยู่ในช่วง 0-29.2 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย 1.9 มิลลิเมตรและ ความชื้นอยู่ในช่วง 24.0-96.0% มีค่าเฉลี่ย 73.1% และจำนวนวันที่ได้รับแสงในช่วง 0-11.4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 6.6 ชั่วโมง

ผลผลิตเมล็ด

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ผลผลิต การติดเมล็ด และปริมาณน้ำมันดาวอินคา มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 2) ฤดูกาลมีผลต่อน้ำหนักแห้งฝัก โดยในฤดูแล้งและฤดูปลายฝนมีน้ำหนักแห้งฝักสูงที่สุดเฉลี่ย

6.8 กรัมต่อฝัก ในขณะที่ฤดูฝนมีน้ำหนักแห้งฝักน้อยที่สุดคือ 5.55 กรัมต่อฝัก (ภาพที่ 1a) น้ำหนักเมล็ดรวมมีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล โดยในฤดูฝนพบว่าน้ำหนักแห้งเมล็ดรวมน้อยที่สุดคือ 2.8 กรัมต่อฝัก ส่วนในฤดูแล้งและฤดูปลายฝนมีน้ำหนักแห้งเมล็ดรวมสูงที่สุดเฉลี่ย 3.5 กรัมต่อฝัก (ภาพที่ 1b) นอกจากนี้ฤดูกาลยังมีผลต่อน้ำหนักแห้งแต่ละเมล็ด โดยในฤดูฝนพบว่าน้ำหนักแห้ง

เมล็ดเดียวน้อยที่สุดคือ 0.7 กรัมต่อเมล็ด ส่วนในฤดูปลายฝนและฤดูแล้งมีน้ำหนักแห้งเมล็ดเดี่ยวสูงที่สุดเฉลี่ย 0.9 กรัมต่อเมล็ด (ภาพที่ 1c) นอกจากนี้ยังพบว่าฤดูกาลมีผลต่อการติดเมล็ดของดาวอินคาโดยเฉพาะในฤดูปลายฝนพบว่าการติดเมล็ดมากที่สุดคือ 96.7% ส่วนในฤดูแล้งและฤดูฝนมีการติดเมล็ดน้อยที่สุดเฉลี่ย 92.5% (ภาพที่ 2a)

Table 2. Means of three different seasons (dry, rainy, late rainy) in 2017-2018 on seed yield of sachu inchi

Season	Dry weight (g)			Seed set (%)	Oil yield (%)
	Pod	Total seed	Individual seed		
Dry	6.84 a	3.56 a	0.90 a	93.04 a	49.03 b
Rainy	5.55 b	2.89 b	0.76 b	91.91 b	50.59 b
Late rainy	6.85 a	3.76 a	0.94 c	96.77 a	56.17 a
F-test	**	**	**	**	*
CV (%)	14.6	15.8	14.9	3.6	11.1
LSD(0.05)	0.78	0.44	0.11	2.84	4.79

*, ** Indicates significant difference at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively. Significant difference within column at $P<0.05$ indicated by different lowercase letters

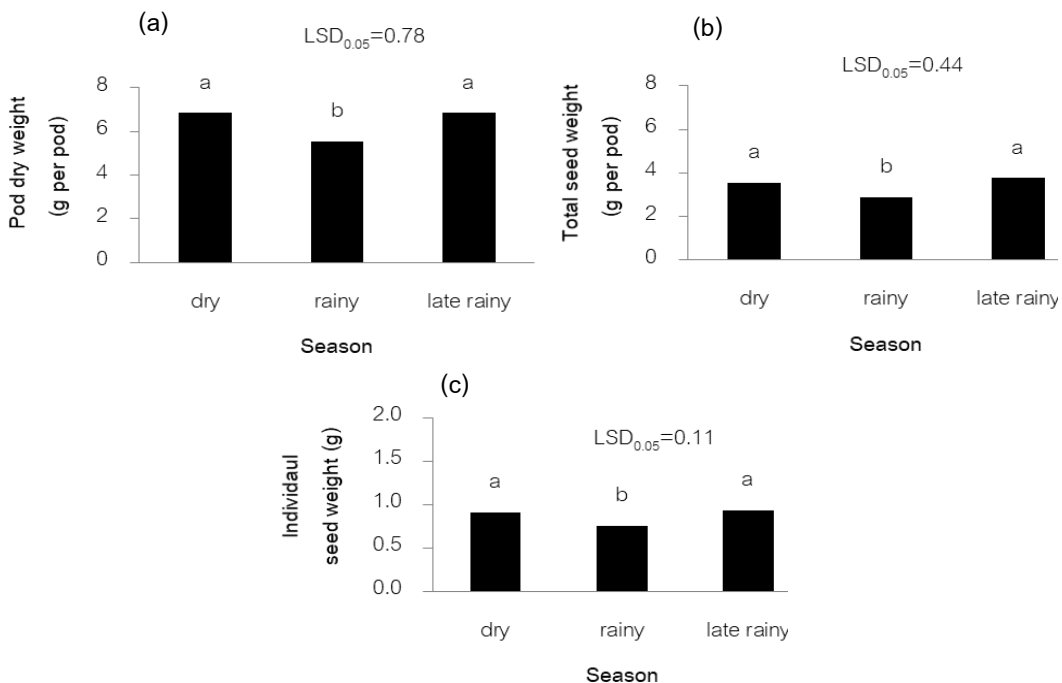


Figure 1. Dry weight of pod (a), total seed (b) and individual seed (c) in sachu inchi among three different seasons (dry, rainy and late rainy). Significant difference at $P<0.05$ indicated by different lowercase letters above the bars

ปริมาณน้ำมันในเมล็ด

ฤดูกาลมีผลต่อปริมาณน้ำมันของดาวอินคาโดยพบว่าฤดูปลายฝนมีปริมาณน้ำมันมากที่สุดคือ 56.2% ส่วนในฤดูแล้งและฤดูฝนมีปริมาณน้ำมันน้อยที่สุดเฉลี่ย 49.5% (ภาพที่ 2b)

ปริมาณกรดไขมัน

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าฤดูกาลมีผลต่อปริมาณกรดไขมันในเมล็ดดาวอินคาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 3) พบว่าในฤดูหนาวมีปริมาณกรดไขมันชนิดต่าง ๆ สูงที่สุด ส่วนในฤดูร้อนมีปริมาณกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ต่ำที่สุด ในขณะที่ฤดูกาลไม่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวทรานส์และกรดปาล์มมิกในเมล็ดดาวอินคา

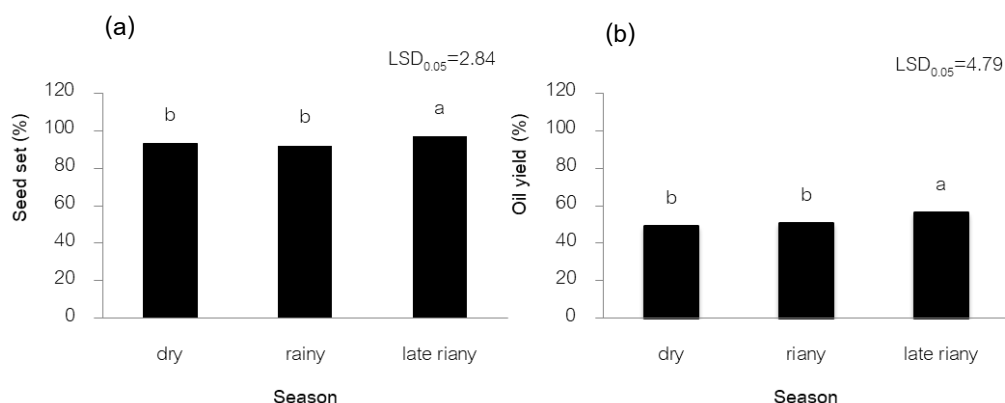


Figure 2. Percent seed set and oil yield of sacha inchi among three different seasons. Significant difference at $P<0.05$ indicated by different lowercase letters above the bars

Table 3. Fatty acid profile of sacha inchi seeds among dry, rainy and late rainy in 2017-2018

Season	Fatty acid (mg per seed)								
	Butyric (C4:0)	Palmitic (C16:0)	Stearic (C18:0)	Oleic (C18:1)	Linoleic (C18:2)	Heneicosanoic (C21:0)	Linolenic (C18:3)	Eicosanoic (C20:1)	Arachidic (C20:0)
Dry	13.3 a	34.8 a	27.4 b	72.7 b	287.3 c	234.5 c	1.2 b	1.2 c	0.8 b
Rainy	22.7 a	38.9 a	29.7 b	86.3 ab	351.7 b	300.7 b	1.6 a	1.6 b	0.9 b
Late rainy	23.4 a	44.3 a	38.9 a	97.0 a	388.8 a	366.9 a	1.8 a	1.8 a	1.1 a
F-test	ns	ns	**	*	**	**	**	**	**
LSD (0.05)	11.5	7.4	5.2	13.7	25.6	45.7	0.2	0.1	0.1

ns, *, ** indicates non-significant difference and significant difference at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively. Significant difference within column at $P<0.05$ indicated by different lowercase letters

วิจารณ์

จากผลการทดลองพบว่าฤดูกาลมีผลต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดดาวอินคา โดยที่ฤดูปลายฝนและฤดูแล้งให้ผลผลิตฝักและเมล็ดสูงสุดมากกว่าฤดูฝน 20.3% และ 20.0% ตามลำดับ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากในฤดูปลายฝนและฤดูแล้งมีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าในฤดูฝนจึงสามารถสร้างผลผลิตฝักและเมล็ดมากกว่า แม้ว่าบางวันในฤดูแล้งจะมีฝนตกเป็นปริมาณมากถึง 124.8 มิลลิเมตร แต่เป็นแค่เพียงวันเดียว ทำให้มีสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนในฤดูแล้งสูงมากเมื่อเทียบกับในฤดูฝนที่มีฝนตกกระจายตัวตลอดทั้งฤดูกาล ซึ่งทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนต่อวันในฤดูฝนสูงกว่าฤดูแล้งและฤดูปลายหนาว เช่นเดียวกับการติดเมล็ดที่พบเช่นเดียวกันในฤดูแล้งและฤดูปลายหนาวมีการติดเมล็ดมากกว่าในฤดูฝนถึง 4.2% แม้ยังไม่มีรายงานในเรื่องดังกล่าวแต่เป็นไปได้ว่าดาวอินคาน่าจะเป็นพืชที่ไม่ชอบน้ำฝนหรือน้ำขังในปริมาณมากซึ่งมีผลต่อการติดเมล็ดของดาวอินคา และการพัฒนาของเมล็ดในฤดูฝนน้อยลง ในขณะที่อุณหภูมิมีผลต่อการติดเมล็ดและน้ำหนักแห้งฝักและเมล็ดน้อยกว่าปริมาณน้ำฝน เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงฤดูแล้งและฤดูปลายฝนไม่มีผลต่อการติดเมล็ดและน้ำหนักแห้งดาวอินคา โดยอาจเป็นสาเหตุทำให้พืชชนิดนี้ปลูกได้ในหลายพื้นที่ทั่วโลกเนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิค่อนข้างกว้างตั้งแต่ 10-36 องศาเซลเซียส (Gillespie, 2007) ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ที่พบว่าผลผลิตของดาวอินคาในฤดูร้อนที่มีการให้น้ำและปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมพร้อมกันมีผลทำให้ผลผลิตของดาวอินคาสูงสุดที่ 65.7 กรัมต่อต้น และพบว่าฤดูปลายหนาว มีการติดเมล็ดของดาวอินคามากที่สุดคือ 96.7% ส่วนในฤดูร้อนและฤดูฝนมีการติดเมล็ดน้อยที่สุดเฉลี่ย 92.5% (Jiao *et al.*, 2012) นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตเมล็ดดาวอินคาในฤดูแล้งและฤดูปลายฝนทำให้ขนาดเมล็ดของดาวอินคาใหญ่ขึ้น โดยมีน้ำหนักเมล็ดเดี่ยวเพิ่มขึ้น 22.2% เมื่อเปรียบเทียบกับฤดูฝน ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่าฤดูฝนนอกจากจะทำให้การติดเมล็ดน้อยลง ผลผลิตน้ำหนักฝัก

และน้ำหนักเมล็ดน้อยลง ยังทำให้ขนาดเมล็ดเล็กลงด้วย เป็นไปได้ว่าฤดูฝนที่มีปริมาณฝนตกเฉลี่ยมากกว่าฤดูอื่น ๆ และยังมีช่วงโหมงการรับแสงต่อวันเฉลี่ยน้อยกว่าฤดูอื่นด้วย (ตารางที่ 1) ซึ่งช่วงโหมงการรับแสงมีผลต่อประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายและการสะสมสารสังเคราะห์ในเมล็ดดาวอินคาทำให้เมล็ดดาวอินคาที่ผลิตในฤดูฝนมีเมล็ดเล็กไปด้วย ในส่วนของปริมาณน้ำมันพบว่ามีผลมาจากฤดูกาลเช่นเดียวกัน โดยในฤดูปลายฝนพบว่าดาวอินคามีการผลิตน้ำมันมากที่สุดคือ 56.2% ส่วนในฤดูฝนและฤดูแล้งมีปริมาณน้ำมันน้อยที่สุดเฉลี่ย 49.5% สอดคล้องกับการทดลองของ Gong *et al.* (2018) ที่พบว่าปริมาณน้ำมันดาวอินคาที่ได้ผลผลิตในเดือนธันวาคมซึ่งเป็นฤดูหนาวมีปริมาณเฉลี่ย 45.3% ซึ่งมากกว่าเดือนมีนาคมที่เป็นฤดูร้อนมีปริมาณน้ำมัน 36.8% นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดไขมันของดาวอินคาในแต่ละฤดูกาลพบว่าฤดูกาลมีผลต่อปริมาณกรดไขมันของดาวอินคา ในฤดูปลายฝนมีปริมาณกรดไขมันชนิดต่าง ๆ สูงกว่าในฤดูแล้งและฤดูฝน ยกเว้นกรดไขมันบิวทริกและกรดปาล์มิติกที่พบว่าฤดูกาลไม่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันในเมล็ดดาวอินคา

การทดลองนี้บ่งชี้ว่าการจัดการในการปลูกดาวอินคาที่ถูกต้องและเหมาะสมสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการในเมล็ดดาวอินคาได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งเป็นส่วนที่ผู้บริโภคคาดหวังที่จากการบริโภคดาวอินคา อย่างไรก็ตาม การเพิ่มสถานที่ในการศึกษาและวิจัยอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ รวมทั้งการจำแนกปัจจัยสภาพภูมิอากาศในการศึกษา จะทำให้สามารถยืนยันและจำแนกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของดาวอินคาได้ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรและผู้บริโภคต่อไป

สรุป

จากการทดลองสรุปได้ว่าฤดูกาลมีผลต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดของดาวอินคา การจัดการการปลูกที่เหมาะสมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตดาวอินคาได้ทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพเมล็ดดาวอินคา

การเก็บผลผลิตในช่วงฤดูแล้งและฤดูปลายฝน ทำให้ได้ผลผลิตมากกว่าในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ฤดูปลายฝนหาวดาวอินคาจะให้คุณค่าทางโภชนาการสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม ผลผลิตทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพของดาวอินคายังมีปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องนอกจากสภาพภูมิอากาศ เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการธาตุอาหารในรูปแบบต่าง ๆ การจัดการน้ำ และการจัดการในการปลูกอื่นๆ เช่น การกำหนดระยะปลูกที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการรับแสงและการสร้างผลผลิต ที่จำเป็นต้องมีการศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการในดาวอินคาที่มีแนวโน้มจะเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับประเทศไทยได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนทุนวิจัยส่วนหนึ่งจากคณะเกษตรศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และการสนับสนุนเมล็ดและต้นกล้าดาวอินคาจากบริษัทซีอีโอ โอเมก้าฟลันท์ จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- กรมเศรษฐกิจระหว่างประเทศ. 2557. ถั่วดาวอินคาพืชเศรษฐกิจและสร้างรายได้. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://www.thaibiz.net/th/news/detail.php?ID=16222&sphrase_id=4694977 (10 กันยายน 2561).
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2559. ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://production.doae.go.th> (25 พฤษภาคม 2560).
- ศูนย์อุตุนิยมหาวิทยาลัยภาคเหนือ. 2560. สถิติภูมิอากาศเชียงใหม่. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.cmmet.tmd.go.th/index1.php> (10 กันยายน 2561).
- ศูนย์อุตุนิยมหาวิทยาลัยภาคเหนือ. 2561. สถิติภูมิอากาศเชียงใหม่. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล:

<http://www.cmmet.tmd.go.th/index1.php> (10 กันยายน 2561).

- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC. Association of Official Analytical Chemists, Arlington. 1289 p.
- Chirinos, R., R. Pedreschi, G. Dominguez and D. Campos. 2015. Comparison of the physico-chemical and phytochemical characteristics of the oil of two *Plukenetia* species. Food Chemistry 173: 1203-1206.
- Garmendia, F., R. Pando and G. Ronceros. 2011. Effect of sachachi oil (*Plukenetia volubilis* L.) on the lipid profile of patients with hyperlipoproteinemia. Revista Peruana De Medicina Experimental Y Salud Publica 28(4): 628-632.
- Gillespie, L.J. 2007. A revision of paleotropical *Plukentia* (Euphorbiaceae) including two new species from Madagascar. Systematic Botany 32(4): 780-802.
- Gong, H.D., Y.J. Geng, C. Yang, D.Y. Jiao, L. Chen and Z.Q. Cai. 2018. Yield and resource use efficiency of *Plukenetia volubilis* plants at two distinct growth stages as affected by irrigation and fertilization. Scientific Reports 8(1): 80.
- Gutiérrez, L.F., L.M. Rosada and A. Jiménez. 2011. Chemical composition of sachachi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. Grasas Y Aceites 62(1): 76-83.
- Jiao, D.Y., M.H. Xiang, W.G. Li and Z.Q. Cai. 2012. Dry-season irrigation and fertilisation affect the growth, reproduction, and seed traits of *Plukenetia volubilis* L. plants in a tropical region. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 87(4): 311-316.

Niu, L., J. Li, M.S. Chen and Z.F. Xu. 2014. Determination of oil contents in sachal inchi (*Plukenetia volubilis*) seed at different developmental stages by two methods: Soxhlet extraction and time-domain nuclear magnetic resonance. Industrial Crops and Products 56: 187-190.

Yehuda, R., R.S. Keefe, P.D. Harvey, R.A. Levengood, D.K. Gerber, J. Geni and L.J. Siever. 1995. Learning and memory in combat veterans with posttraumatic stress disorder. The American Journal of Psychiatry 152(1): 137-139.

Optimum Rate of Nitrogen Fertilizer for Garlic Production
in Khun Yuam District, Mae Hong Son Province

อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระเทียม
ในอำเภอขุนยวม จังหวัดแม่ฮ่องสอน

Anusara Innoi¹, Kaewalin Kunasakdakul² and Choochad Santasup^{1*}

อนุสรา อินน้อย¹ เกวาลิน คุณาศักดากุล² และ ชูชาติ สันทรทรัพย์^{1*}

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

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

*Corresponding author: Email: santasup@gmail.com

(Received: 27 September 2018; Accepted: 17 December 2018)

บทคัดย่อ: การศึกษาอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระเทียม ได้ดำเนินการทดลองในพื้นที่ปลูกกระเทียมของเกษตรกรในอำเภอขุนยวม จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (randomized complete block design, RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธีทดลอง ประกอบไปด้วยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่แตกต่างกัน 4 กรรมวิธี คือ 62.50, 93.75, 125.00 และ 193.75 กก. N/เฮกตาร์ โดยมีกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยเป็นชุดควบคุม จากผลการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่แตกต่างกัน (62.50-193.75 กก. N/เฮกตาร์) ไม่ทำให้ค่าเฉลี่ยของความสูงจำนวนใบ เส้นผ่านศูนย์กลางหัว น้ำหนักแห้ง ปริมาณผลผลิต น้ำหนักต่อหัว ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในหัวกระเทียม การสูญเสียน้ำหนัก และเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของกลีบกระเทียมในช่วงเก็บรักษา แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 125.00 กก. N/เฮกตาร์ ทำให้ปริมาณผลผลิตเฉลี่ย (20.8 ตัน/เฮกตาร์) เส้นผ่านศูนย์กลางหัวเฉลี่ย (41.25 มม.) และน้ำหนักต่อหัวเฉลี่ย (26.09 กรัม/หัว) ของกระเทียมสูงที่สุด อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 62.50 กก. N/เฮกตาร์ เพียงพอต่อการผลิตกระเทียมสดและคุณภาพของกระเทียมเพื่อใช้เป็นหัวพันธุ์ โดยกระเทียมให้ผลผลิตเฉลี่ย 20.2 ตัน/เฮกตาร์ เส้นผ่านศูนย์กลางหัวเฉลี่ย 40.45 มม. น้ำหนักต่อหัวเฉลี่ย 23.31 กรัม/หัว เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักและความเสียหายของกลีบกระเทียมเฉลี่ยในช่วงเก็บรักษาเฉลี่ยเท่ากับ 54.82% และ 4.73% ตามลำดับ

คำสำคัญ: กระเทียม ปุ๋ยไนโตรเจน การเจริญเติบโต ผลผลิต คุณภาพของกระเทียม

Abstract: The study on the optimum rate of nitrogen fertilizer for garlic production was conducted in farmer's field at Khun Yuam district, Mae Hong Son province. The experiment design was randomized complete block design (RCBD) with 4 replications and 5 treatments. The treatments consisted of 4 rates of nitrogen fertilizer (62.50, 93.75, 125.00 and 193.75 kg N/ha). Non-fertilized was used as a control treatment. The result revealed that application of nitrogen fertilizer at different rates (62.50-193.75 kg N/ha) were not significantly different on average plant height, the number of leaves, bulb diameter, dry weight, fresh yield, bulb weight, nutrient concentration, weight loss and the percentage of damage cloves. Application of nitrogen fertilizer at the rate of 125.00 kg N/ha produced the highest fresh yield (20.8 t/ha), bulb diameter (41.25 mm) and bulb weight (26.09 g/bulb). However, the results from this study suggested that application of nitrogen fertilizer at the rate of 62.50 kg N/ha was sufficient for producing good yield and bulb quality of garlic. The average fresh yield, bulb diameter, bulb weight, percentage of weight loss and damage cloves were as follows: 20.2 t/ha, 40.45 mm, 23.31 g/bulb, 54.82% and 4.73%, respectively.

Keywords: Garlic, nitrogen fertilizer, growth, yield, quality of garlic

Introduction

Garlic (*Allium sativum* L.) is a member of Alliaceae family which includes important vegetable crops such as onion, leek, chive and shallot. Garlic has been used throughout ancient history for culinary and medicinal purposes (Pandey, 2012). Worldwide garlic is grown about 1.5 million hectares with the total production of 26 million tons (FAO, 2015). Asia produces most of the world's garlic crop. The production of garlic in Thailand is cultivated over 90% of total area in the north with the total production of 70 thousand tons. (Office of Agricultural Economics, 2016). Good qualities of garlic like, large bulb size, long shelf-life and least damaged cloves are key factors influencing farmers' decision-making to use and purchase garlic. Normally, garlic is widely used for consuming and propagation. Therefore, improving garlic yield and storage quality are desirable attributes for growers and consumers. Nonetheless, the successful commercial production of garlic crop depends on several factors such as variety, nutrients, cultivation practices, climate, etc.

Nutrient management plays an important role for growth, yield and quality (Singh *et al.*, 2015). However, fertilizer requirements of garlic crop vary with fertility status of the soil, a variety of the crop and purpose for which the crop is grown (Diriba-Shiferaw, 2016). Innoi and Santasup (2016) reported that the nutrient uptake of garlic were 77.5 kg N/ha, 30.6 kg P₂O₅/ha, and 90.6 kg K₂O/ha, respectively.

Nitrogen (N) is an essential nutrient for plant growth and crop yield, being a constituent of protein, amino acids, chlorophyll, nucleic acid and cell wall (Neeteson, 1995). Nitrogen fertilization can have a significant effect on plant growth and development (Welbaum, 2015). According to a previous research, it was revealed that the appropriate nitrogen fertilizer rate could significantly improve the bulb size and yield of garlic (Kakar *et al.*, 2002; Zaman *et al.*, 2011). Ebrahimi *et al.* (2014) reported that the maximum plant height, shoot dry weight and leaf number were achieved on the application of 125 kg N/ha and the highest bulb yield was obtained with application of 100 kg N/ha. Kilgori *et al.* (2007) suggested that the combined application of 120 kg

N/ha and 50 kg P_2O_5 /ha could result in highest yield whereas higher dosage of 180 to 240 kg N/ha reduced the bulb yield. Zaman *et al.* (2011) observed that the maximum garlic yield was obtained from the treatment receiving 150 kg N/ha. Farooqui *et al.* (2009) recorded the highest growth and yield of garlic with the combination of 200 kg N/ha and 60 kg S/ha. Hore *et al.* (2014) noted that combination of 200 kg N/ha, 125 kg P_2O_5 /ha, 150 K_2O /ha and 60 kg S/ha performed the maximum garlic yield. Although excess nitrogen stimulates the growth of foliage leaves but inhibits and delays bulb formation (Meredith, 2008). Shelf-life of garlic, garlic bulb pungency, total soluble solids and dry matter content rely on the correct level of fertilizer, soil types, the season of production and storage conditions (Diriba-Shiferaw *et al.*, 2013). Nutritional compositions and allicin concentration of garlic depends on the environment, harvest time and cultivar (Somsu *et al.*, 2016). Application of the nutrients over the optimum level would reduce bulb yield (Islam *et al.*, 2012). Moreover, most garlic growers in the study area (Mae Hong Son province) attempt to increase productivity and quality of garlic by applying chemical fertilizer (125-187.5 kg N/ha (Kunasakdakul *et al.*, 2015)). This may be due to unscientific cultivation which simply and increases production cost. Thus, it is necessary to evaluate the suitable rate of nitrogen fertilizer for successful garlic production and fertilizer use efficiency. Hence, the objective of this study was to examine the effect of nitrogen fertilizer levels on growth, yield and quality of garlic.

Materials and Methods

Study area and experimental design: The experiment was conducted on farmer's field at Khun

Yuam district, Mae Hong Son province, northern Thailand during December 2014-April 2015. The initial soil properties at the experiment site were sandy loam (61% sand, 26% silt and 13% clay), pH 5.73, containing 2.2% of organic matter, 42.7 mg/kg of available phosphorus, 118.3, 553.5, 115.1 mg/kg of exchangeable K, Ca and Mg, respectively and 13.5 mg/kg of extractable S with an EC of 40.5 $\mu S/cm$. Compost (AG-5) (N=1.52%, P_2O_5 =1.05%, K_2O =0.63%) was applied 6.25 ton/ha in the soil except for farmer practice treatment at 2 weeks before planting. The experimental plot size was 8 x 8 m. Cloves were planted in the spacing of 15 x 15 cm, then the plots were mulched with rice straw after planting. A local variety of garlic (softneck) was planted in a randomized complete block design with 4 replications. Five treatments were control (non-fertilized), three levels (62.5, 93.75 and 125 kg N/ha) of nitrogen fertilizer. P_2O_5 and K_2O fertilizers were applied at the rate of 75 kg P_2O_5 /ha and 125 kg K_2O /ha and the fourth nitrogen level which was equal to farmer practice was applied at 193.75 kg N/ha (137.5 kg P_2O_5 /ha, 137.5 kg K_2O /ha). Calcium nitrate (15-0-0), potassium sulfate (0-0-50) and other compound fertilizers (15-15-15, 25-7-7, 8-24-24) were used as N P and K sources in the experiment. Fertilizers were separated application 3 times, 20% of total fertilizer at basal application, 20% of total fertilizer at 30 days after planning (DAP) and 60% of total fertilizer at 60 DAP. Weed and pest controls were performed as necessary. A fresh yield of garlic was harvested at 110 DAP. Garlic yields were stored in the barn at ambient temperature as common farmers practise.

Data collection: Plant samples were randomly collected within the 0.25 m^2 for measuring plant growth at 30, 45, 60, 75 and 90 DAP. Plant height was measured from the ground level to the apex of a

longest leaf, using a measuring tape. The number of leaves per plant was recorded by counting. Bulb diameter was determined by measuring the maximum width of garlic bulb using vernier caliper. Dry weight was measured by drying the garlic plant in a hot-air oven at 65-70°C till the constant weight obtained. At harvesting time, a fresh garlic was collected within the 16 m² for yield determination. Bulb weight, bulb diameter and dry weight of garlic were recorded, then concentration of nitrogen (N) (Novozamsky *et al.*, 1974), phosphorus (P) (Walinga *et al.*, 1995) and potassium (K) (Kalra, 1998) in garlic bulb were analysed. During 5 months of storage period, the percentage of total weight loss of garlic yield ((initial weight - measured weight) x 100 /initial weight) was determined monthly. At the end of the storage period, the percentage of damage cloves (weight of damage cloves x 100/total weight of cloves) was also recorded.

Statistical analysis: Data analysis was performed using Statistix 9.0. All data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), followed by the least significant difference (LSD) at 5% level of probability.

Results

Plant growth

The results suggested that plant height of garlic was influenced by different rates of nitrogen fertilizer as shown in Table 1. All nitrogen fertilizer application treatments significantly increased plant height in comparison to control. However, increasing nitrogen fertilizer rates from 62.50 to 193.75 kg N/ha had no significant effect on plant height, plant heights were in the range of 35.25-36.57 cm, 46.08-46.76 cm, 56.63-57.80 cm, 64.08-64.79 cm and 66.62-67.79 cm at 30, 45, 60, 75 and 90 DAP, respectively. The minimum plant height was found in control treatment at all growth stages. The number of leaves per plant (Table 2) was not significant for all nitrogen fertilizer treatments at all growth stages. The maximum number of leaves per plant (10.4) was recorded with 125.00 kg N/rai and the lowest (8.0) was noted in control at 90 DAP.

The data were presented in Table 3 revealed that application of nitrogen fertilizer significantly increased bulb diameter in comparison to the control treatment. However, there was no significant difference among nitrogen fertilizer

Table 1. Effect of nitrogen fertilizer rates on plant height of garlic

Nitrogen fertilizer rates (kg N/ha)	Plant height (cm)				
	30 DAP	45 DAP	60 DAP	75 DAP	90 DAP
Control	27.59 b	39.69 b	48.90 b	49.12 b	53.45 b
62.50	35.25 a	46.34 a	56.63 a	64.12 a	66.62 a
93.75	35.36 a	46.08 a	57.76 a	64.08 a	67.56 a
125.00	36.57 a	46.76 a	57.65 a	64.79 a	67.72 a
193.75	35.98 a	46.65 a	57.80 a	64.54 a	67.79 a
CV (%)	2.63	3.69	1.83	1.85	3.32
LSD _{0.05}	1.382	2.565	1.569	1.746	3.311

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

Table 2. Effect of nitrogen fertilizer rates on number of leaf of garlic

Nitrogen fertilizer rates (kg N/ha)	Number of leaves				
	30 DAP	45 DAP	60 DAP	75 DAP	90 DAP
Control	4.5 b	5.0 b	5.8 b	7.1 b	8.0 b
62.50	5.1 a	5.8 a	6.8 a	7.9 a	10.1 a
93.75	5.1 a	5.8 a	6.6 a	8.0 a	10.3 a
125.00	5.1 a	5.8 a	6.6 a	8.0 a	10.4 a
193.75	5.1 a	6.0 a	6.6 a	8.0 a	10.0 a
CV (%)	5.12	5.01	3.87	4.50	3.76
LSD _{0.05}	0.389	0.437	0.385	0.539	0.565

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

Table 3. Effect of nitrogen fertilizer rates on bulb diameter of garlic

Nitrogen fertilizer rates (kg N/ha)	Bulb diameter (mm)					
	30 DAP	45 DAP	60 DAP	75 DAP	90 DAP	110 DAP (At harvest)
Control	6.42 b	8.86 b	12.64 c	15.28 c	24.05 b	29.01 b
62.50	7.97 a	12.05 a	18.71 ab	27.99 ab	39.50 a	40.45 a
93.75	8.17 a	12.23 a	18.85 ab	27.03 b	40.33 a	41.05 a
125.00	8.07 a	12.26 a	18.91 a	28.76 a	40.58 a	41.25 a
193.75	8.08 a	11.96 a	18.01 b	28.05 ab	40.09 a	41.12 a
CV (%)	5.59	4.93	3.26	3.83	2.11	4.77
LSD _{0.05}	0.666	0.872	0.874	1.500	1.199	2.837

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

treatments, bulb diameter was in the range of 7.97-8.17, 11.96-12.26, 18.01-18.91, 27.03-28.76, 39.50-40.58 and 40.45-41.25 mm at 30, 45, 60, 75, 90 and 110 DAP, respectively. At 110 DAP (harvest stage), the maximum bulb diameter (41.25 cm) was obtained at 125.00 kg N/ha. Although increasing of nitrogen fertilizer from 62.50 kg N/ha to 125.00 kg N/ha tended to increase bulb diameter, however, application of nitrogen fertilizer at the high rate (193.75 N kg/ha) tended to reduce it.

Generally, the dry weight of garlic gradually increased until 60 DAP and thereafter rapid increase was observed during 75-110 DAP. The dry weight of

garlic was significantly affected by different levels of nitrogen (Table 4). Increasing nitrogen fertilizer application rates from 62.50 to 193.75 kg N/ha resulted in the significant increase in dry weight compared to control. However, after 30 DAP, significant difference of garlic dry weight was not observed. The garlic dry weight was in the range of 0.44-0.50, 1.20-1.36, 2.76-3.02, 4.94-5.03, 8.18-8.29 and 9.38-10.31 g/plant at 30, 45, 60, 75, 90 and 110 DAP, respectively. The maximum dry weight of garlic (10.31 g/plant) was obtained from 193.75 kg N/ha treatment whereas the minimum dry weight was observed in the control at harvest stage.

Table 4. Effect of nitrogen fertilizer rates on dry weight of garlic

Nitrogen fertilizer rates (kg N/ha)	Dry weight (g/plant)					
	30 DAP	45 DAP	60 DAP	75 DAP	90 DAP	110 DAP (At harvest)
Control	0.30 c	0.70 b	1.33 c	1.85 b	2.77 b	3.42 b
62.50	0.45 b	1.28 a	2.93 ab	4.94 a	8.18 a	9.38 a
93.75	0.44 b	1.20 a	2.96 a	4.97 a	8.26 a	9.47 a
125.00	0.44 b	1.29 a	3.02 a	4.99 a	8.29 a	10.11 a
193.75	0.50 a	1.36 a	2.76 b	5.03 a	8.29 a	10.31 a
CV (%)	6.93	13.45	4.46	15.66	6.12	10.18
LSD _{0.05}	0.045	0.242	0.179	1.051	0.675	1.339

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

Yield and bulb quality

The data in Table 5 showed that nitrogen fertilizer application rates increased garlic yield and bulb weight significantly in comparison to the control treatment. Different rates of nitrogen fertilizer from 62.50 to 193.75 kg N/ha had no significant effect on garlic yield and bulb weight. Fresh yield and bulb weight of garlic varied from 20.1 to 20.8 t/ha and 23.31 to 26.09 g/bulb, respectively. However, the maximum fresh yield (20.8 t/ha) and bulb weight (26.09 g/bulb) were recorded in 125.00 kg N/ha treatment, whereas the minimum fresh yield (7.50 t/ha) and bulb weight (6.19 g/bulb) were observed in control treatment. Application of nitrogen fertilizer significantly increased nitrogen concentration in bulb compared to the control treatment. However, there was no significant difference among nitrogen fertilizer treatments, nitrogen content in bulb was in the range of 1.75-1.95%. The highest nitrogen content (1.95%) was noticed in the 125.00 kg N/ha treatment while the lowest nitrogen content (1.05%) was noted in control treatment. Moreover, the concentrations of phosphorus and potassium in the bulb were not significant. The concentrations of

phosphorus and potassium were observed in the range of 0.31-0.33% and 1.14-1.26% respectively.

After garlic yield was kept the storage house, the weight of garlic decreased rapidly in the first month of storage and gradually decreased after 2 months of storage. The percentage of weight loss of garlic in storage was significantly affected by different rates of nitrogen fertilizer (Table 6.). At the first month of storage, the highest weight loss was recorded in 125 kg N/ha treatment (51.01%) and lowest weight loss was observed in 62.50 kg N/ha (45.44%). However, the total weight loss of all treatments including control was not significantly different after 5 months of storage (54.82-58.04%). The percentage of damage cloves was significantly influenced by different rates of nitrogen (Table 6). The highest damage clove (5.40%) was found in 193.75 kg N/ha treatment and the lowest damage clove (2.51%) was recorded in control treatment. However, increasing nitrogen fertilizer from 62.50 to 125.00 kg N/ha had no significant effect on damage cloves which was recorded in the range of 4.73-5.19%.

Table 5. Effect of nitrogen fertilizer rates on fresh yield, bulb weight and nutrient concentration in bulb of garlic

Nitrogen fertilizer rates (kg N/ha)	Fresh yield (ton/ha)	Bulb weight (g/bulb)	Nutrient concentration in bulb (%)		
			N	P	K
Control	7.50 b	6.19 b	1.05 b	0.33	1.19
62.50	20.2 a	23.31 a	1.78 a	0.33	1.14
93.75	20.1 a	24.16 a	1.87 a	0.33	1.16
125.00	20.8 a	26.09 a	1.95 a	0.32	1.15
193.75	20.4 a	25.24 a	1.75 a	0.31	1.26
CV (%)	11.58	8.60	9.03	6.70	6.90
LSD _{0.05}	3.174	2.781	0.233	ns	ns

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

Table 6. Effect of nitrogen fertilizer rates on weight loss and the percentage of damage cloves during storage period

Nitrogen fertilizer rates (kg N/ha)	Weight loss (%)					Percentage of damage cloves (%)
	1 month	2 months	3 months	4 months	5 months	
Control	49.36 ab	52.41 a	53.99 a	54.91 a	58.04	2.51 c
62.50	45.44 c	45.26 c	47.15 d	48.12 c	54.82	4.73 b
93.75	47.05 bc	48.55 b	50.79 c	51.92 b	55.24	5.07 ab
125.00	51.01 a	51.47 a	52.79 ab	53.71 a	57.81	5.19 ab
193.75	49.45 ab	50.48 ab	51.84 bc	53.75 a	56.59	5.40 a
CV (%)	3.74	3.32	2.45	2.21	3.88	8.88
LSD _{0.05}	2.791	2.535	1.934	1.783	ns	6.626

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

Discussion

This study demonstrated that increasing nitrogen fertilizer from 62.50-193.75 kg N/ha tended to increase plant height, the number of leaves, bulb diameter and dry weight of garlic and significantly increased the garlic growth in comparison to the control treatment. These results indicated the influence of nitrogen fertilizer on growth of garlic. Similar results were also reported by Kakar *et al.*

(2002) and Zaman *et al.* (2011). Nitrogen promotes foliage growth that is responsible for the photosynthesis activities and accumulation of dry matter. In this experiment, the plant height of garlic was rapidly increased during 0-60 DAP and gradually increased at the growth stages of 60-90 DAP, as the bulb diameter immediately increased at the growth stages of 75-90 DAP. Similarly, the total dry weight accumulations sharply increased at the growth stages of 75-90 DAP. The obtained results

were in conformity with Innoi and Santasup (2016) who observed that the leaf dry weight of garlic continued to increase until 90 DAP, meanwhile, the bulb dry weight was rapidly accumulated in the growth stage of 75-110 DAP. This might be due to the changes of growth stages from the vegetative phase to bulbing phase. Nevertheless, bulbing stage is strongly influenced by environmental factors, mainly temperature and photoperiod, on changes in the growth habits or phenological phase of garlic; similar conditions are not always required for overlapping or simultaneously occurring phases, as phase differences may depend on crop conditions (Lopez-Bellido *et al.*, 2016). Although heavy nitrogen application stimulates the growth of foliage leaves but inhibits and delays bulb formation (Meredith, 2008).

The increase in fresh yield and bulb weight under different nitrogen application rates (62.50-125.00 kg N/ha) can be attributed to the positive effect of nitrogen on the growth parameters observed in this study. However, the high amount of nitrogen fertilizer (193.75 kg N/ha) reduced the garlic fresh yield. This result agrees with the finding of Kilgori *et al.* (2007) and Zaman *et al.* (2011). This might be an imbalance in plant nutrition that resulted in the reduction of yield. The result of the nutrient concentration in bulb showed that the nitrogen content obtained from the plant treated with nitrogen fertilizer was significantly higher than the control plot. Lacking of nitrogen in early bulb growth decreased the nitrogen content of the bulb (Bertoni *et al.*, 1992) while phosphorus and potassium contents in bulb were slightly affected. This indicated that the phosphorus and potassium nutrition in the soil and received from fertilizer were adequate for growth of garlic. Moreover, nitrogen can increase phosphorus uptake in plant tissue. In case of high concentration

of potassium, nitrogen can also increase potassium uptake in plant tissue (Fageria, 2001). A sufficient supply of nitrogen is associated with vigorous vegetative growth and more efficient use of available inputs, finally leading to higher productivity (Usman *et al.*, 2016).

Considering the quality of garlic yield during storage period, the percentage of weight loss was affected by different rates of nitrogen fertilizer. Generally, garlic farmers store garlic yield (whole plant) in the barn under ambient temperature conditions. This leads to an increase in the rate of respiration which enhance the weight loss. The highest weight loss was observed in control treatment (without fertilization). Similar results were reported by Diriba-Shiferaw *et al.* (2013). The lowest weight loss was observed in 62.50 kg N/ha treatment. However, nitrogen application higher than 62.50 kg N/ha tended to increase weight loss of garlic during storage. This result indicated that nitrogen fertilizer affected the quality and storage life of garlic, especially during the first month of storage. However, different rates of nitrogen fertilizer had no significant effect on the percentage of weight loss at 5 months after storage. This is attributed to water loss of the leaves of garlic in initial storage period. Bloem *et al.* (2011) revealed that water loss from intact bulbs was distinctly higher than water loss from cloves. The reason is that the drying process starts from the outer hulls to the cloves.

For garlic cultivation, separated cloves are used as a propagation plant part. Thus, the less damaged cloves are highly demanded by most garlic growers. The result from this study showed that the percentage of damage cloves tended to increase with the increment of nitrogen fertilizer rate. Therefore, the optimum rate of fertilizer application is necessary for producing good garlic propagation

plant part. Appropriate nutrients are also significant for producing high dry matter. Conversely, later applications and excess nitrogen may delay maturity and reduce bulbs quality and storage life (Welbaum, 2015). Excessive fertilizer, especially nitrogen, can diminish diseases resistance. The pathogen that infects the crop can spread in the storage. During storage period of garlic, infection by pathogens and insect pests also contribute to deteriorating the bulbs and cloves. The postharvest quality of garlic depends upon the cultivar, growing conditions, harvest time and storage conditions (Meredith, 2008).

Consequently, the soil in the experiment had moderate level of organic matter (1.5-2.5%). Thus, the application of nitrogen fertilizer at the low rate (62.50 kg N/ha) did not significantly affect on the fresh yield of garlic in comparison to fertilizer rate of farmer practice (193.75 kg N/ha). According to the fertilizer management recommendation for allium crops in Thailand by the Department of Agriculture, the soil that consists of 1.5-2.5% of organic matter should receive 62.5 kg N/ha. This suggestion conforms to nitrogen fertilizer rate in this experiment and nitrogen requirement of garlic, 77.5 kg N/ha (Innoi and Santasup, 2016). In the soil that is high in available phosphorus (>40 mg/kg) and exchangeable potassium (>100 mg/kg), application of phosphorus and potassium fertilizer is rarely necessary for the crop. Based on this results, nitrogen fertilizer at the rate of 62.50 kg N/ha was sufficient for good production of garlic. Thus, application of urea (46%N) at the rate of 135 kg/ha or ammonium sulfate (21%N) at the rate of 300 kg/ha should be recommended. Moreover, adding compost at the rate of 6.25 t/ha to the soil (except for farmer practice and control treatment) has been used to maintain soil organic matter, thus supplying

plant nutrient, improving the physical and biological properties of the soil and promoting the effectiveness of fertilizers. Hence, the low rate of nitrogen fertilizer application (62.50 kg N/ha) which had no significant effect on garlic yield suggested that available nitrogen in soil, inorganic nitrogen from applied chemical fertilizer and mineralized nitrogen from soil organic matter and added compost was sufficient for plant growth.

In this study, nitrogen removal by garlic was in the range of 71.8-84.8 kg N/ha when applied 62.50-193.75 kg N/ha (data not shown). Normally fertilizer is applied to the fields to supply the nutrient needs of the crop. However, it is not necessary to supply all these needs from fertilizer alone because the soil already contains some nutrient that are available for crop growth. Therefore, nutrient management ideally should provide based on crop removal and available nutrient in soil to balance between nutrient inputs and outputs for sustainable crop production. However, the amount of chemical fertilizer applied by conventional practice of farmer is generally higher than the actual nutrient requirements of garlic. This may imply an excessive use of fertilizer on garlic production, resulting in high production cost.

Conclusion

The study on the optimum rate of nitrogen fertilizer for garlic production in Khun Yuam district, Mae Hong Son province revealed that nitrogen fertilizer at the rate of 62.50-193.75 kg N/ha were not significantly different on plant growth, yield and quality of garlic. The application of 125.00 kg N/ha produced the highest bulb diameter, bulb weight, and fresh yield of garlic. However, nitrogen fertilizer at the rate of 62.50 kg N/ha was adequate for

producing the good yield and bulb quality of garlic under the conditions of this experiment. In addition, this study indicated that the appropriate fertilizer application when considering soil fertility and nutrient requirements could produce the good yield of garlic and reduction in fertilizer usage.

Acknowledgements

This research was supported by Department of Foreign Trade, Ministry of Commerce. We thank our colleagues from Soil Chemistry Laboratory and Soil Science Laboratory, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University for providing expertise that greatly assisted this work.

References

- Bertoni, G., P. Morard, C. Soubieille and J.M. Llorens. 1992. Growth and nitrogen nutrition of garlic (*Allium sativum* L.) during bulb development. *Scientia Horticulturae* 50(3): 187-195.
- Bloem, E., S. Haneklaus and E. Schnug. 2011. Storage life of field-grown garlic bulbs (*Allium sativum* L.) as influenced by nitrogen and sulfur fertilization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(9): 4442-4447.
- Diriba-Shiferaw, G. 2016. Review of management strategies of constraints in garlic (*Allium sativum* L.) production. *The Journal of Agriculture Sciences* 11(3): 186-207.
- Diriba-Shiferaw, G., K. Woldetsadik, R. Nigussie-Dechassa, G. Tabor and J.J. Sharma. 2013. Postharvest quality and shelf life of garlic bulb as influenced by storage season, soil type and different compound fertilizers. *Journal of Postharvest Technology* 01(01): 069-083.
- Ebrahimi, M.H., S. Sharafzadeh and F. Bazrafshan. 2014. The influence of nitrogen levels on growth and bulb yield of two garlic cultivars. *European Journal of Experimental Biology* 4(1): 270-272.
- Fageria, V.D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 24(8): 1269-1290.
- FAO. 2015. FAO statistical pocketbook world food and agriculture 2015. (Online). Available: <http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf> (September 5, 2017).
- Farooqui, M.A., I.S. Naruka, S.S. Rathore, P.P. Singh and R.P.S. Shaktawat. 2009. Effect of nitrogen and sulphur levels on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.). *Asian Journal of Food and Agro-Industry (Special Issue)*: S18-23.
- Hore, J.K., S. Ghanti and M. Chanchan. 2014. Influence of nitrogen and sulphur nutrition on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Crop and Weed* 10(2): 14-18.
- Innoi, A. and C. Santasup. 2016. Nutrient requirements and fertilizer use efficiency of garlic in Khun Yuam district, Mae Hong Son province. pp. 1869-1876. *In: Proceedings of the 13th KU-KPS Conference*. December 8-9, 2016. Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom.
- Islam, M.R., M.K. Uddin, M.A.K. Mian, M.T. Rahman and J. Hossain. 2012. Effect of different levels of irrigation and sulphur fertilizer on the bulb yield of garlic under zero tillage

- mulched cultivation. Bangladesh Agronomy Journal 15(2): 75-82.
- Kakar, A.A., M.K. Abdullazai, M. Saleem and S.A. Qaim Shah. 2002. Effect of nitrogenous fertilizer on growth and yield of garlic. Asian Journal of Plant Sciences 1(5): 544-545.
- Kalra, Y.P. 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Boca Raton. 300 p.
- Kilgori, M.J., M.D. Magaji and A.I. Yakudu. 2007. Productivity of two garlic (*Allium sativum* L.) cultivars as affected by different levels of nitrogenous and phosphorous fertilizers in Sokoto, Nigeria. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences 2(2): 158-162.
- Kunasakdakul, K., J. Kitchaicharoen, J. Kulsarin, J. Kumchai, C. Santasup, P. Srumsiri, Y. Chanbang, S. Thumdee, S. Buranapanichpan and O. Ruangwong. 2015. Project of potential and capability in marketing competition of Thai garlic and shallot bulbs and disease-free seeds of onion under free trade area agreement. Progress report. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 145 p.
- Lopez-Bellido F.J., R.J. Lopez-Bellido, V. Muñoz-Romero, P. Fernandez-Garcia and L. Lopez-Bellido. 2016. New phenological growth stages of garlic (*Allium sativum*). Annals of Applied Biology 169(3): 423-439.
- Meredith, T.J. 2008. The Complete Book of Garlic: A Guide for Gardeners, Growers, and Serious Cooks. Timber Press, Inc., Portland. 330 p.
- Neeteson, J.J. 1995. Nitrogen management for intensively grown arable crops and field vegetables. pp. 295-325. In: P.E. Bacon (ed.). Nitrogen Fertilization in the Environment. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Novozamsky, I., R. van Eck, J.C. van Schouwenburg and I. Walinga. 1974. Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol blue method. Netherlands Journal of Agricultural Science 22: 3-5.
- Office of Agricultural Economics. 2016. Agricultural statistics of Thailand 2016. (Online). Available: <http://newweb.oae.go.th/assets/portals/1/files/ebook/yearbook59.pdf> (September 5, 2017).
- Pandey, U.B. 2012. Garlic. pp. 299-318. In: K.V. Peter (ed.). Handbook of Herbs and Spices. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Singh, D., R.C. Nainwal, R.S. Katiyar and S.K. Tewari. 2015. Integrated nutrient management on growth and yield of garlic under sodic wasteland conditions. Indian Journal of Horticulture 72(3): 434-437.
- Somsu, T., S. Wattanasit, S. Yuenyongsawad and S. Wasiksiri. 2016. Nutritional compositions and allicin content in garlic powder Si Sa Ket, Chiang Mai and Chinese Garlic cultivars. Journal of Agriculture 33(1): 131-140.
- Usman, M.G., A.S. Fagam, R.U. Dayi and Z. Isah. 2016. Phenotypic response of two garlic varieties to different nitrogen fertilization grown under irrigation in Sudan Savannah Ecological Zone of Nigeria. International Journal of Agronomy 2016, Article ID 2495828, doi: 10.1155/2016/2495828.
- Walinga, I., J.J. van der Lee, V.J.G. Houba, W. van Vark and I. Novozamsky. 1995. Plant Analysis Manual. Springer, Dordrecht. 275 p.

Welbaum, G.E. 2015. Vegetable Production and Practices. CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire. 486 p.

Zaman, M.S., M.A. Hashem, M. Jahiruddin and M.A. Rahim. 2011. Effect of nitrogen for yield maximization of garlic in Old Brahmaputra flood plain soil. Bangladesh Journal of Agricultural Research 36(2): 357-367.

Phosphate Solubilization and Detoxification Mechanism of Arsenic-resistant Bacteria

การละลายฟอสเฟตและกลไกลดความเป็นพิษของแบคทีเรียต้านทานอาร์ซีนิก

Yupa Chromkaew and Arawan Shutsrirung^{*}

ยุพา จอมแก้ว และ อรวรรณ ฉัตรสีรุ่ง^{*}

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

ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

^{}Corresponding author: Email: arawan.s@cmu.ac.th*

(Received: 5 June 2018; Accepted: 29 August 2018)

บทคัดย่อ: อาร์ซีนิกซึ่งรู้จักกันดีว่าเป็น “ราชาแห่งสารพิษ” พบว่า มีการปนเปื้อนในดินที่ใช้ทำการเกษตรในเขตภาคเหนือของประเทศไทย อย่างแพร่หลายมากกว่าโลหะหนักชนิดอื่น ดังนั้นจึงมีความเสี่ยงสูงที่จะปนเปื้อนในห่วงโซ่อาหารและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน จุลินทรีย์หลายชนิดเปลี่ยนรูปอาร์ซีนิกให้อยู่ในรูปที่เป็นพิษน้อยลงซึ่งเป็นกลไกหนึ่งในการต้านทาน ในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการประเมินความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพีเอช (pH) และการละลายฟอสเฟตภายใต้ความเข้มข้นของอาร์ซีนิกหลายระดับ ของเชื้อคัดเลือก 5 ไอโซเลท คือ BAs7, BAs8, BAs11, BAs19 และ BAs29 ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า แต่ละไอโซเลทสามารถเจริญได้ในอาหารที่ผสมอาร์ซีนิกที่ต่อเมื่อเชื้อนั้นสามารถเพิ่มค่า pH ของอาหารให้เป็นต่างมากขึ้น (ประมาณ $\geq 5.0-6.0$) แสดงให้เห็นถึงการปลดปล่อยสารประกอบที่เป็นด่างเพื่อเป็นกลไกลดความเป็นพิษ ความสามารถในการละลายฟอสเฟตของแต่ละไอโซเลทเพิ่มขึ้นเมื่อสัมผัสกับอาร์ซีนิกที่มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นซึ่งแสดงถึงการดูดใช้อาร์ซีนิกที่ลดลงจึงทำให้ความต้านทานสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการละลายฟอสเฟตลดลงอย่างชัดเจนที่ความเข้มข้นวิกฤตของอาร์ซีนิกซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละไอโซเลท สำหรับการทดลองนี้ความเข้มข้นวิกฤตที่ทำให้ความสามารถในการละลายฟอสเฟตลดลงอย่างเด่นชัดของไอโซเลท BAs7, BAs8, BAs11, BAs19 และ BAs29 คือ 50, 100, 50, 100 และ 100 mg Na-As(III) ตามลำดับ ผลการทดลองที่สำคัญในครั้งนี้นี้คือ กลไกการลดความเป็นพิษสองกลไก ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงค่าของ pH ให้มีสภาพเป็นด่าง และการเพิ่มความสามารถในการละลายฟอสเฟตของแบคทีเรียต้านทานอาร์ซีนิก

คำสำคัญ: แบคทีเรียต้านทานอาร์ซีนิก กลไกลดความเป็นพิษ การละลายฟอสเฟต การเปลี่ยนแปลงค่า pH

Abstract: Arsenic (As), known as the 'king of poisons', is the most prevalent heavy metals in most contaminated agricultural-soils of northern Thailand, thus a high risk of food-chain contamination and people health. Many microbes transform arsenic to a less toxic form as a means of resistance. In this study, evaluation of pH alteration and phosphate solubilizing ability under various concentrations of arsenite by five selected isolates i.e. BAs7, BAs8, BAs11, BAs19 and BAs29, was performed. The results indicated that each isolate was able to grow in the medium containing arsenite only when they were able to increase the pH to be more alkali (around ≥ 5.0 - 6.0) indicating an alkali substance(s) might be released as a detoxification mechanism. Phosphate solubilizing ability of each isolate was increased when exposed to higher arsenite concentration indicating less arsenic uptake thus higher resistance ability. However, the P solubilizing ability was obviously decreased at a critical arsenite levels which were varied from isolate to isolate. In the present study, the critical arsenic levels that markedly decreased the ability to solubilize P of BAs7, BAs 8, BAs11, BAs19 and BAs29 were 50, 100, 50, 100 and 100 mg Na-As(III), respectively. The results highlighted the two detoxification mechanisms; pH alteration towards alkali condition and capability increment of P solubilization, of the arsenic resistant isolates.

Keywords: Arsenic-resistant bacteria, detoxification mechanism, phosphate solubilization, pH alteration

Introduction

The widespread existence of elevated heavy metals concentration in cultivated soils as the result of human activities has raised more concern about their potential effects on human health and the environment. Amongst the various heavy metal contaminants arsenic are recognized as the leading toxicants worldwide thus it is an important current public health issue due to its toxic effects and accumulation through the food chain (Akhtar *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2010). Arsenic is known to cause cancer, as well as many other serious health problems, and is primarily found in various environments including cultivated soils thus a high risk for crop uptake. In many cases, arsenic is found as two inorganic forms; arsenite (As(III): H_2AsO_3^- and H_3AsO_3^0) and arsenate (As(V): HAsO_4^{2-} and H_2AsO_4^-). Arsenic compounds with a +3 oxidation state (As(III)) are more toxic than analogous compounds with a +5 oxidation state (As(V)) (Oremland *et al.* 2005; Wang *et al.* 2002a). Arsenic has been reported as the most

prevalent heavy metal contaminant in agricultural soils of northern Thailand. Various anthropogenic activities including excessive use of chemical fertilizers, arsenical herbicide, pesticides, fresh manures and immature compost have ultimately increased the arsenic concentrations of current productive Thailand agricultural-soils (Shutsrirung, 2012). Besides agrochemical usage, arsenic is also accumulated in the topsoil of cultivated land through irrigation. Due to its low solubility and low volatility the contaminated topsoil may have influence on the entry of arsenic into the food chain (Das *et al.*, 2013).

Bioremediation of arsenic in contaminated soil by microorganisms is a natural process to alter contaminants by rendering the contaminants harmless or less toxic products. The activities of microorganisms to alter the toxicity of arsenic through various mechanisms, e.g. release of chelating agents, acidification and phosphate solubilization, enhance arsenic mobilization in soils thus play a critical role in arsenic mobility and availability to the plant (Abou-Shanab *et al.*, 2003;

Akhtar *et al.*, 2013; Smith and Read, 1997). Since As(III) is known to be much more toxic than As(V) therefore bacterial oxidation of As(III) to As(V) has long been recognized as a means of detoxification (Aposhian *et al.*, 2003; Silver and Phung, 2005). Adequate P levels are required to enhance shoot and root growth and promote early maturity (Ratanaprommanee *et al.*, 2017). Phosphate ion is similar to arsenate ion thus is uptake via phosphate transport system (Farwell *et al.*, 2007) therefore more phosphate ions could inhibit arsenate uptake. Arsenic transforming bacteria not only have a key role on the movement of arsenic in soil but they also regulate phosphate solubilization (Bano and Masarrat, 2003; Passardi *et al.*, 2004) as a means of avoiding arsenic uptake. Microbial detoxification of arsenic by increasing phosphate uptake has recently received more attention. Various microorganisms including bacteria have evolved many mechanisms to cope with arsenic exposure thus arsenic-resistant bacteria seemed to have a vital role in the transformation of As, movement of As in soils and the availability of arsenic to plants.

The aim of this study was to investigate responses of bacterial isolates to various concentrations of arsenic and pH values using nine selected isolates; BAs7, BAs8, BAs11, BAs19, BAs20, BAs22, BAs29, BAs30 and BAs36 which was isolated and screened in our previous study (Shutsrirung, 2012). Phosphate solubilizing ability of all the isolates was also evaluated. The promising isolates may be employed as potential inoculum for detoxifying arsenic and improving the growth of plants in As contaminated soils.

Materials and Methods

From the results of our previous investigation (Shutsrirung, 2012), eight arsenic resistant isolates i.e. BAs8, BAs11, BAs19, BAs20, BAs22, BAs29, BAs30 and BAs36 were selected for this study. An arsenic sensitive isolate, BAs7 was also selected for comparison because resistant and sensitive isolates might response differently to arsenic. Therefore, the total number of tested bacteria were 9 isolates (eight resistant isolates plus one sensitive isolate)

Qualitative evaluation of pH alteration in agar medium by arsenic-resistant bacteria

Culture solution (0.01 ml) of each isolate was dropped on nutrient agar (NA) plate containing indicator (0.05 g/L bromocresol green) (Shutsrirung, 2012). Responses to different pH levels (4.5, 4.7, 5.5 and 6.0) under various Na-As(III) concentrations (0, 10, 15, 25, 50, 100, 250 and 650 mg/L) of the nine selected isolates were recorded after 7 days of incubation. Bromocresol green is a pH indicator, the medium is yellow at pH 3.5 - 3.8, yellowish at pH 4.0 - 4.2, green at pH 4.5 - 4.6, ocean blue at pH 5.0 and bright blue at pH 5.5 - 6.0. Observation of pH change was made by comparing with the controlled plate without culture. A standardized color chart was used as an aid in determining the color changes.

Determination for phosphate-solubilization under different levels of arsenite

The selected isolates from the above experiment were tested for their phosphate (P) solubilizing ability in Pikovskaya's broth medium (PKVb) (Gaur, 1990). Various concentrations of sodium arsenite (NaAsO_2 ; Na-As(III)) were applied in the PKVb medium to observe the effect of arsenic on

P solubilization. The 0.50 mL of 7-day-old culture broth of each isolate was inoculated into 50 mL of PVKb medium containing Na-As(III) 0, 15, 50 and 100 mg/L (pH 7.0). After 5 days on incubator shaker (120 rpm) at room temperature (30°C) the cultures were centrifuged at 5,000 rpm for 15 minutes (ORTO ALRESA, Spain). One ml of supernatant was mixed with 4 ml of color reagent (1:1:1:2 ratio of 6N H₂SO₄, 2.5% (NH₄)₂MoO₄, 10% ascorbic acid and distilled water), incubated in the dark for 30 minutes. The optical density was measured at 820 nm using spectrophotometer (Thermo Scientific, mod. GENESYS 20, USA).

Solubilization of various insoluble phosphate sources

The selected isolates were also examined for their ability to solubilized various sources of insoluble phosphate (P) (0.5% Ca₃(PO₄)₂, AlPO₄ or rock phosphate in PVKb medium (modified from Gaur, 1990). The medium contained Al (50 µM) and Na-As(III) (15 mg/L) (pH 7.0). Determination of solubilized P was done according to the method described above.

Results

1. Growth of arsenic-resistant bacteria and changes in color of the nutrient agar medium

All the isolates were evaluated for their growth (colony appearance) at different pH levels under various Na-As (III) concentrations. The change in pH of NA medium (color of the medium) containing bromocresol green was also evaluated. The medium is green at pH 4.5 - 4.6, ocean blue at pH 5.0 and bright blue at pH 5.5 - 6.0. The results showed that at pH 4.5, four isolates; BAs8, BAs11, BAs19, and BAs29 could change the pH of the

medium from green (pH 4.5) to ocean blue to bright blue (pH ≥ 5.5 - 6.0) at the arsenite concentration of 0 to 100 mg/L (Table 1). In general, the good to very good growth of each isolate was observed only when the color of the medium was changed to ocean blue or bright blue (data not shown). When the pH of the medium was set as 4.7, BAs11 exhibited good growth with pH change from 4.7 to ≥ 5.5 - 6.0 at higher arsenite concentration (250 mg/L) as compared at pH 4.5 (100 mg/L). Isolate BAs22 showed much more increased in arsenite resistance when the pH increased from 4.5 (turned the pH of the medium to blue at only 10 mg/L arsenite) to 4.7 (turned the pH of the medium to blue at up to 100 mg/L arsenite) (Table 1). A slightly increase in the pH of the medium from 4.5 to 4.7 resulted in higher arsenic tolerance (increased the pH of the medium with growth appearance) of several isolates (BAs7, BAs11, BAs20, BAs22). Isolate BAs7 appeared to be sensitive to high arsenic concentration although the pH of the medium was raised to 5.5 or 6.0, no growth of BAs7 was observed on the medium with Na-As(III) higher than 15 mg/L. It was observed that isolates BAs8, BAs11, BAs19, BAs22 and BAs29 exhibited high level of resistance to Na-As(III) (increased the pH of the medium with growth appearance) at the highest tested concentration of 650 mg/L both at pH 5.5 and 6.0. In contrast, BAs7, BAs20 and BAs36 could not increase the pH of the medium at high level of arsenite. Isolate BAs8, BAs11, BAs19 and BAs29 exhibited high level of resistance to Na-As(III) at all level of pH tested particularly at very low pH level (4.5) thus were selected for further experiments. BAs7 was also selected to test a long with the high resistant isolates for comparison.

Table 1. The color change (pH change) in the nutrient agar (NA) medium containing bromocresol green and growth of arsenic-resistant bacteria under different levels of NaAsO₂

Changes in color of the NA medium at different pH levels under various Na-As(III) concentrations:				
Bacterial isolates	0, 10, 15, 25, 50, 100, 250 and 650 mg/L			
	pH 4.5 (Green: G) ¹	pH 4.7 (Green: G)	pH 5.5 (Ocean blue: OB)	pH 6.0 (Bright blue: BB)
Control	G	G	OB	BB
BAs 7	OB with growth at 0-10 ² Green ≥ 50 ³	OB with growth at 0-15 Green ≥ 250	OB with growth at ≥ 15 ²	BB with growth at ≥ 15
BAs 8	BB with growth at 0-100 Green ≥ 250	BB with growth at 0-100 Green ≥ 250	BB with growth at ≥ 650	BB with growth at ≥ 650
BAs 11	BB with growth at 0-100 Green ≥ 250	BB with growth at 0-250 Green ≥ 650	BB with growth at ≥ 650	BB with growth at ≥ 650
BAs 19	BB with growth at 0-100 Green ≥ 250	BB with growth at 0-100 Green ≥ 650	BB with growth at ≥ 650	BB with growth at ≥ 650
BAs 20	BB with growth at 0-10 Green ≥ 15	BB with growth at 0-15 Green ≥ 25	BB with growth at ≥ 100	BB with growth at ≥ 250
BAs 22	BB with growth at 0-10 Green ≥ 250	BB with growth at 0-100 Green ≥ 650	BB with growth at ≥ 650	BB with growth at ≥ 650
BAs 29	BB with growth at 0-100 Green ≥ 250	BB with growth at 0-100 Green ≥ 250	BB with growth at ≥ 650	BB with growth at ≥ 650
BAs 36	BB with growth at 0-25 Green ≥ 50	BB with growth at 0-25 Green ≥ 25	BB with growth at ≥ 250	BB with growth at ≥ 250

¹ The initial color of NA medium (The medium is yellow at pH 3.5 - 3.8, yellowish at pH 4.0 - 4.2, green at pH 4.5 - 4.6, ocean blue at pH 5.0 and bright blue at pH 5.5 - 6.0. Observation of pH change was made by comparing with the controlled plate without culture.

² The figures in each column was Na-As(III) concentrations (mg/L). Abbreviations (OB, BB) are the color which was changed from initial color at each pH level. Growth was observed only in this Na-As(III) concentrations range. ³No growth at this concentration without change in the medium-color (no pH change) by the bacterial isolates.

2. Phosphate solubilization under various concentrations of arsenite

In this study five selected isolates i.e. BAs7, BAs8, BAs11, BAs19 and BAs29 were evaluated for their phosphate (P) solubilizing ability in Pikovskaya's broth medium (PKVb) and PKVb plus Na-As(III) (0, 15, 50 and 100 mg/L) (PKVbp). Isolate BAs7 (sensitive isolate) gave the highest solubilized P at 0 and 15 mg/L of Na-As(III) (55.6 and 100.0 mg P/L,

respectively) (Figure 1) however when the concentration of Na-As(III) exceed 15 mg/L the ability to solubilized P of this isolate was reduced (Figure 2). The P solubilizing ability of high arsenic tolerant isolate; BAs8, BAs19 and BAs29 was increased with increasing Na-As(III) concentrations however the amount of solubilized P of these isolates was decreased at 100 mg/L Na-As(III). Among high tolerant isolates, BAs29 gave the highest values of

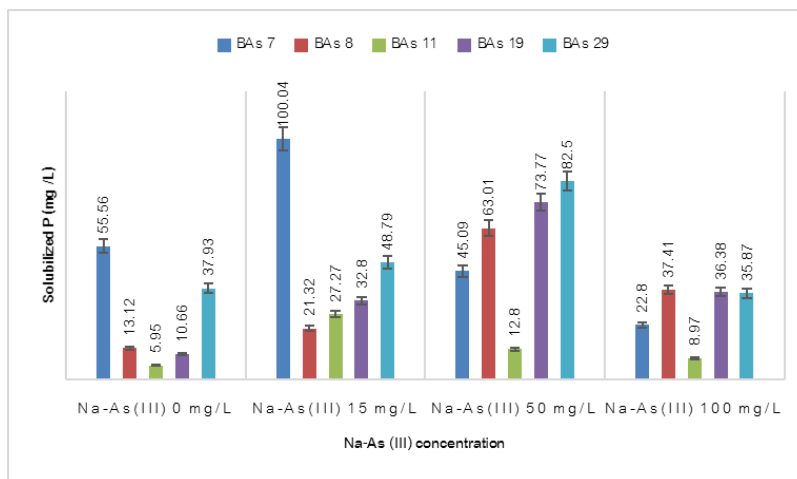


Figure 1. Phosphate solubilizing ability of arsenic-resistant bacteria i.e. BA s7, BA s8, BA s11, BA s19 and BA s29, under various levels of Na-As(III)

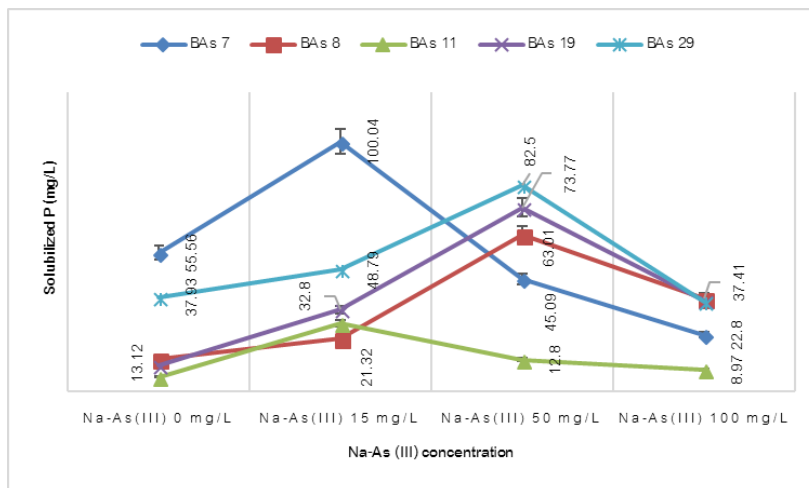


Figure 2. Variation in phosphate solubilizing ability of arsenic-resistant bacteria i.e. BA s7, BA s8, BA s11, BA s19 and BA s29, under various levels of Na-As(III)

solubilized P with values of 37.9, 48.7 and 82.5 mg P/L at 0, 15 and 50 mg/L Na-As(III), respectively. At the highest concentration of Na-As(III) (100 mg/L), BA s8, BA s19 and BA s29 gave similar values of solubilized P (35.9 to 37.4 mg P/L) while BA s7 gave the value of 22.8 mg P/L. BA s11 gave the lowest value of solubilized P at 0, 50 and 100 mg/L Na-As(III), with values of 5.9, 12.8 and 8.9 mg P/L, respectively. The solubilized P of BA s11 was increased when Na-As(III) increased from 0 to 15 mg/L

however when the concentration of Na-As(III) higher than 15 mg/L, the ability to solubilize P of BA s11 was markedly reduced.

3. Phosphate solubilization under various sources of insoluble phosphate

In this experiment, different sources of insoluble phosphate i.e. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, AlPO_4 or rock phosphate were used to evaluate P solubilizing ability of selected isolated.

The results showed that in the medium containing $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, arsenic-sensitive isolate, BAs7 gave the highest phosphate (P) solubilizing ability both in Pikovskaya's broth medium (PKVb) and PKVb plus Na-As(III) (15 mg/L) (PKVbp) (Table 2, Figure 3). This sensitive isolate exhibited double values of solubilized P in PKVbp (100 mgP/L) as compared to the value obtained in PKVb (55.5 mg/L). The P values obtained by BAs7 were significantly higher than those obtained by the rest of the isolates (Table 2). Among high arsenic-resistant isolates, BAs29 gave the highest ability in P solubilization with values of 37.9 and 48.8 mgP/L in PKVb and PKVbp, respectively.

It was observed that in the medium containing AlPO_4 , BAs19 gave the highest P solubilizing ability with values of 3.8 and 5.1 mgP/L in

PKVb and PKVbp, respectively. Isolate BAs7 gave similar value of solubilized as BAs19 in the PKVb medium (3.5 mgP/L). All the isolates gave much lower solubilized P when AlPO_4 was used as the P source compared to the values obtained using $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ as the P source.

In the medium containing rock phosphate without NaAsO_2 (PKVb), arsenic-resistant isolate, BAs8, BAs11, BAs19 and BAs29, showed non-significant solubilized P among them with values of 4.5, 5.3, 5.7 and 6.8 mg P/L, respectively. However, these values are significantly higher than that obtained by sensitive isolate, BAs7 (1.6 mg P/L). The amount of solubilized P was decreased when Na-As(III) was added to the medium (PKVbp) and BAs7 gave the lowest values of solubilized P.

Table 2. Effect of insoluble phosphate substrates on solubilization by arsenic-resistant bacteria

Isolate	Solubilized P (mg/L)					
	Na-As(III) 0 mg/L			Na-As(III) 15 mg/L		
	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	AlPO_4	Rock phosphate	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	AlPO_4	Rock phosphate
BAs 7	55.5a	3.5ab	1.6b	100.0a	4.1b	0.6b
BAs 8	13.1c	2.7c	4.5ab	21.3d	3.9b	1.4ab
BAs 11	5.9d	2.3c	5.3a	27.3cd	2.2c	3.7a
BAs 19	10.7cd	3.8a	5.7a	32.8c	5.1a	1.2ab
BAs 29	37.9b	3.3bc	6.8a	48.8b	3.9b	1.0ab
F-test	**	**	**	**	**	**
C.V.	15.41	9.77	37.36	11.31	10.28	82.23

F-test at $P < 0.05$; the symbol "****" is significantly different at the $P < 0.01$

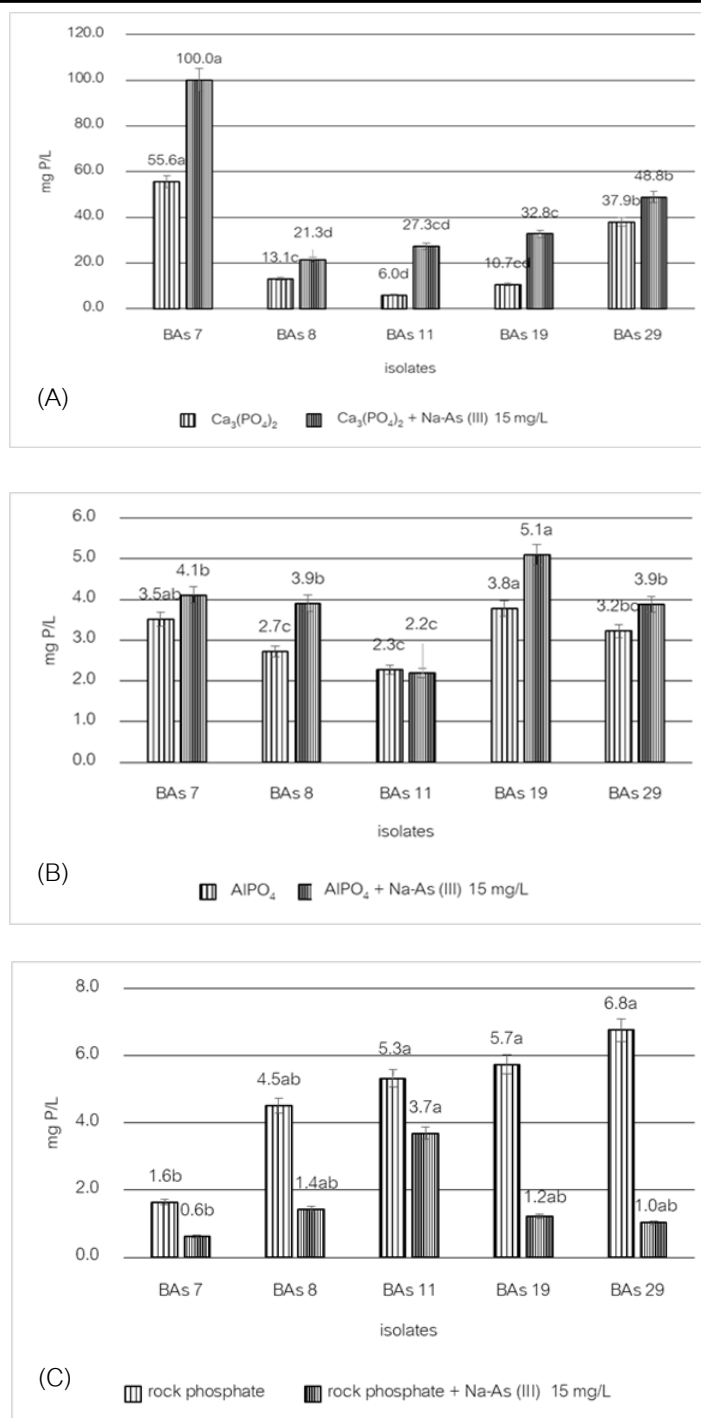


Figure 3. Phosphate solubilizing ability of arsenic-resistant bacteria under various sources of insoluble phosphate; (A) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; (B) AlPO_4 and (C) rock phosphate

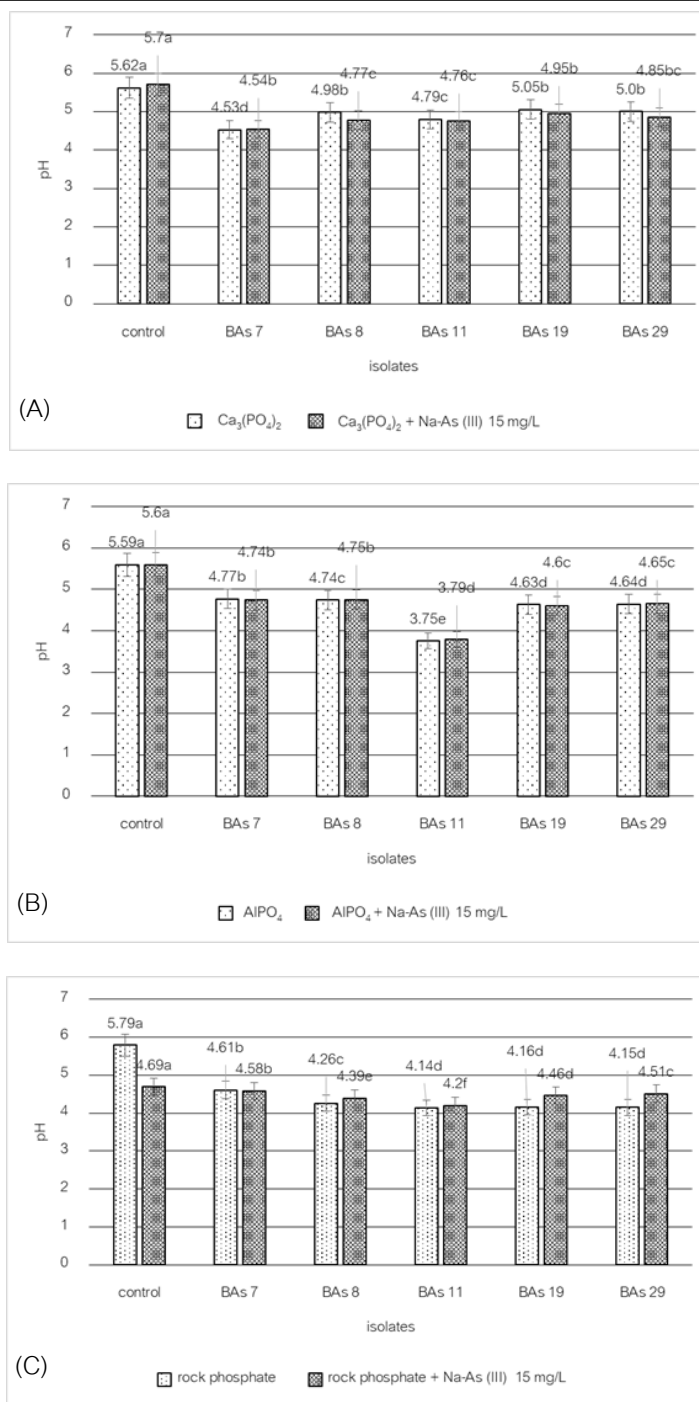


Figure 4. The medium pH changes by arsenic-resistant bacteria under various sources of insoluble phosphate; (A) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; (B) AlPO_4 and (C) rock phosphate

Discussion

The high arsenic resistant isolates (BAs8, BAs11, BAs19 and BAs29) tested in this study were able to increase the pH of the agar medium containing various concentrations of Na-As(III) plus bromocresol green, from 4.5 (green) to around ≥ 5.0 (ocean blue - bright blue). A slightly increase in the pH of the medium from 4.5 to 4.7 resulted in higher arsenic tolerance of several isolates. The growth appearance of the tested isolates was observed only when they were able to alter the pH of the agar medium to be around $\geq 5.0 - 6.0$ (ocean blue - bright blue) suggesting an alkali substance(s) might be released by the isolates as a detoxification and survival mechanism. Arsenic concentration and species are influenced by pH (Mandal and Suzuki, 2002) and the solubility of arsenic is decreased when the pH increase thus less toxic to bacteria. Shutsrirung (2003) concluded that rhizobium group Bj-A released alkali substance as a mechanism to alter the medium-pH for toxicities detoxification and this phenomenon occurred with the growth of the native bacterial isolates. The level of this growth depended on the capability of the native isolates to alter the pH of the medium.

In the present study, arsenic-resistant isolates reduced the pH values to be acidic to enable P solubilization of Ca-phosphate, Al-phosphate and rock phosphate. The results implied that organic acid(s) might be produced to facilitate the solubilization (Khan *et al.*, 2009). Based on previous studies, the primary mode of P solubilization by microbes is by production of organic acids (Chen *et al.*, 2016; Vassilev *et al.*, 2004), which is supported by pH reduction in the solution. Chen *et al.* (2016) also found an inverse relationship between the pH and P solubilization by bacterial strains *Arthrobacter*

sp., *Bacillus megaterium* and *Serratia marcescens*. The decrease in pH was due to the exudation of organic acids like citric, gluconic, succinic and lactic acid. Phosphate ion is similar to arsenate ion thus is uptake via phosphate transport system (Farwell *et al.*, 2007). The increase in phosphate in the environment markedly decreased arsenic uptake by the plant (Wang *et al.*, 2002b). In the present study, the tested isolates solubilized more Ca-phosphate and Al-phosphate in the medium containing higher concentrations of Na-As(III) thus less toxicity of arsenic in their cells.

Conclusion

The growth appearance of the tested isolates was observed only when they were able to alter the pH of the agar medium to be much more alkali. High arsenic resistant isolates i.e. BAs8, BAs11, BAs19 and BAs29 increased the pH of the agar medium from 4.5 and 4.7 to around $\geq 5.0 - 6.0$ in the agar medium with high concentration of Na-As(III) indicating ability to detoxify arsenic. High P solubilizing (Ca-phosphate, Al-phosphate) ability was observed in all the selected isolates, and the ability was increased markedly when they were exposed to arsenite, particularly sensitive isolate (BAs7), suggesting less arsenic uptake thus higher tolerant ability.

Acknowledgements

The authors wish to express special thanks to Highland Research and Development Institute (Public Organization), Chiang Mai, Thailand, for financial support.

References

- Abou-Shanab, R.A., J.S. Angle, T.A. Delorme, R.L. Chaney, P. Van Berkum, H. Moawad, K. Ghanem and H.A. Ghazlan. 2003. Rhizobacterial effects on nickel extraction from soil and uptake by *Alyssum murale*. *New Phytologist* 158(1): 219-224.
- Akhtar, M.S., B. Chali and T. Azam. 2013. Bioremediation of arsenic and lead by plants and microbes from contaminated soil. *Research in Plant Sciences* 1(3): 68-73.
- Aposhian, H.V., R.A. Zakharyan, M.D. Avram, M.J. Kopplin and M.L. Wollenberg. 2003. Oxidation and detoxification of trivalent arsenic species. *Toxicology and Applied Pharmacology* 193(1): 1-8.
- Bano, N. and J. Masarrat. 2003. Characterization of a new *Pseudomonas aeruginosa* strain NJ-15 as a potential biocontrol agent. *Current Microbiology* 46(5): 324-328.
- Chen, W., F. Yang, L. Zhang and J. Wang. 2016. Organic acid secretion and phosphate solubilizing efficiency of *Pseudomonas* sp. PSB12: Effects of phosphorus forms and carbon sources. *Geomicrobiology Journal* 33(10): 870-877.
- Das, S., J.S. Jean, S. Kar and C.C. Liu. 2013. Changes in bacterial community structure and abundance in agricultural soils under varying levels of arsenic contamination. *Geomicrobiology Journal* 30(7): 635-644.
- Farwell, A.J., S. Vesely, V. Nero, H. Rodriguez, K. McCormack, S. Shah, D.G. Dixon and B.R. Glick. 2007. Tolerance of transgenic canola plants (*Brassica napus*) amended with plant growth-promoting bacteria to flooding stress at a metal-contaminated field site. *Environmental Pollution* 147(3): 540-545.
- Gaur, A.C. 1990. Phosphate solubilizing microorganisms as biofertilizer. Omega Scientific Publishers, New Delhi.
- Khan, A.A., G. Jilani, M.S. Akhtar, S.M.S Naqvi and M. Rasheed. 2009. Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production. *Journal of Agriculture and Biological Sciences* 1(1): 48-58.
- Mandal, B.K. and K.T. Suzuki. 2002. Arsenic around the world: a review. *Talanta* 58(1): 201-235.
- Oremland, R.S. and J.F. Stolz. 2005. Arsenic, microbes and contaminated aquifers. *Trends in Microbiology* 13(2): 45-49.
- Passardi, F., C. Penel and C. Dunand. 2004. Performing the paradoxical: how plant peroxidases modify the cell wall. *Trends in Plant Science* 9(11): 534-540.
- Ratanaprommanee, C., K. Chinachanta and A. Shutsrirung. 2017. Effects of leonadite on soil quality and rice yield improvement. *Journal of Agriculture* 33(2): 215-224.
- Shutsrirung, A. 2003. Characterization of native bradyrhizobia in soybean-growing areas of northern Thailand. Ph.D. Thesis. Mie University, Mie, Japan. 150 p.
- Shutsrirung, A. 2012. Selection of microorganism in highland for soil quality improvement in acid and high arsenic soils. Final Report. Highland Research and Development Institute (Public Organization), Chiang Mai. 52 p.
- Silver, S. and L.T. Phung, 2005. Genes and enzymes involved in bacterial oxidation and reduction of inorganic arsenic. *Applied and Environmental Microbiology* 71(2): 599-608.

- Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, San Diego. 605 p.
- Vassilev, A., J.P. Schwitzguébel, T. Thewys, D. van der Lelie and J. Vangronsveld. 2004. The use of plants for remediation of metal contaminated soils. Scientific World Journal 4: 9-34.
- Wang, J.P., L. Qi, M.R. Moore and J.C. Ng. 2002a. A review of animal models for the study of arsenic carcinogenesis. Toxicology Letters 133(1): 17-31.
- Wang, J., F.J. Zhao, A.A. Meharg, A. Raab, J. Feldmann and S.P. McGrath. 2002b. Mechanisms of arsenic hyperaccumulation in *Pteris vittata*. Uptake kinetics, interactions with phosphate, and arsenic speciation. Plant Physiology 130(3): 1552-1561.
- Zhao, F.J., S.P. McGrath and A.A. Meharg. 2010. Arsenic as a food chain contaminant: mechanisms of plant uptake and metabolism and mitigation strategies. Annual Review of Plant Biology 61: 535-559.
-

ลักษณะดินที่เกิดจากหินปูนระหว่างพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ในลุ่มน้ำแม่ตา อำเภอสอด จังหวัดตาก

Soil Characteristics Derived from Limestone Between Agricultural and Forest Lands in Mae Tao Watershed, Mae Sot District, Tak Province

เบญจพร พรหมเสนวงศ์^{1*} สุนทร คำยอง² นิวัติ อนงค์รักษ์¹ และ พันธุ์พล หัตถโกศล³
Benjaporn Phomsenwong^{1*}, Soontorn Khamyong², Niwat Anongrak¹ and Panlop Huttagosol³

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

²ภาควิชาเกษตรที่สูงและทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Department of Highland Agriculture and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

³ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

³Department of Mining and Petroleum Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: Benjaporn.cmen@gmail.com

(Received: 30 November 2018; Accepted: 25 December 2018)

Abstract: The comparative study on soil characteristics derived from limestone in agricultural and forest areas at Mae Tao watershed, Mae Sot district, Tak province was carried out by digging six soil pits, three pits each in agricultural and forest lands with the size of 1.5 m in width and 1.0 m in depth. Soil samples were taken from six depths: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm. The samples were later analyzed for physical and chemical properties. The physical properties of agricultural soils were nearly the same to forest soils. Within the plowed layer (20 cm), bulk density was relatively low with texture of clay loam and clay. Gravel contents were decreased in the old agricultural land. The soil reaction varied from neutral to strongly acid. Organic matter and carbon contents varied from moderate to high, but the nitrogen content was low. Concentrations of available P, exchangeable Ca and Mg were moderate while exchangeable K was high to very high. Amounts of organic matter, carbon and nitrogen as well as exchangeable Ca and Mg in the plowed layer were lower than forest soils which might be caused by loss of surface soils through soil erosion. The amounts of available P and exchangeable K within 20 cm soil depth were higher than forest soils which might be affected by fertilization.

Keywords: Agricultural soil, forest soil, Mae Tao watershed, soil characteristics, soil properties

บทคัดย่อ: ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะดินที่เกิดจากหินปูนในพื้นที่เกษตรกรรมและป่าธรรมชาติในลุ่มน้ำแม่ดาว อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก โดยชุดหลุมดินทั้งหมด 6 หลุม ในพื้นที่เกษตรกรรม 3 หลุม และพื้นที่ป่าไม้ 3 หลุม ที่มีความกว้างและลึก 1.5×1 m เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 6 ระดับ คือ 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 และ 80-100 cm เพื่อวิเคราะห์สมบัติของดินทางกายภาพและเคมี พบว่า ดินเกษตรมีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับดินในป่า ดินชั้นไผ่พรวน (20 cm) มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวและดินเหนียว ปริมาณกรดลดลงในดินเกษตรที่ใช้เพาะปลูกมานาน ปฏิกริยาผืนแปรจากเป็นกลางถึงกรดจัด อินทรีย์วัตถุและคาร์บอนมีค่าผืนแปรจากปานกลางถึงสูง แต่มีไนโตรเจนต่ำ มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยเฉลี่ยปานกลางและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าปานกลาง โดยมีความผันแปรระหว่างหลุมดินและตามความลึก ปริมาณอินทรีย์วัตถุ คาร์บอนและไนโตรเจนต่อพื้นที่ รวมทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินชั้นไผ่พรวนมีค่าต่ำกว่าดินป่าไม้ ซึ่งเกิดจากการสูญเสียหน้าดินจากการชะกร่อนโดยน้ำ แต่ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่อพื้นที่กลับมีค่าสูงกว่า ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ย

คำสำคัญ: ดินเกษตร ดินป่าไม้ ลุ่มน้ำแม่ดาว ลักษณะดิน สมบัติของดิน

คำนำ

พื้นที่ต้นน้ำลำธารในภาคเหนือส่วนใหญ่เคยปกคลุมไปด้วยป่าไม้ ได้แก่ ป่าดิบเขา ป่าสนผสมป่าเต็งรัง ป่าสนผสมป่าดิบเขา ป่าดิบแล้งและป่าเบญจพรรณ ลักษณะดินในป่ามีความแตกต่างกันอย่างมาก ได้แก่ ความลึก สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี ปริมาณการสะสมของธาตุอาหาร เป็นต้น ดินป่าไม้มีความแตกต่างกันไปตามชนิดป่า ชนิดย่อยของป่าไม้ สภาพภูมิประเทศ ชนิดหินต้นกำเนิด สภาพภูมิอากาศและระดับความสูงจากน้ำทะเล (สุนทร, 2558; Seeloy-ounkeaw and Khamyong, 2015) ป่าที่อุดมสมบูรณ์นั้นจะทำให้พื้นที่ต้นน้ำลำธารอุดมสมบูรณ์ไปด้วยพืชพรรณไม้และสัตว์ป่านานาชนิด โดยมีน้ำไหลอยู่ในลำห้วยตลอดปี แต่การแผ้วถางป่าและบุกรุกยึดครองพื้นที่เพื่อการเพาะปลูกพืชเกษตรที่เพิ่มมากขึ้นทุกปีและปลูกเพื่อการค้ามากขึ้น ทำให้พื้นที่ต้นน้ำเหลือป่าไม้กระจายอยู่เป็นหย่อมป่าที่มีขนาดต่าง ๆ (อาไพ และคณะ, 2554) จากการรายงานของสำนักบริการวิชาการมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า พื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารในภาคเหนือได้ถูกแผ้วถางบุกรุกทำลายเพื่อเป็นพื้นที่เพาะปลูกอยู่ทั่วไปในพื้นที่ลุ่มน้ำ ทำให้เหลือพื้นที่ป่าไม้เป็นหย่อม ๆ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการพังทลายและความเสื่อมโทรมของดิน น้ำป่าไหลท่วมพื้นที่ด้านล่างในช่วงฤดูฝน เกิดความแห้งแล้งอย่างรุนแรงและขาด

แคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2544)

รัฐบาลมีนโยบายให้อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก เป็นเขตพื้นที่เศรษฐกิจพิเศษเพื่อการค้าและการลงทุน ผลผลิตสินค้าสำหรับค้าขายกับประเทศเมียนมาร์และอินเดีย ทำให้ที่ดินมีราคาสูงขึ้นมากและมีการบุกรุกแผ้วถางป่ายึดครองพื้นที่ต้นน้ำเพื่อเพาะปลูกพืชเกษตรทั่วไป โดยเฉพาะพื้นที่ต้นน้ำของห้วยแม่สวดและห้วยแม่ดาว ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาน้ำป่าไหลป่าในช่วงฤดูฝนและความแห้งแล้งรุนแรงในฤดูแล้ง กรมป่าไม้และกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืชจึงต้องเร่งแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยได้น้อมนำแนวทางการจัดการลุ่มน้ำแบบบูรณาการตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 และได้จัดตั้งที่ทำการโครงการตามแนวพระราชดำรินี้ในลุ่มน้ำแม่ดาว ป่าไม้ในพื้นที่ต้นน้ำแม่ดาวส่วนใหญ่เป็นป่าเบญจพรรณบนพื้นที่หินปูนและพบป่าเต็งรังเป็นหย่อม ๆ ตามสันเขาที่แห้งแล้งบนพื้นที่หินทรายที่โผล่แทรกขึ้นมา ป่าไม้ส่วนใหญ่จึงเป็นป่าเบญจพรรณที่มีดินค่อนข้างลึกและอุดมสมบูรณ์ ทำให้มีการแผ้วถางป่าเบญจพรรณเป็นบริเวณกว้างและเหลือป่าเต็งรังเป็นหย่อม ทรัพยากรที่ปลูกมาก ได้แก่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อ้อย มันสำปะหลัง พริกและพืชผักอื่น ๆ ในแต่ละปีเกษตรกรรมมีการใส่ปุ๋ยให้กับทรัพยากรจำนวนมาก เนื่องจากพืชเหล่านี้ต้องได้รับการใส่ปุ๋ยจึงจะเจริญเติบโตและให้ได้ผลผลิตที่มากพอ (กัญชลี และคณะ,

2561; ชูชาติ และกนกวรรณ, 2560) พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ดาวจึงเหลือป่าเบญจพรรณเป็นหย่อม ๆ ในช่วงฤดูฝนพื้นที่เกษตรกรรมจะมีสีเขียวของธัญพืช แต่หลังฤดูการเก็บเกี่ยวจะเปลี่ยนเป็นพื้นที่โล่งที่แห้งแล้งมาก ดังนั้นพื้นที่ลุ่มน้ำจึงอยู่ในสภาพเสื่อมโทรมมากในฤดูแล้ง ช่วงฤดูฝนก็มีปัญหาการไหลบ่าของน้ำลงสู่ลำห้วยและพื้นที่เพาะปลูกด้านล่าง การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบลักษณะดินที่เกิดจากหินปูนระหว่างพื้นที่เกษตรกรรมกับพื้นที่ป่าเบญจพรรณ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมีและปริมาณ (ต่อพื้นที่) ของอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร เพื่อประเมินศักยภาพของดินเกษตรโดยการเปรียบเทียบกับดินป่าไม้ในลุ่มน้ำแม่ดาวตอนบน อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พื้นที่วิจัย

พื้นที่วิจัยตั้งอยู่ในลุ่มน้ำแม่ดาวตอนบน อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก ห่างจากอำเภอเมือง จังหวัดตาก ประมาณ 86 km ซึ่งอยู่ติดชายแดนและเป็นที่ตั้งจุดผ่านแดนถาวรด่านพรมแดนแม่สวดเชื่อมโยงเมืองเมียวดี ประเทศเมียนมาร์ ประกอบด้วยพื้นที่เกษตรกรรม (agricultural land, AL) และป่าธรรมชาติที่เป็นป่าเบญจพรรณ (forest land, FL) ดังนี้

1. พื้นที่เกษตรกรรม แบ่งออกเป็น 3 พื้นที่

- (1) พื้นที่ 1 (AL1) ใช้ปลูกข้าวโพดมานานนับสิบปี ตั้งอยู่บริเวณด้านล่างของพื้นที่ลาดเทใกล้ห้วย
- (2) พื้นที่ 2 (AL2) ใช้ปลูกข้าวโพดและมันสำปะหลังหลายปี ตั้งอยู่บนเชิงเขา แต่ไม่นานมาก
- (3) พื้นที่ 3 (AL3) ใช้ปลูกข้าวโพดหลายปี แต่ไม่นานมาก ตั้งอยู่บนยอดเนิน

2. พื้นที่ป่าเบญจพรรณ แบ่งออกเป็น 3 พื้นที่

- (1) พื้นที่ 1 (FL1) เป็นป่าเบญจพรรณพื้นที่ป่าชุมชนบ้านถ้ำเสือ ตั้งอยู่บริเวณเชิงเขา
- (2) พื้นที่ 2 (FL2) เป็นป่าเบญจพรรณบนพื้นที่ป่าชุมชนของบ้านถ้ำเสือ ตั้งอยู่บริเวณริมห้วย
- (3) พื้นที่ 3 (FL3) เป็นป่าเบญจพรรณบริเวณพื้นที่สันเขา

2. การศึกษาลักษณะดิน

ชุดหลุมดินกว้าง 1.5 m และลึก 1 m จำนวน 6 หลุม แบ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรม 3 หลุม และป่าเบญจพรรณ 3 หลุม เก็บตัวอย่างดินในแต่ละหลุมที่ความลึก 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 และ 80-100 cm และนำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ สมบัติทางกายภาพของดิน (physical properties) ได้แก่ (1) ความหนาแน่นรวม (bulk density) โดยวิธี core method (2) ปริมาณกรวด (gravel content) (3) เนื้อดิน (texture) โดยวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคดิน (particle size distribution) ใช้วิธี hydrometer method สมบัติทางเคมีของดิน (chemical properties) ได้แก่ (1) ปฏิกริยาดิน (pH) อัตราส่วนดินและน้ำ 1:1 (2) อินทรีย์วัตถุและคาร์บอนโดยวิธีของ Walkley and Black (Nelson and Sommers, 1982) (3) ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (total nitrogen) ใช้วิธีของ Bremner and Mulvaney (1982) (4) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) อ่านค่าด้วยเครื่องมิววัดการดูดกลืนแสง (Olsen and Sommers, 1982) (5) โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K, Ca และ Mg) ใช้วิธีแลกเปลี่ยนด้วย 1 N ammonium acetate pH 7 อ่านค่าด้วยเครื่อง atomic absorption spectrometer (Lanyon and Heald, 1982) คำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารหลักต่อพื้นที่โดยคูณค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารกับมวลดินในแต่ละชั้นดินและหาค่าผลรวมตลอดชั้นดิน

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาลักษณะดินในพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ป่าเบญจพรรณ บริเวณลุ่มน้ำแม่ดาว อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก ประกอบด้วย สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมีและปริมาณต่อพื้นที่ของอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารหลัก

1. สมบัติทางกายภาพของดิน (soil physical properties)

1.1 ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density)

(1) **พื้นที่เกษตรกรรม: พื้นที่ 1** ดินมีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นในดินล่าง (1.33-1.52 Mg/m³) **พื้นที่ 2** มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำตลอดชั้นดิน (1.03-1.26 Mg/m³) และ **พื้นที่ 3** มีความหนาแน่นต่ำตลอดชั้นดิน (0.76-1.00 Mg/m³) ความหนาแน่นที่มีค่าต่ำเกิดจากมีปริมาณกรวดในชั้นดินค่อนข้างมาก (ตารางที่ 1)

(2) **พื้นที่ป่าธรรมชาติ: พื้นที่ 1** มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำในดินบนและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามความลึก (1.09-1.37 Mg/m³) **พื้นที่ 2** มีความหนาแน่นต่ำถึงปานกลาง (1.08-1.44 Mg/m³) และ **พื้นที่ 3** มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำในดินบน แต่ต่ำมากในดินล่าง (0.69-1.30 Mg/m³) ซึ่งเป็นผลจากปริมาณกรวดที่มากขึ้นตามความลึก แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของดินในพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ป่าเบญจพรรณมีความผันแปรตามพื้นที่และความลึกของดิน แต่การแผ้วถางป่าเป็นพื้นที่เพาะปลูกไม่มีผลต่อความหนาแน่นของดินโดยเฉพาะชั้นไผ่พรวน (ตารางที่ 1)

1.2 ปริมาณกรวดในดิน (gravel content)

(1) **พื้นที่เกษตรกรรม: พื้นที่ 1** เป็นพื้นที่ใช้เพาะปลูกธัญพืชมานาน ผ่านการไถพรวนมาก จึงทำให้มีปริมาณกรวดในชั้นดินน้อย (0.47-7.09% โดยน้ำหนัก) **พื้นที่ 2** เป็นพื้นที่ใช้เพาะปลูกไม่นาน จึงพบกรวดปะปนบ้างตลอดชั้นดิน (13.13-21.26%) ขณะที่ **พื้นที่ 3** อยู่บริเวณยอดเนิน ใช้เพาะปลูกไม่นานและพบกรวดค่อนข้างมาก (15.80-40.19%) (ตารางที่ 1)

(2) **พื้นที่ป่าธรรมชาติ: พื้นที่ 1** พบกรวดประปรายตลอดชั้นดิน (8.98-19.75% โดยน้ำหนัก) **พื้นที่ 2** พบกรวดน้อยเกือบตลอดชั้นดิน โดยเพิ่มขึ้นบ้างที่ความลึก 80-100 cm (1.38-16.49%) **พื้นที่ 3** มีกรวดน้อยในดินบนที่ความลึก 0-40 cm (3.59-4.42%) และเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากที่ความลึก 40-100 cm (28.61-45.76%) แสดงให้เห็นว่าปริมาณกรวดในดินเกษตรและดินป่าเบญจพรรณมีความผันแปรตามพื้นที่และความลึก แต่การแผ้วถางป่าเป็นพื้นที่เกษตรกรรมไม่ส่งผลต่อปริมาณกรวดในชั้นดิน โดยเฉพาะชั้นไผ่พรวนของดินในพื้นที่เกษตรกรรมที่มีความหนาแน่นประมาณ 20 cm (ตารางที่ 1)

Table 1. Some physical properties of soil profiles in agricultural and forest land

Land use	Depth (cm.)	Bulk density (Mg/m ³)				Gravel (% by weight)				Soil texture		
		Pedon 1	Pedon 2	Pedon 3	Mean±SD	Pedon 1	Pedon 2	Pedon 3	Mean±SD	Pedon 1	Pedon 2	Pedon 3
AL	0-10	1.33	1.12	1.00	1.15 ± 0.14	0.00	20.92	15.80	12.24 ± 8.90	Clay loam	Clay	Clay
	10-20	1.44	1.03	0.92	1.18 ± 0.26	0.47	18.69	25.46	14.87 ± 10.55	Clay loam	Clay	Clay
	20-40	1.39	1.22	0.78	1.13 ± 0.26	0.69	13.13	40.19	18.00 ± 16.49	Clay	Clay	Clay
	40-60	1.45	1.14	0.78	1.13 ± 0.27	1.04	14.48	39.56	18.36 ± 15.96	Clay	Clay	Clay
	60-80	1.52	1.07	0.85	1.15 ± 0.28	1.42	21.26	31.33	18.00 ± 12.43	Clay	Clay	Clay
	80-100	1.48	1.26	0.76	1.07 ± 0.25	7.09	13.28	39.57	19.98 ± 14.08	Clay	Clay	Clay
FL	0-10	1.10	1.16	1.05	1.10 ± 0.05	8.98	1.98	4.42	5.13 ± 2.90	Clay	Clay loam	Clay loam
	10-20	1.09	1.44	1.09	1.21 ± 0.17	15.22	1.53	3.59	6.78 ± 6.03	Clay	Clay loam	Clay
	20-40	1.22	1.32	1.30	1.31 ± 0.01	19.75	1.81	3.76	8.44 ± 8.04	Clay	Clay	Clay
	40-60	1.37	1.33	1.01	1.24 ± 0.16	14.87	1.38	28.61	14.95 ± 11.12	Clay	Clay	Clay
	60-80	1.30	1.16	0.69	1.05 ± 0.26	11.25	8.36	45.76	21.79 ± 16.99	Clay	Clay	Clay
	80-100	1.30	1.08	0.83	1.07 ± 0.19	11.25	16.49	41.54	23.09 ± 13.22	Clay	Clay	Clay

Remarks: AL = agricultural land, FL = forest land

1.3 เนื้อดิน (texture)

(1) **พื้นที่เกษตรกรรม:** พื้นที่ 1 ดินที่ความลึก 0-20 cm เป็นดินร่วนเหนียว (clay loam) โดยมีอนุภาคทราย ทรายแป้งและดินเหนียวเฉลี่ย เท่ากับ 35, 29.80 และ 35.20% ตามลำดับ และดินชั้นล่างที่ความลึก 20-100 cm เป็นดินเหนียว (clay)) ที่มีอนุภาคทั้งสามขนาด เท่ากับ 32.3, 21.5 และ 46.3% **พื้นที่ 2** มีสัดส่วนอนุภาคดิน เท่ากับ 37, 17.3 และ 45.7% และ **พื้นที่ 3** มีอนุภาคทั้งสาม เท่ากับ 33, 15.5 และ 51.5% ซึ่งทำให้ดินใน พื้นที่ 2 และ พื้นที่ 3 เป็นดินเหนียวตลอดชั้นดิน (ตารางที่ 1)

(2) **พื้นที่ป่าธรรมชาติ:** พื้นที่ 1 เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดชั้นดิน (อนุภาคทราย ทรายแป้งและดินเหนียว = 14.8, 26.4 และ 58.8% ตามลำดับ) **พื้นที่ 2** ดินบน (0-20 cm) เป็นดินร่วนเหนียว (การกระจายของอนุภาคดิน = 37.5, 30.5 และ 33%) ดินล่างที่ความลึก 20-100 cm เป็นดินเหนียว (การกระจายของอนุภาคดิน = 35, 29.80 และ 35.20%) และ **พื้นที่ 3** ดินบน (0-10 cm) เป็นดินร่วนเหนียว (การกระจายของอนุภาคดิน = 30, 34 และ 36%) และดินล่างที่ความลึก 10-100 cm เป็นดินเหนียว (การกระจายของอนุภาคดิน = 18.4, 26.6 และ 55%) การผุสลายของหินปูนจะให้ดินเนื้อละเอียดแบบ clay และ clay loam ในดินบนและ clay ในดินล่าง มีปริมาณร้อยละอนุภาคทรายต่ำ ทรายแป้งค่อนข้างมาก และมีดินเหนียวมาก (ตารางที่ 1)

2. สมบัติทางเคมีของดิน (soil chemical properties)

2.1 ปฏิกิริยาดิน (soil reaction)

(1) **พื้นที่เกษตรกรรม:** พื้นที่ 1 ดินบนที่ความลึก 0-10 cm มีปฏิกิริยาเป็นกลาง (neutral, pH = 6.7) ช่วงความลึก 10-20 cm เป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid, pH = 6.5) และช่วงความลึก 20-100 cm เป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (pH = 5.5-6.0) **พื้นที่ 2** ดินที่ช่วงความลึก 0-20 cm เป็นกรดเล็กน้อย (pH = 6.2-6.4) และช่วงความลึก 20-100 cm เป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (pH = 5.5-5.8) และ **พื้นที่ 3** ดินเป็นกรดจัดตลอดชั้นความลึก (strongly acid pH = 5.4-5.5) (ตารางที่ 2)

(2) **พื้นที่ป่าธรรมชาติ:** พื้นที่ 1 ดินที่ช่วงความลึก 0-40 cm เป็นกรดจัด (pH = 5.2-5.5) ความลึก 40-80 cm เป็นกรดปานกลาง (moderately acid, pH = 5.9-6.0) **พื้นที่ 2** ดินที่ความลึก 0-10 cm เป็นกรดเล็กน้อย (pH = 5.9) ความลึก 10-40 cm เป็นกรดปานกลาง (pH = 5.6) ความลึก 40-100 cm เป็นกรดจัด (pH = 5.2-5.5) **พื้นที่ 3** ดินเป็นกรดจัดตลอดชั้นดิน (pH = 5.2-5.5) ดินชั้นไทรยว (0-20 cm) ในพื้นที่เกษตรกรรม 2 พื้นที่ เป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง แต่ดินใน 1 พื้นที่ เป็นกรดจัด ขณะที่ดินในป่า 2 พื้นที่เป็นกรดจัด และ 1 พื้นที่ เป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง ข้อมูลแสดงให้เห็นว่าดินในพื้นที่เกษตรกรรมมีแนวโน้มเป็นกรดลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการชะล้างหน้าดินและสูญเสียอินทรีย์วัตถุ การเผาซากพืชและการใส่ปุ๋ย ดินบนในป่าเป็นกรดมากกว่าเนื่องจากซากพืชที่ร่วงหล่นลงบนพื้นดินในแต่ละปีมีการย่อยสลายเป็นกรดอินทรีย์ (ตารางที่ 2)

2.2 อินทรีย์วัตถุ คาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

(1) **พื้นที่เกษตรกรรม:** พื้นที่ 1 ดินที่ความลึก 0-20 cm มีอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง (2.58-3.23% โดยน้ำหนัก) ความลึก 20-100 cm มีค่าต่ำถึงปานกลาง (0.83-1.93%) **พื้นที่ 2** ที่ความลึก 0-20 cm มีค่าปานกลาง (1.54-2.10%) และชั้นล่างมีค่าต่ำ (0.72-0.98%) **พื้นที่ 3** ที่ความลึก 0-20 cm มีค่าค่อนข้างสูงถึงสูง (2.60-4.08%) และชั้นล่างมีค่าต่ำถึงค่อนข้างต่ำ (0.60-1.12%) คาร์บอนและไนโตรเจนในดินพื้นที่เกษตรกรรมมีแนวโน้มเช่นเดียวกับอินทรีย์วัตถุ

(2) **พื้นที่ป่าธรรมชาติ:** พื้นที่ 1 ดินที่ความลึก 0-20 cm มีอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูงถึงสูง (3.00-4.22%) ความลึก 20-80 cm มีค่าปานกลาง (1.77-1.78%) **พื้นที่ 2** ที่ความลึก 0-20 cm มีค่าปานกลางถึงค่อนข้างสูง (2.35-3.23%) และชั้นดินที่อยู่ลึกลงไปมีค่าต่ำถึงค่อนข้างต่ำ (0.73-1.46%) **พื้นที่ 3** ที่ความลึก 0-20 cm มีค่าค่อนข้างสูงถึงสูงมาก (3.64-5.93%) และมีค่าต่ำถึงค่อนข้างต่ำในดินล่าง (0.71-1.35%) คาร์บอนและไนโตรเจนในดินมีแนวโน้มเหมือนกัน (ตารางที่ 2)

Table 2. Soil chemical properties and nutrient contents along soil profiles in agricultural and forest land

Land use	Depth (cm)	pH	OM	C	N	Avail. P	Exchangeable nutrients (mg/kg)		
				(%)		(mg/kg)	K	Ca	Mg
AL1	0-10	6.7 N	3.23 MH	1.87	0.16 L	12.41 M	345.13 VH	2096.61 H	251.42 M
	10-20	6.5 SLA	2.58 MH	1.50	0.13 L	6.59 ML	253.69 VH	1698.31 M	200.37 M
	20-40	5.5 SA	1.93 M	1.12	0.10 VL	0.77 VL	162.26 VH	1300.00 M	149.31 M
	40-60	5.2 SA	1.53 M	0.89	0.08 VL	0.73 VL	133.18 VH	1658.47 M	147.47 M
	60-80	5.6 MA	1.12 ML	0.65	0.06 VL	0.69 VL	104.09 H	2016.95 H	145.63 M
	80-100	6.0 MA	0.83 L	0.48	0.04 VL	0.43 VL	97.87 H	1715.25 M	124.32 M
AL2	0-10	6.4 SLA	2.10 M	1.22	0.11 L	23.36 MH	205.66 VH	1413.56 M	103.01 L
	10-20	6.2 SLA	1.54 M	0.89	0.08 VL	12.67 M	229.60 VH	1140.00 M	103.07 L
	20-40	5.8 MA	0.98 L	0.57	0.05 VL	1.99 VL	253.54 VH	866.44 L	103.12 L
	40-60	5.5 SA	0.89 L	0.52	0.04 VL	1.80 VL	230.35 VH	931.86 L	90.31 L
	60-80	5.5 SA	0.80 L	0.46	0.04 VL	1.61 VL	207.15 VH	997.29 L	77.50 L
	80-100	5.6 MA	0.72 L	0.42	0.04 VL	1.14 VL	182.02 VH	979.15 L	58.25 L
AL3	0-10	5.5 SA	4.08 H	2.37	0.20 L	8.68 ML	76.89 M	1361.02 M	239.00 M
	10-20	5.5 SA	2.60 MH	1.51	0.13 L	4.65 L	49.41 L	1279.66 M	223.34 M
	20-40	5.5 SA	1.12 ML	0.65	0.06 VL	0.62 VL	21.93 VL	1198.31 M	207.69 M
	40-60	5.4 SA	0.98 L	0.57	0.05 VL	0.65 VL	28.22 VL	1145.76 M	214.06 M
	60-80	5.5 SA	0.84 L	0.49	0.04 VL	0.69 VL	34.51 L	1093.22 M	220.43 M
	80-100	5.5 SA	0.60 L	0.35	0.03 VL	0.30 VL	27.20 VL	845.34 L	220.10 M
FL1	0-10	5.5 SA	4.22 H	2.45	0.21 M	1.91 VL	155.90 VH	2397.46 H	219.77 M
	10-20	5.2 SA	3.00 MH	1.74	0.15 L	1.45 VL	169.73 VH	2734.32 H	180.74 M
	20-40	5.5 SA	1.78 M	1.03	0.09 VL	1.00 VL	183.57 VH	3071.19 VH	141.71 M
	40-60	5.9 MA	1.78 M	1.03	0.09 VL	1.53 VL	151.49 VH	3448.31 VH	124.21 M
	60-80	6.0 MA	1.77 M	1.02	0.09 VL	2.06 VL	119.42 H	3825.42 VH	106.72 L
FL2	0-10	5.9 SLA	3.23 MH	1.87	0.16 L	1.45 VL	244.97 VH	1301.69 M	189.43 M
	10-20	5.6 MA	2.35 M	1.36	0.12 L	1.26 VL	180.15 VH	1069.32 M	159.55 M
	20-40	5.6 MA	1.46 ML	0.85	0.07 VL	1.07 VL	115.33 H	836.95 L	129.67 M
	40-60	5.5 SA	1.15 ML	0.67	0.06 VL	1.15 VL	109.47 H	735.76 L	111.97 L
	60-80	5.2 SA	0.84 L	0.49	0.04 VL	1.22 VL	103.62 H	634.58 L	94.27 L
	80-100	5.2 SA	0.73 L	0.42	0.04 VL	1.97 VL	83.94 M	571.53 L	74.27 L
FL3	0-10	5.3 SA	5.93 VH	3.44	0.30 M	18.72 MH	44.26 L	1508.47 M	234.26 M
	10-20	5.2 SA	3.64 MH	2.11	0.18 L	10.39 M	81.60 M	1238.98 M	191.80 M
	20-40	5.4 SA	1.35 ML	0.78	0.07 VL	2.06 VL	118.95 H	969.49 L	149.33 M
	40-60	5.5 SA	1.12 ML	0.65	0.06 VL	1.83 VL	87.26 M	1064.41 M	175.87 M
	60-80	5.5 SA	0.88 L	0.51	0.04 VL	1.61 VL	55.58 L	1159.32 M	202.41 M
	80-100	5.5 SA	0.71 L	0.41	0.04 VL	1.58 VL	55.55 L	1107.32 M	202.38 M

Remarks: AL = agricultural land, FL = forest land

N = neutral, SLA = slightly acid, MA = moderately acid, SA = strongly acid

VL = very low, L = low, ML = moderately low, M = medium, MH = moderately high, H = high, VH = very high (Land Classification Division, 1973; Soil Survey Division, 1993)

2.3 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ
โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่
แลกเปลี่ยนได้ (available P and exchangeable K, Ca
และ Mg)

(1) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์: พื้นที่
เกษตรกรรม พื้นที่ 1 ฟอสฟอรัสในชั้นดินมีค่าต่ำมากถึง
ปานกลาง (0.43-12.41 mg/kg) พื้นที่ 2 มีค่าต่ำมากถึง
ค่อนข้างสูง (1.14-23.36 mg/kg) และ พื้นที่ 3 มีค่าต่ำ
มากถึงค่อนข้างต่ำถึง (0.30-8.68 mg/kg) พื้นที่ป่า
ธรรมชาติ พื้นที่ 1 และ พื้นที่ 2 มีค่าต่ำมาก (1.00-2.06,
1.07-1.97 mg/kg) และ พื้นที่ 3 มีค่าต่ำมากถึงค่อนข้าง
สูง (1.58-18.72 mg/kg) (ตารางที่ 2)

(2) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้: พื้นที่
เกษตรกรรม พื้นที่ 1 โพแทสเซียมในชั้นดินมีค่าสูงถึงสูง
มาก (97.87-345.13 mg/kg) พื้นที่ 2 มีค่าสูงมาก
(182.02-253.54 mg/kg) และ พื้นที่ 3 มีค่าต่ำมากถึง
ปานกลาง (21.93-76.89 mg/kg) พื้นที่ป่าธรรมชาติ พื้นที่
1 มีค่าสูงถึงสูงมาก (119.42-183.57 mg/kg) พื้นที่ 2 มี
ค่าปานกลางถึงสูงมาก (83.94-244.97 mg/kg) และ
พื้นที่ 3 มีค่าต่ำถึงสูง (44.26-118.95 mg/kg) (ตารางที่ 2)

(3) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้: พื้นที่
เกษตรกรรม พื้นที่ 1 แคลเซียมในชั้นดินมีค่าปานกลาง
ถึงสูง (1,300.00-2,096.61 mg/kg) พื้นที่ 2 มีค่าต่ำถึง
ปานกลาง (866.44-1,413.56 mg/kg) และ พื้นที่ 3 มี
ค่าต่ำถึงปานกลาง (845.34-1,361.02 mg/kg) พื้นที่ป่า
ธรรมชาติ พื้นที่ 1 มีค่าสูงถึงสูงมาก (2,397.46-
3,825.42 mg/kg) พื้นที่ 2 มีค่าต่ำถึงปานกลาง
(571.53-1,301.69 mg/kg) และ พื้นที่ 3 มีค่าต่ำถึง
ปานกลาง (969.49-1,508.47 mg/kg) (ตารางที่ 2)

3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารหลักในดิน

3.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดิน

(1) อินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM): พื้นที่
เกษตรกรรมมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลึก 100 cm แปร
ผันระหว่าง 19,019.93-37,893.03 kg/rai (เฉลี่ย
25,414.92 $\pm$ 8,824.27 kg/rai) ในป่าเบญจพรรณมีค่า
28,108.85-34,702.51 kg/rai (เฉลี่ย 30,732.24 $\pm$
2,855.37 kg/rai) (ตารางที่ 3) ปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ย

ในชั้นไผ่พรวน (0-20 cm) ของพื้นที่เกษตรกรรมมีค่า
9,822.37 kg/rai ซึ่งต่ำกว่าในป่าเบญจพรรณ (13,464.69
kg/rai) (ภาพที่ 1)

(2) คาร์บอน (carbon): พื้นที่เกษตรกรรมมี
ปริมาณคาร์บอนในดินลึก 100 cm แปรผันระหว่าง
11,031.56-21,977.96 kg/rai (เฉลี่ย 14,740.66 $\pm$
5,118.08 kg/rai) ในป่าเบญจพรรณมีค่า 16,303.13-
20,127.46 kg/rai (เฉลี่ย 17,824.70 $\pm$ 1,656.11 kg/rai)
(ตารางที่ 3) ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยในชั้นไผ่พรวน (0-20
cm) ของพื้นที่เกษตรกรรมมีค่า 5,696.98 kg/rai ขณะที่
พื้นที่ป่าเบญจพรรณมีค่าสูงกว่า (7,809.52 kg/rai) (ภาพ
ที่ 1)

(3) ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen): พื้นที่
เกษตรกรรมมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในระดับ
ความลึก 100 cm แปรผันระหว่าง 951.00-1,894.65
kg/rai (เฉลี่ย 1,270.75 $\pm$ 441.21 kg/rai) ในป่าเบญจ
พรรณมีค่า 1,405.44-1,735.13 kg/rai (เฉลี่ย 1,536.61 $\pm$
142.77 kg/rai) (ตารางที่ 3) ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในชั้น
ไผ่พรวน (0-20 cm) ของพื้นที่เกษตรกรรมมีค่า 491.12
kg/rai ขณะที่พื้นที่ป่าเบญจพรรณมีค่าสูงกว่า (673.23
kg/rai) (ภาพที่ 1)

(4) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available
P): พื้นที่เกษตรกรรมมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์
ในดินลึก 100 cm แปรผันระหว่าง 2.65-8.71 kg/rai
(เฉลี่ย 5.58 $\pm$ 2.48 kg/rai) พื้นที่ป่าธรรมชาติมีค่า 2.51-
7.18 kg/rai (เฉลี่ย 4.11 $\pm$ 2.17 kg/rai) ซึ่งมีค่าใกล้เคียง
กัน (ตารางที่ 3) ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยในชั้นไผ่พรวน (0-
20 cm) ของพื้นที่เกษตรกรรมมีค่า 4.16 kg/rai ตามลำดับ
ขณะที่พื้นที่ป่าเบญจพรรณมีค่า 2.04 kg/rai (ภาพที่ 1)

(5) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้
(exchangeable K): พื้นที่เกษตรกรรมมีปริมาณ
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลึก 100 cm แปรผัน
ระหว่าง 48.07-401.68 kg/rai (เฉลี่ย 270.89 $\pm$ 158.35
kg/rai) พื้นที่ป่าธรรมชาติมีค่าระหว่าง 126.23-249.79
kg/rai (เฉลี่ย 206.88 $\pm$ 57.07 kg/rai) (ตารางที่ 3)
ปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยในชั้นไผ่พรวน (0-20 cm) ของ
พื้นที่เกษตรกรรมมีค่า 75.33 kg/rai ตามลำดับ ขณะที่
พื้นที่ป่าเบญจพรรณมีค่า 55.24 kg/rai (ภาพที่ 1)

Table 3. Amounts of organic matter and macronutrients in soils of agricultural and forest lands

Land use	Depth (cm)	Soil mass (Mg/rai/layer)	OM	Carbon	Total N	Avail. P	Exchangeable nutrients (kg/rai)		
			(kg/rai)	(kg/rai)			K	Ca	Mg
AL1	0-10	212.27	6860.40	3979.03	343.02	2.63	73.26	445.05	53.37
	10-20	230.79	5957.74	3455.49	297.89	1.52	58.55	391.95	46.24
	20-40	445.10	8595.33	4985.29	429.77	0.34	72.22	578.63	66.46
	40-60	464.90	7096.58	4116.02	354.83	0.34	61.92	771.02	68.56
	60-80	484.97	5440.69	3155.60	272.03	0.33	50.48	978.15	70.63
	80-100	474.98	3942.29	2286.53	197.11	0.20	46.49	814.70	59.05
	Total	2313.00	37893.03	21977.96	1894.65	5.38	362.91	3979.50	364.30
AL2	0-10	178.86	3760.86	2181.30	188.04	4.18	36.78	252.83	18.42
	10-20	164.80	2540.92	1473.73	127.05	2.09	37.84	187.87	16.99
	20-40	389.32	3818.97	2215.00	190.95	0.77	98.71	337.32	40.15
	40-60	364.80	3251.38	1885.80	162.57	0.66	84.03	339.94	32.95
	60-80	342.40	2744.77	1591.96	137.24	0.55	70.93	341.47	26.54
	80-100	403.20	2903.04	1683.76	145.15	0.46	73.39	394.79	23.49
	Total	1843.38	19019.93	11031.56	951.00	8.71	401.68	1854.23	158.52
AL3	0-10	159.77	6517.41	3780.10	325.87	1.39	12.28	217.45	38.18
	10-20	147.20	3829.80	2221.28	191.49	0.68	7.27	188.37	32.88
	20-40	249.09	2800.26	1624.15	140.01	0.15	5.46	298.49	51.73
	40-60	249.60	2447.86	1419.76	122.39	0.16	7.04	285.98	53.43
	60-80	272.00	2277.28	1320.82	113.86	0.19	9.39	297.36	59.96
	80-100	243.20	1459.20	846.34	72.96	0.07	6.62	205.59	53.53
	Total	1320.86	19331.81	11212.45	966.59	2.65	48.07	1493.22	289.71
Mean		1825.74	25414.92	14740.66	1270.75	5.58	270.89	2442.32	270.85
±SD		405.23	8824.27	5118.08	441.21	2.48	158.35	1096.90	85.06
FL1	0-10	176.10	7437.37	4313.68	371.87	0.34	27.45	422.20	38.70
	10-20	174.40	5232.85	3035.05	261.64	0.25	29.60	476.87	31.52
	20-40	389.33	6920.91	4014.13	346.05	0.39	71.47	1195.71	55.17
	40-60	438.40	7766.68	4504.67	388.33	0.67	66.41	1511.74	54.46
	60-80	416.00	7344.71	4259.93	367.24	0.86	49.68	1591.38	44.39
	Total	1594.23	34702.51	20127.46	1735.13	2.51	244.62	5197.89	224.24
FL2	0-10	185.73	5999.96	3479.97	300.00	0.27	45.50	241.76	35.18
	10-20	230.40	5402.98	3133.73	270.15	0.29	41.51	246.37	36.76
	20-40	422.44	6166.00	3576.28	308.30	0.45	48.72	353.56	54.78
	40-60	425.60	4895.55	2839.42	244.78	0.49	46.59	313.14	47.66
	60-80	371.20	3121.49	1810.46	156.07	0.45	38.46	235.55	34.99
	80-100	345.60	2522.88	1463.27	126.14	0.68	29.01	197.52	25.67
	Total	1980.97	28108.85	16303.13	1405.44	2.64	249.79	1587.91	235.04
FL3	0-10	168.14	9970.50	5782.89	498.52	3.15	7.44	253.63	39.39
	10-20	174.40	6350.41	3683.24	317.52	1.81	14.23	216.08	33.45
	20-40	414.69	5609.06	3253.26	280.45	0.85	49.33	402.04	61.93
	40-60	323.20	3615.77	2097.14	180.79	0.59	28.20	344.02	56.84
	60-80	220.80	1953.85	1133.23	97.69	0.35	12.27	255.98	44.69
	80-100	265.60	1885.76	1093.74	94.29	0.42	14.75	294.10	53.75
	Total	1566.83	29385.35	17043.50	1469.27	7.18	126.23	1765.85	290.05
Mean		1714.01	30732.24	17824.70	1536.61	4.11	206.88	2850.55	249.78
±SD		189.10	2855.37	1656.11	142.77	2.17	57.07	1661.41	28.82

Remarks: AL = agricultural land, FL = forest land

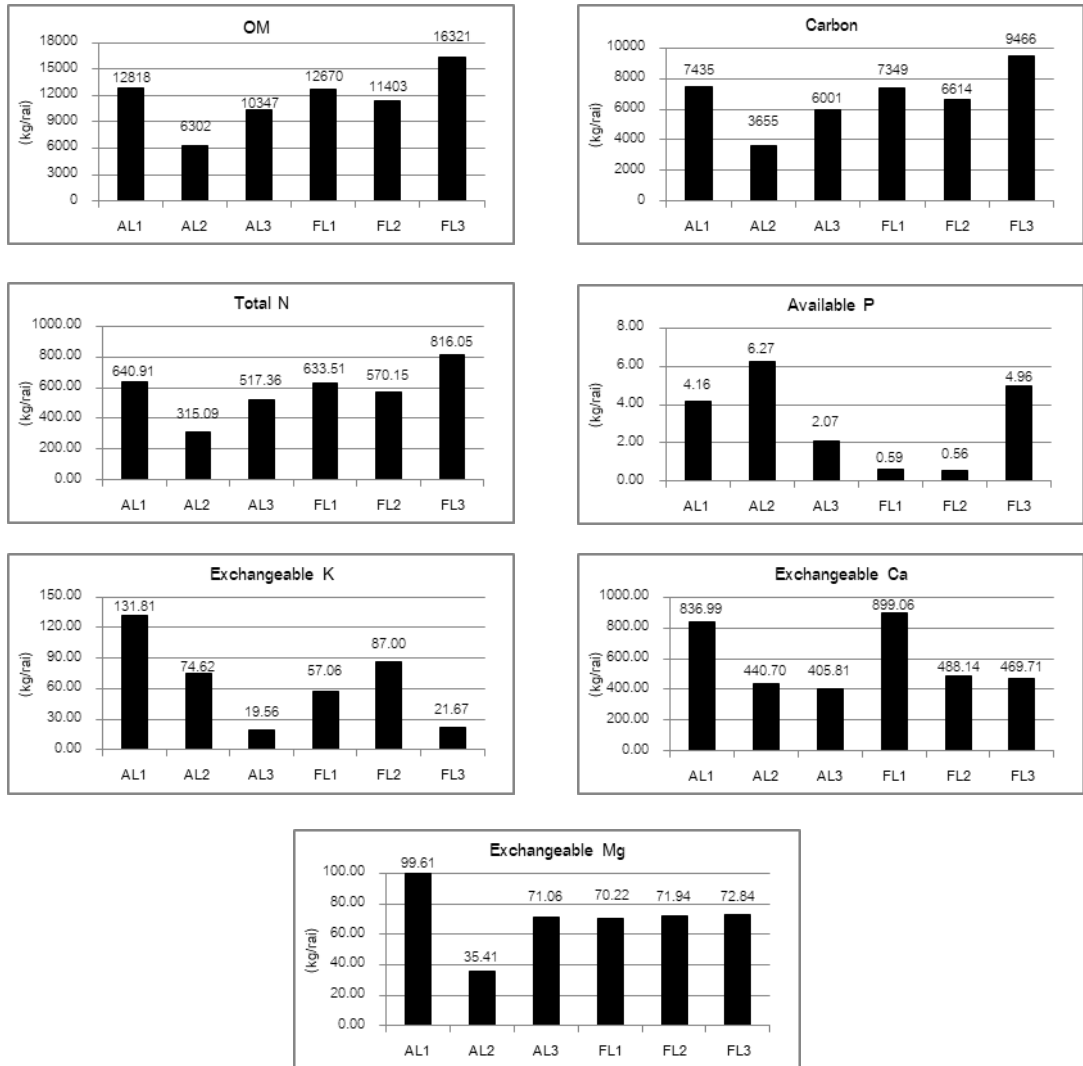


Figure 1. Amounts of organic matter, carbon, nitrogen, available P and exchangeable K, Ca and Mg at the depth of 0-20 cm in agricultural and forest lands

(6) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Ca): พื้นที่เกษตรกรรม 3 พื้นที่ มีแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลึก 100 cm แปรผันระหว่าง 1,493.22-3,979.50 kg/rai (เฉลี่ย $2,442.32 \pm 1,096.90$ kg/rai) ในป่าเบญจพรรณมีค่า 1,587.91-5,197.89 kg/rai (เฉลี่ย $2,850.55 \pm 1,661.41$ kg/rai) (ตารางที่ 3) ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในชั้นไผ่พรวน (0-20 cm) พื้นที่เกษตรกรรมมีค่า 561.17 kg/rai ในป่าเบญจพรรณมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย (618.97 kg/rai) (ภาพที่ 1)

(7) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Mg): พื้นที่เกษตรกรรม 3 พื้นที่ มีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลึก 100 cm แปรผันในช่วง 158.52-364.30 kg/rai (เฉลี่ย 270.85 ± 85.06 kg/rai) ขณะที่พื้นที่ป่าธรรมชาติมีค่าระหว่าง 224.24-290.05 kg/rai (เฉลี่ย 249.78 ± 28.82 kg/rai) (ตารางที่ 3) ปริมาณแมกนีเซียมเฉลี่ยในชั้นไผ่พรวน (0-20 cm) ของพื้นที่เกษตรกรรมมีค่า 68.69 kg/rai ซึ่งใกล้เคียงกับพื้นที่ป่าเบญจพรรณ (71.67 kg/rai) (ภาพที่ 1)

เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารหลักในชั้นไถพรวนที่ความลึก 0-20 cm พบว่าดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติค่อนข้างมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ คาร์บอน ไนโตรเจน สูงกว่าพื้นที่เกษตรกรรมอย่างเห็นได้ชัด แต่ในทางกลับกันพบความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของพื้นที่เกษตรกรรมมีปริมาณสูงกว่าพื้นที่ป่าธรรมชาติ ในส่วนของแคลเซียม และแมกนีเซียม พบว่าพื้นที่ป่าธรรมชาติมีปริมาณสูงกว่าพื้นที่เกษตรกรรมเล็กน้อย ปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ที่พบในพื้นที่เกษตรกรรมอาจมาจากการเติมปุ๋ย จึงส่งผลให้ธาตุอาหารบางชนิดมีสูงกว่าพื้นที่ป่าธรรมชาติ

วิจารณ์

การแผ้วถางป่าธรรมชาติให้โล่งเตียนเป็นพื้นที่เกษตรกรรมมักจะทำให้ลักษณะดินเปลี่ยนแปลงไปจากดินป่าไม้ เนื่องจากการไถพรวน การชะกร่อนหน้าดินของน้ำฝน การใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี การใช้สารกำจัดวัชพืชและสารฆ่าแมลง การเผาเศษซากพืชเกษตร เป็นต้น ซึ่งลักษณะดินจะค่อย ๆ เปลี่ยนจากพื้นที่เกษตรที่แผ้วถางป่าใหม่ ๆ ไปเป็นพื้นที่เกษตรที่ใช้เพาะปลูกพืชเกษตรมานานนับสิบ ๆ ปี การแผ้วถางป่าใหม่ ๆ จะมีเศษไม้ปลายไม้มาก ซึ่งเกษตรกรรมมักจะเผาไหม้เพื่อทำให้พื้นที่โล่งและจะมีชี้เถ้าเหลืออยู่ตามพื้นดิน ส่งผลให้ดินมีความเป็นกรดลดลง อินทรีย์วัตถุลดลง แต่มีความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารสูงขึ้น ในปีแรก ๆ ของการเพาะปลูกพืชไร่ เช่น ข้าวโพด อ้อย และมันสำปะหลัง เป็นต้น พืชจะได้รับธาตุอาหารมากและให้ผลผลิตค่อนข้างดี แต่ในปีถัดไปปริมาณและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารจะลดลงส่วนหนึ่งถูกพืชดูดไปใช้ในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต แต่บางส่วนสูญเสียไปกับการชะกร่อนไปกับน้ำที่ไหลบ่าหน้าดิน เนื่องจากไม่มีเรือนยอดของต้นไม้ช่วยรองรับน้ำฝน ซึ่งจะทำให้ผลผลิตพืชเกษตรในปีต่อ ๆ มาลดลง การเผาซากพืชหลังฤดูเก็บเกี่ยวจะทำให้ความเป็นกรดลดลงและเพิ่มธาตุอาหารลงไปในดินได้บ้าง การใส่ปุ๋ยจึงมีความจำเป็นและสำคัญต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืชเกษตร

สมบัติทางกายภาพของดิน (soil physical properties)

สมบัติทางกายภาพของดินมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก ได้แก่ ความลึก เนื้อดิน (สัดส่วนการกระจายของปริมาณอนุภาคดิน) ปริมาณกรวด ความหนาแน่นรวม เป็นต้น (Fisher and Binkley, 2000) โดยมีผลต่อระบอบความชื้น การถ่ายเทอากาศ อุณหภูมิ กระบวนการทางเคมี การเคลื่อนย้ายสะสมของอินทรีย์วัตถุและการอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในดิน ระยะเวลาการใช้ที่ดินเพื่อการเพาะปลูกพืชเกษตรจะมีผลต่อปริมาณกรวดในชั้นดิน ดินที่มีการเพาะปลูกเป็นเวลานานนับสิบปีมักจะมีปริมาณกรวดและหินน้อย เนื่องจากการผุสลายไปที่เกิดจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น น้ำฝนที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อย การไถพรวน แดดจัด และอุณหภูมิอากาศสูง เป็นต้น ดินเกษตร พื้นที่ 1 มีกรวดในชั้นดินน้อยเนื่องจากการใช้ที่ดินเป็นระยะเวลานาน นับสิบปี ดินเกษตรพื้นที่ 2 และ 3 มีกรวดค่อนข้างมาก เนื่องจากการเพาะปลูกพืชเกษตรไม่นาน ขณะที่ดินป่าเบญจพรรณที่เกิดจากหินปูนมีปริมาณกรวดแปรผันตามสภาพพื้นที่และความลึก พบหินผุอยู่ทั่วไป มีรากของพันธุ์ไม้ชนิดต่าง ๆ ค่อนข้างมากในดินบน โดยเฉพาะรากไม้ ซึ่งจะช่วยยึดดินและลดการชะกร่อนหน้าดิน ใบไม้ที่ทับถมบนพื้นป่าก็จะช่วยป้องกันการชะกร่อนหน้าดิน ดินเกษตรที่ความลึก 0-10 cm มีอินทรีย์วัตถุเฉลี่ย 3.13% (โดยน้ำหนัก) มีความหนาแน่นของดิน 1.15 Mg/m³ ขณะที่ดินป่าเบญจพรรณมีอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยมากกว่า (4.46%) และความหนาแน่นของดิน 1.10 Mg/m³ แม้ว่าความหนาแน่นในดินเกษตรไม่แตกต่างจากดินป่าไม้มากนัก แต่โดยทั่วไปปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนาแน่นของดิน สุปรีย์ (2554) พบว่า ในป่าดิบเขาที่เป็นป่าอนุรักษ์ (ป่าต้นน้ำ) ที่ไม่อนุญาตให้มีการตัดฟันต้นไม้ ดินบนที่ความลึก 0-10 cm มีอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยสูงถึง 8.52% และทำให้ความหนาแน่นมีค่าต่ำมาก (0.66 Mg/m³) แต่ในป่าดิบเขาที่เป็นป่าชุมชนเพื่อการใช้สอยที่มีการตัดฟันต้นไม้ไปใช้ประโยชน์มีอินทรีย์วัตถุลดลงเป็น 6.03% และทำให้ความหนาแน่นของดินสูงขึ้น (1.10 Mg/m³) ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำลงไปในดินลดลงและทำให้มีน้ำไหลบ่าหน้าดินมากขึ้น ดินบนในพื้นที่เกษตรกรรมมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวและ

ดินเหนียว ดินล่งเป็นดินเหนียว ซึ่งเหมือนกับดินป่าเบญจพรรณ ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ดาวส่วนใหญ่เป็นหินปูน ซึ่งเมื่อผุสลายจนสมบูรณ์จะกลายเป็นดินเหนียว

ค่อนข้างมาก แสดงว่า เป็นแร่องค์ประกอบของหินปูน (Fisher and Binkley, 2000)

สรุป

สมบัติทางเคมีของดิน (soil chemical properties)

สมบัติทางเคมีของดินมีความซับซ้อนมาก โดยเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาต่าง ๆ ระหว่างอินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหารและอนุภาคดินเหนียว รวมทั้งสิ่งมีชีวิตนานาชนิด (Pritchett and Fisher, 1987) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปฏิกิริยาดิน อินทรีย์วัตถุ และความเข้มข้นของธาตุอาหาร พบว่าดินในพื้นที่เกษตรกรรมมีปฏิกิริยาเป็นกรดน้อยลง ปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าปารธรรมชาติที่มีการทับถมของเศษซากพืชและสัตว์ ทั้งนี้การเผาเศษซากต่าง ๆ ยังส่งผลให้ปฏิกิริยาดินในพื้นที่เกษตรกรรม มีปฏิกิริยาเป็นกลางถึงกรดจัดในผิวดิน และกรดเล็กน้อยถึงกรดจัดในดินล่ง ในส่วนปารธรรมชาติดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงกรดจัดในผิวดิน และเป็นกรดปานกลางถึงกรดจัดในดินล่ง เนื่องจากใบไม้ที่ร่วงหล่นมานั้นมีความเป็นกรดเล็กน้อย ปริมาณธาตุอาหารอื่น ๆ พบมีปริมาณสูงกว่าพื้นที่ปารธรรมชาติ เนื่องจากการเติมปุ๋ยลงไปในพื้นที่เพื่อช่วยให้ดินมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้นเหมาะแก่การเพาะปลูกพืช

ปริมาณธาตุอาหารในดิน (amount of soil nutrients)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดิน (ต่อพื้นที่) ที่ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างดินเกษตรกับดินป่าไม้ ใช้ชั้นดินไทรพอน (0-20 cm) ของดินเกษตรเป็นเกณฑ์ พบว่า ดินในพื้นที่เกษตรกรรมมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ คาร์บอนและไนโตรเจนต่ำกว่าดินในป่าเบญจพรรณค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่โล่งที่มีการสูญเสียหน้าดินที่เกิดจากการชะกร่อนหน้าดิน (soil erosion) โดยน้ำที่ไหลบ่าหน้าดิน (surface runoff) ในแต่ละปี ขณะที่ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินพื้นที่เกษตรกรรมมีปริมาณต่ำกว่าดินป่าไม้เล็กน้อย แต่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของพื้นดินในที่เกษตรกรรมมีค่าสูงกว่าดินในป่า ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ย ดินเกษตรและดินป่าไม้ที่เกิดจากหินปูนมีโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมในชั้นดิน

ดินในพื้นที่เกษตรกรรมของลุ่มน้ำแม่ดาว อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก เกิดจากหินปูน พื้นที่เคยปกคลุมด้วยป่าเบญจพรรณ พบว่า มีความหนาแน่นรวมและเนื้อดินใกล้เคียงกันกับดินในป่า โดยมีความหนาแน่นต่ำถึงปานกลาง ดินบนเป็นดินร่วนเหนียวและดินล่งเป็นดินเหนียว ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกพืชไร่เชิงเดี่ยว ได้แก่ ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ฯลฯ ดินค่อนข้างลึกและมีความอุดมสมบูรณ์สูง พบกรดเล็กน้อยในชั้นดินบนและมากขึ้นในดินล่ง ซึ่งใกล้เคียงกับดินในป่า แต่ดินบนมีแนวโน้มเป็นกรดลดลงเนื่องจากอาจจะมีการเผาตอซังข้าวโพดหรืออ้อยและใส่ปุ๋ย แต่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อยกว่าดินในป่า จึงมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำกว่าดินในป่า แต่ดินมีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงเนื่องจากหินปูนอาจจะสลายตัวมากและทำให้ดินในพื้นที่เกษตรกรรมมีศักยภาพในการให้ผลผลิตพืชเกษตรค่อนข้างมาก แต่ต้องมีการใส่ปุ๋ยบ้าง หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรส่งเสริมให้เกษตรกรมีการอนุรักษ์ดินและน้ำเพื่อคงสภาพหรือเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งจะทำให้มีการใช้ที่ดินได้อย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณเดือนใจ พงศ์คำพันธ์ ศุภกานต์ ธิติจีระ และธนานิติ ธิชาญ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ที่ให้อาหารอนุเคราะห์การใช้อุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการวิเคราะห์ดิน ขอขอบคุณ คุณปารมिता เทพประสาร รัตนภรณ์ ไจมา และณิชาภัทร ดวงทิพย์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลดิน

เอกสารอ้างอิง

- กัญชวลี เจติยานนท์ ภิญญภา เปลี่ยนบางช้าง ศักดิ์ชัย วิทยาอารีย์กุล วันวิสาข์ บัณฑิตดี และ สุพรรณ-นิกา อินตะนันท์. 2561. พฤติกรรมการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรบ้านโพธิ์ประสาท ตำบลบ่อทอง อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก. วารสารเกษตร 34(2): 245-253.
- ชูชาติ สันธทรัพย์ และ กนกวรรณ นพพรรณ. 2560. ผลของการใช้ปุ๋ยละลายช้าต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ของข้าวโพดอาหารสัตว์ ในพื้นที่จังหวัดตาก. วารสารเกษตร 33(2): 225-234.
- ฐปริญญ์ สีสอยอุ้นแก้ว. 2554. การประเมินความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้และศักยภาพการสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้โดยการมีส่วนร่วมของชุมชนบ้านหนองเต่า อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 326 หน้า.
- สุนทร ค่ายอง. 2558. ดินป่าไม้ ธรรมชาติของดินป่าไม้ในประเทศไทย. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 711 หน้า.
- สำนักบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2544. แผนแม่บทการพัฒนาเกษตรที่สูงในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน 9 จังหวัด. รายงานการวิจัย. สำนักบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 128 หน้า.
- อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์ สุนทร ค่ายอง นิวัติ อนงค์รักษ์ และ เกวียศักดิ์ ศรียวงเงิน. 2554. สังคมพืชลักษณะดินและการสะสมธาตุอาหารในดินป่าดิบเขาต่ำที่เหลือเป็นหย่อม อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่. วารสารเกษตร 27(3): 247-257.
- Bremner, J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. pp. 595-624. *In*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2 - Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. American Society of Agronomy Publisher, Madison, Wisconsin.
- Fisher, R.F. and D. Binkley. 2000. Ecology and Management of Forest Soils. John Wiley and Sons, New York. 489 p.
- Land Classification Division. 1973. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Department of Land Development, Bangkok. 135 p.
- Lanyon, L.E. and W.R. Heald. 1982. Magnesium, calcium, strontium, and barium. pp. 247-262. *In*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2 - Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp. 539-580. *In*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2 - Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. pp. 403-430. *In*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2 - Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Pritchett, W.L. and R.F. Fisher. 1987. Properties and Management of Forest Soils. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York. 494 p.
- Seeloy-ounkaew, T. and S. Khamyong. 2015. Soil characteristics and carbon storage in forest soil of Mae Ya Noi Community Forest, Chom Thong district, Chiang Mai province. Thai Journal of Forestry 34(3): 44-55.

Soil Survey Division. 1993. Soil Survey Manual.
Handbook No. 18. U.S. Government
Printing Office, Washington, D.C.

การใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดโพรพิโอนิกเพื่อการควบคุมด้วงซีไ้ *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae)

Use of Formaldehyde Incorporated with Propionic Acid to Control Lesser Mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae)

รัตนภรณ์ หมายหมั่น¹ เยาวลักษณ์ จันทรบาง^{1*} ไสว บุรณพานิชพันธุ์¹ และ วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ²
Rattanaporn Maimun¹, Yaowaluk Chanbang^{1*}, Sawai Buranapanichpan¹ and Weerathep Pongprasert²

¹ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000

²Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

*Corresponding author: Email: lukksu@hotmail.com

(Received: 5 September 2018; Accepted: 13 November 2018)

Abstract: Lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) is an important insect pest of poultry farms which is able to transmit several microorganisms and affect human health. The preliminary study of the life cycle of lesser mealworm on chicken feed was performed under the laboratory conditions at $25.79 \pm 3.43^{\circ}\text{C}$ and relative humidity of $78.87 \pm 2.88\%$. The result found that the average development period of egg stage was 5.19 ± 0.39 days, larval stage was 40-108 days with 8-11 instars, the pupal stage was 6.16 ± 0.81 days and total life cycle from egg to adult stage was 68.45 ± 15.17 days. Formaldehyde and propionic acid are additives that commonly used to control bacteria (e.g. *Salmonella*) and molds in animal feed. Therefore, the effect of formaldehyde incorporated with propionic acid in the control of the eggs and 1st instar larva of lesser mealworm was investigated. The result showed that the mixture of formaldehyde and propionic acid at ratio of 0.051:0.012, 0.068:0.016 and 0.085:0.020% a.i. affected eggs and 1st instar larva of lesser mealworm and the mortality of those stages was first found on the 7th days after contacting chemical. The 100% mortality of eggs and 1st instar larva was found from all ratio of those mixture at the 32th and 14th days after contacting chemicals, respectively.

Keywords: Lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*, chicken feed, formaldehyde, propionic acid

บทคัดย่อ: ตัวงูซีไก่ *Alphitobius diaperinus* (Panzer) จัดเป็นแมลงศัตรูโรงเก็บที่สำคัญในฟาร์มสัตว์ปีก สามารถเป็นพาหะนำโรคมาสู่สัตว์เลี้ยง และอาจมีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ จึงศึกษาวงจรชีวิตของตัวงูซีไก่ *A. diaperinus* ในสภาพห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ $25.79 \pm 3.43^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย $78.87 \pm 2.88\%$ โดยเลี้ยงด้วยอาหารไก่พบว่าระยะไข่เฉลี่ย 1.30 ± 0.46 วัน ระยะหนอนมี 8-11 วัย ใช้เวลา 40-108 วัน ระยะดักแด้ใช้เวลาเฉลี่ย 6.16 ± 0.81 วัน รวมระยะเวลากจากไข่เจริญเป็นตัวเต็มวัยใช้เวลา 68.45 ± 15.17 วัน และในอาหารสัตว์ได้มีการเติมสารฟอร์มาลดีไฮด์และ กรดโพรพิโอนิกผสมลงไปเพื่อป้องกันกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อ *Salmonella* sp. ดังนั้นได้ทำการทดสอบสารดังกล่าวในการควบคุมตัวงูซีไก่ *A. diaperinus* โดยนำอาหารไก่ผสมสารฟอร์มาลดีไฮด์กับกรดโพรพิโอนิกสัดส่วน 0.051:0.012, 0.068:0.016 และ 0.085:0.020% a.i. หรืออัตราผลิตภัณฑ์เท่ากับ 3, 4 และ 5 กิโลกรัมต่อตันอาหารไก่ นำมาทดสอบกับตัวงูซีไก่ในระยะไข่ และระยะตัวหนอนวัยที่ 1 พบว่าสารผสมฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดโพรพิโอนิกอัตราส่วน 0.051:0.012, 0.068:0.016 และ 0.085:0.020% a.i. มีผลต่อการตายของตัวงูซีไก่ทั้งในระยะไข่และตัวหนอนวัยอ่อนระยะที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 7 หลังสัมผัสสาร โดยในระยะไข่พบอัตราการตายสูงสุดร้อยละ 100 ในทุกอัตราผสมที่ 32 วัน หลังสัมผัสสารผสม ในขณะที่ระยะหนอนวัยที่ 1 พบอัตราการตายสูงสุดร้อยละ 100 ในทุกอัตราผสมที่ 14 วัน หลังสัมผัสสารผสม ฟอร์มาลดีไฮด์และกรดโพรพิโอนิก

คำสำคัญ: ตัวงูซีไก่ ตัวกระดูกเปื่อง *Alphitobius diaperinus* อาหารไก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ กรดโพรพิโอนิก

คำนำ

ตัวงูซีไก่ หรือตัวกระดูกเปื่อง (lesser mealworm) *Alphitobius diaperinus* (Panzer) เป็นแมลงที่พบการกระจายได้ทั่วโลกรวมถึงประเทศไทย สามารถกินอาหารได้หลากหลาย เช่น ประเภทเมล็ดพืช เมล็ดธัญพืช ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเมล็ดพืช รวมถึงวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ และยังเป็นแมลงศัตรูสำคัญในอุตสาหกรรมสัตว์ปีก โดยระยะไข่และตัวหนอนวัยแรกของตัวงูซีไก่ซึ่งมีขนาดเล็กสามารถติดไปกับอาหารสัตว์สำเร็จรูประหว่างการนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์ และพบตัวหนอนและตัวเต็มวัยตามกองปุ๋ยมูลสัตว์ ปุ๋ยหมัก เชื้อรา ซากสัตว์ ไม้ผุ (Francisco and Prado, 2001) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าตัวงูซีไก่เป็นพาหะนำโรคได้หลายชนิดในสัตว์ปีก เช่น พาหะนำโรคเชื้อรา ได้แก่ *Aspergillus* spp. เชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ *Escherichia* spp., *Salmonella* spp. และ *Campylobacter* spp. รวมถึงพยาธิ และไวรัส เช่น โรค Fowlpox โรค Newcastle disease (Roche et al., 2009) เมื่อสัตว์ปีกกินแมลงเป็นอาหาร ทั้งตัวหนอนและตัวเต็มวัยอาจทำให้เกิดอุดตันในลำไส้ได้เนื่องจากสัตว์ปีกไม่มีเอนไซม์ย่อยไคติน (chitinase) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังลำตัวของแมลง (Dunford and Kaufman, 2012)

การป้องกันกำจัดตัวงูซีไก่ให้มีประสิทธิภาพใช้วิธีแบบผสมผสาน เน้นการรักษาความสะอาดภายในและภายนอกฟาร์มหรือเล้าไก่ และการสุขาภิบาลที่ดี เนื่องจากการใช้สารเคมีเป็นไปได้ยากเมื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสัตว์ปีก เพราะสารเคมีอาจตกค้างไปกับผลิตภัณฑ์สัตว์เนื่องจากอาหารสัตว์ทุกประเภทสามารถเป็นแหล่งอาหารให้กับตัวงูซีไก่ได้ จึงต้องมีการควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ให้มีคุณภาพที่ดี ปรกาศจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ สัตว์และแมลง หรือการตกค้างของยาหรือสารเคมีที่อาจเป็นพิษหรือก่ออันตรายต่อสัตว์ ในโรงงานอุตสาหกรรมมีการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) ร่วมกับกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) ทำความสะอาดระบบการผลิต และเนื่องจากเป็นกรดธรรมชาติจึงมีการนำมาใช้ผสมกับอาหารสัตว์ เพื่อลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และรักษาคุณภาพของอาหารสัตว์ และพบว่าสารผสมระหว่างดังกล่าวมีผลในการป้องกันกำจัดไรในอาหารสัตว์ ทำให้ปริมาณจำนวนของไรในอาหารไก่ลดลงและมีผลทำให้การเข้าทำลายซ้ำของไรซ้ำลงได้ (ฉัตรภรณ์ และคณะ, 2557; สุพิชฌาย์ และเยวาลักษณ์, 2560) จึงมีความเป็นไปได้ในการนำสารผสมดังกล่าวใช้ควบคุมตัวงูซีไก่ได้ อย่างไรก็ตามรายงานการศึกษาในส่วนนี้ยังมีอยู่น้อยมาก จึงทำการการศึกษาการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดโพรพิโอนิก

เพื่อควบคุมด้วงซีไ้ (*A. diaperinus*) ขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันกำจัดด้วงซีไ้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเลี้ยงและเพิ่มปริมาณด้วงซีไ้ *A. diaperinus*

นำตัวเต็มวัยด้วงซีไ้ (คละเพศ) ประมาณ 200 ตัว จากฟาร์มเลี้ยงไ้ที่จังหวัดลำพูน เลี้ยงในอาหารไ้ประมาณ 200 กรัม ที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน เพื่อกำจัดแมลงที่อาจติดมากับอาหารไ้ และเพาะเลี้ยงในกล่องพลาสติกทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ที่ปิดฝาเจาะรูขนาดใหญ่ตรงกลางปิดด้วยผ้าไนลอน เพื่อป้องกันแมลงหลบหนีหลังจากแมลงผสมพันธุ์และวางไข่ในภาชนะประมาณ 5 วัน จากนั้นร่อนแยกตัวเต็มวัยออกไปใส่ไว้ในกล่องพลาสติกใหม่ที่บรรจุอาหารไ้เพื่อวางไข่ต่อไป ในระหว่างการเลี้ยงมีการให้มันฝรั่งที่หั่นเป็นชิ้นบาง ๆ เพื่อเป็นแหล่งน้ำให้กับด้วงซีไ้ และนำไปเก็บไว้ในกล่องพลาสติกที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยมีสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็นตัวควบคุมความชื้น เมื่อแมลงพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยจึงใช้ในการศึกษา

การศึกษาวงจรชีวิตของด้วงซีไ้ *A. diaperinus*

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ขึ้นต้นคือศึกษาวงจรชีวิตของด้วงซีไ้ นำระยะตัวเต็มวัยด้วงซีไ้ (คละเพศ) จำนวน 200 ตัว เลี้ยงลงในกล่องพลาสติกทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 14 เซนติเมตร พร้อมอาหารไ้ประมาณ 200 กรัม เป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้ตัวเต็มวัยวางไข่ จากนั้นทำการแยกไข่ที่ละฟอง โดยส่องภายใต้กล้องสเตอริโอไมโครสโคป (stereo microscope) จำนวน 100 ฟอง ใส่กล่องพลาสติกใสทรงกระบอกเล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร นำไปเก็บไว้ในกล่องพลาสติกที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยมีสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็นตัวควบคุมความชื้น ตรวจสอบทุกวัน เมื่อไข่ฟักออกมาเป็นตัวหนอนวัยที่ 1 จึงทำการแยกเลี้ยงเดี่ยวในกล่องพลาสติกใสทรงกระบอก ปิดด้วยฝาพลาสติกเจาะเป็นช่องระบาย

อากาศที่ปิดด้วยผ้าใยแก้ว ใส่อาหารไ้ลงไปจนเพียงพอต่อการกินของแมลง ให้มันฝรั่งสดหั่นเป็นชิ้น ขนาด 0.5×0.5 มิลลิเมตร เพื่อเป็นแหล่งความชื้นทุก 7 วัน ทำการบันทึกระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของด้วงซีไ้

การศึกษาอัตราส่วนผสมของฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดโพทิโอนิกที่เหมาะสมในการป้องกันกำจัดด้วงซีไ้ *A. diaperinus*

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดโพทิโอนิกที่สามารถกำจัดด้วงซีไ้ในอัตราที่แนะนำให้ใช้ในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ (recommended concentration: RC) และระยะเวลาที่มีผลในการกำจัดด้วงซีไ้ เมื่อด้วงซีไ้ไ้สัมผัสกับอาหารที่ผสมฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดโพทิโอนิก โดยนำสารผสมฟอร์มาลดีไฮด์กับกรดโพทิโอนิกสัดส่วน 0.051:0.012, 0.068:0.016 และ 0.085:0.020% a.i. w/w หรืออัตราผลิตภัณฑ์เทียบเท่ากับ 3, 4 และ 5 กิโลกรัมต่อตันอาหารไ้ ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นตามอัตราแนะนำที่ใช้ในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ ผสมกับอาหารไ้ 200 กรัม จากนั้นสุ่มตัวอย่างอาหารที่ผสมกับสารผสมกรดดังกล่าวมา 10 กรัม โดยการจำลองสถานการณ์การปนเปื้อนในอาหารสัตว์ด้วยการนำมาทดสอบกับด้วงซีไ้ในระยะไข่ ระยะหนอนวัยอ่อน ระยะหนอนวัยแก่ ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย ในแต่ละระยะจำนวน 10 ตัว ต่ออาหารสัตว์ที่คลุกด้วยสารผสม 10 กรัม ส่วนในชุดควบคุมเป็นอาหารสัตว์ที่ไม่ได้ผสมกรดใด ๆ ลงในกล่องพลาสติก จากนั้นตรวจนับการตายของแมลงทุก 7 วัน รวมระยะเวลา 1 เดือน ทุกกรรมวิธี (ความเข้มข้นและระยะของด้วงซีไ้) ทำ 4 ซ้ำ ในทุกกรรมวิธีจะเตรียมไว้สำหรับการตรวจนับการตายของแมลงเพียงครั้งเดียวในแต่ละช่วงเวลาโดยไม่นำกลับมานับซ้ำ จากนั้นคำนวณปรับปรับค่าเปอร์เซ็นต์การตายที่แท้จริง (corrected mortality) หากพบแมลงในชุดควบคุมมีการตาย ให้คำนวณเปอร์เซ็นต์การตายที่แท้จริงโดยใช้ Abbott's formula (Abbott, 1925) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้วเปรียบเทียบความ

แตกต่างค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การตายของแมลงโดยวิธี least significant difference (LSD)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การศึกษาวงจรชีวิตของด้วงซีไ้ *A. diaperinus*

ผลการศึกษาวงจรชีวิตของด้วงซีไ้ที่เจริญในอาหารไ้ ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 25.79 ± 3.43 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 78.87 ± 2.88 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเจริญเติบโตของด้วงซีไ้มี 4 ระยะ ได้แก่ ระยะไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย (ภาพที่ 1) โดยระยะไข่ ตัวหนอน และดักแด้ ใช้ระยะเวลา 5.19 ± 0.39 , 57.10 ± 2.19 และ 6.16 ± 0.81 วัน ตามลำดับ สำหรับระยะตัวเต็มวัยมีอายุตั้งแต่การออกจากดักแด้จนถึงปัจจุบัน (ถ.ค. 60 - ส.ค. 61) รวมระยะเวลา 9 เดือน และแมลงยังคงมีชีวิตอยู่ 1) ระยะไข่ มีลักษณะสีขาวนวล รูปร่างยาวรี ขนาดกว้างเฉลี่ย 0.50 ± 0.00 มิลลิเมตร และยาว 1.26 ± 0.07 มิลลิเมตร (ตารางที่ 1) 2) ระยะหนอน รูปร่างคล้ายหนอนนกแต่มีขนาดเล็กกว่า หนอนมี 8-11 วัย หนอนที่มี 8 วัย มีอายุรวม 42 วัน หนอนที่มี 9-11 วัย มีอายุเฉลี่ยรวม 39.43 ± 2.42 , 49.21 ± 2.43 และ 55.00 ± 2.00 วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Dunford and Kaufman (2012) ที่รายงานว่า ระยะการเจริญเติบโตของหนอนด้วงซีไ้ไ้้น้อยที่สุด พบว่ามี 6 วัย และมากที่สุดมี 11 วัย และในระยะตัวหนอนยังมีพฤติกรรมการกินพวกเดียวกันเอง (cannibalism) (Axtell, 1994) Szczepanik *et al.* (2016) รายงานว่า ตัวหนอนที่มีขนาดลำตัวใหญ่และแข็งแรง กินไข่และตัวหนอนที่ตัวเล็กและอ่อนแอกว่า ถ้าหนอนอยู่รวมกันส่งผลให้ไม่สามารถเข้าดักแด้ได้ 3) ดักแด้ ด้วงซีไ้สามารถเข้าดักแด้และเป็นตัวเต็มวัยเมื่ออยู่เพียงลำพัง จำนวนประชากรไม่หนาแน่นหรือแออัด อาหาร และน้ำเพียงพอ และก่อนเข้าดักแด้หนอนมีลักษณะโค้งงอ

หนอนหยุดกินอาหาร ไม่เคลื่อนไหว และขดตัวเป็นวงกลม ดักแด้มีขนาดลำตัวกว้างเฉลี่ย 2.27 ± 0.18 มิลลิเมตร และยาวเฉลี่ย 5.69 ± 0.43 มิลลิเมตร (ตารางที่ 1) และระยะดักแด้ของด้วงซีไ้ไ้เป็นระยะที่สามารถแยกเพศได้ง่ายกว่าในระยะตัวหนอน และตัวเต็มวัย (Esquivel *et al.*, 2012) 4) ตัวเต็มวัยมีลำตัวสีดำและมันวาว รูปร่างกว้างเป็นรูปไข่และโค้งนูนปานกลาง ขอบของส่วนหัวจะแบ่งตาออกเป็น 2 ส่วน คือ 2 ส่วน 3 ของตา (Hayashi *et al.*, 2004) ทั้งเพศผู้และเพศเมียไม่สามารถแยกด้วยตาเปล่า การแยกเพศต้องใช้ลักษณะของหนาม (spurs) บริเวณปลายหน้าแข้ง (tibia) ของขาคู่กลาง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Esquivel *et al.*, 2012) ตัวเต็มวัยเพศเมียมีขนาดลำตัวกว้าง 2.68 ± 0.15 มิลลิเมตร ยาว 5.99 ± 0.38 มิลลิเมตร และเพศผู้มีขนาดลำตัวกว้าง 2.49 ± 0.13 มิลลิเมตร ยาว 5.41 ± 0.29 มิลลิเมตร (ตารางที่ 1) ตัวเต็มวัยของด้วงซีไ้ไ้มีอายุมากกว่า 9 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Dunford and Kaufman (2012) ที่รายงานว่า ตัวเต็มวัยของด้วงซีไ้ไ้มีชีวิตนานถึง 1 ปี และมากที่สุดถึง 2 ปี

การศึกษ้อัตราส่วนผสมของฟอรัมาลดีไฮด์ร่วมกับกรดไพรฟิโอนิกที่เหมาะสมในการป้องกันกำจัดด้วงซีไ้ *A. diaperinus*

ผลของการศึกษาการใช้สารผสมฟอรัมาลดีไฮด์ร่วมกับกรดไพรฟิโอนิกที่ผสมลงในอาหารไ้ หลังจากปล่อยแมลงระยะไข่ และระยะตัวหนอนวัยอ่อน (ตัวหนอนวัยที่ 1) ให้สัมผัสกับอาหารสัตว์ผสมกับสารผสมฟอรัมาลดีไฮด์ร่วมกับกรดไพรฟิโอนิก ทำการตรวจนับการตายของแมลงทุก 7 วัน เป็นเวลา 1 เดือน โดยการตรวจนับการตายของไข่จากช่วงระยะการฟักออกเป็นตัวหนอน ซึ่งช่วงระยะเวลาการฟักออกเป็นตัวหนอนนี้สังเกตได้จากวงจรชีวิตของด้วงซีไ้ไ้ คือ 5-6 วัน หากไข่ฟักออกเป็น

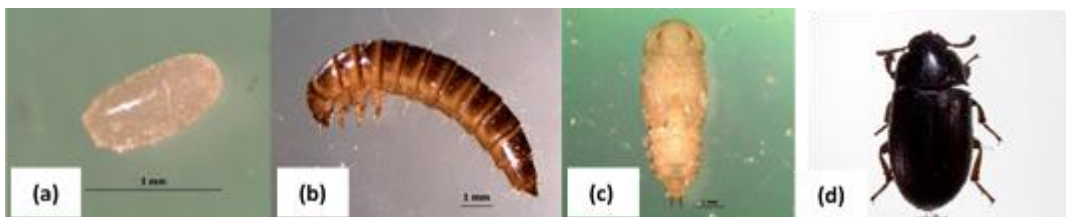


Figure 1. Lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus*; egg (a), larva (b), pupa (c) and adult (d)

Table 1. Duration and size of various developmental stages of lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* reared on chicken feed in laboratory condition at $25.72 \pm 3.43^{\circ}\text{C}$ and $78.87 \pm 2.88\%\text{RH}$

Developmental stage	Age	Range (Days)	Body	
	Mean $\pm$ SD (Days)		Width (mm) Mean $\pm$ SD	Length (mm) Mean $\pm$ SD
Egg	5.19 $\pm$ 0.39	(5-6)	0.50 $\pm$ 0.00	1.26 $\pm$ 0.07
Larva	57.10 $\pm$ 2.19	(30-94)	-	-
Instar 1	1.30 $\pm$ 0.46	(1-2)	0.40 $\pm$ 0.00	1.77 $\pm$ 0.09
Instar 2	5.63 $\pm$ 1.63	(3-10)	0.69 $\pm$ 0.48	2.14 $\pm$ 0.18
Instar 3	6.28 $\pm$ 1.30	(3-10)	0.46 $\pm$ 0.05	2.32 $\pm$ 0.19
Instar 4	4.41 $\pm$ 0.96	(2-7)	0.51 $\pm$ 0.03	3.15 $\pm$ 0.22
Instar 5	3.99 $\pm$ 0.82	(3-6)	0.69 $\pm$ 0.05	4.15 $\pm$ 0.43
Instar 6	0.94 $\pm$ 0.79	(3-7)	0.75 $\pm$ 0.07	4.25 $\pm$ 0.39
Instar 7	3.82 $\pm$ 1.16	(2-8)	0.96 $\pm$ 0.06	5.20 $\pm$ 0.25
Instar 8	4.67 $\pm$ 1.04	(3-8)	1.02 $\pm$ 0.06	5.58 $\pm$ 0.33
Instar 9	5.87 $\pm$ 1.78	(3-11)	1.39 $\pm$ 0.09	6.97 $\pm$ 0.48
Instar 10	7.76 $\pm$ 2.33	(2-13)	1.67 $\pm$ 0.09	9.04 $\pm$ 0.71
Instar 11	9.37 $\pm$ 1.70	(5-12)	1.67 $\pm$ 0.09	9.04 $\pm$ 0.71
Pupa	6.16 $\pm$ 0.81	(5-8)	2.27 $\pm$ 0.18	5.69 $\pm$ 0.43
Total life cycle (Eggs - Adults)	68.45 $\pm$ 2.15	(40-108)	-	-
Adult (longevity)	6.16 $\pm$ 0.81	(5-8)	-	-
Male	at least 9 months	at least 9 months	2.49 $\pm$ 0.13	5.41 $\pm$ 0.29
Female	at least 9 months	at least 9 months	2.68 $\pm$ 0.15	5.99 $\pm$ 0.38

ตัวหนอนแต่ไม่สามารถมีชีวิตต่อไปได้ ให้นำรวมเป็นการตายของระยะไข่ด้วงซีไ้ด้วยเช่นกัน การตายในระยะไข่ที่เกิดขึ้นนี้ไข่ได้ฟักออกเป็นตัวหนอนเรียบร้อยแล้ว และหนอนที่ฟักออกมาจะมีการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราความเข้มข้นของสารผสม 0.051:0.012, 0.068:0.016 และ 0.085:0.020%a.i. หรืออัตราผลิตภัณฑ์เท่ากับ 3, 4 และ 5 กิโลกรัมต่อตันอาหารไก่ เริ่มมีการตายของไข่ด้วงซีไ้ในวันที่ 7 โดยมีอัตราการตายร้อยละ 1.78 ± 2.06 , 3.57 ± 7.14 และ 4.46 ± 6.76 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ในวันที่ 14 อัตราการตายในระยะไข่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 43.75 ± 10.26 , 86.61 ± 13.48 และ 54.46 ± 26.79 ตามลำดับ และในวันที่ 28 อัตราการตายในระยะไข่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 100 ± 0.00 , 97.32 ± 5.36

และ 97.32 ± 5.36 ตามลำดับ โดยในวันที่ 32 อัตราการตายในระยะไข่สูงสุดร้อยละ 100 ในทุกอัตราผสมของสารผสมในอาหารสัตว์ (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตามการตายของไข่ในวันที่ 7 มีความแปรปรวนของชุดข้อมูลค่อนข้างสูงเนื่องจากจำนวนการตายของไข่ในแต่ละซ้ำมีจำนวนน้อยหรือไม่พบการตายในหนึ่งชุดการทดลอง และมีเพียง 1 ซ้ำที่มีการตายของไข่สูง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าเฉลี่ยในภาพรวมมีอัตราการตายที่ต่ำและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) สูงกว่าค่าเฉลี่ยของการตายของไข่ใน 7 วันแรก

ในระยะตัวหนอนวัยอ่อน (ตัวหนอนวัยที่ 1) ในอาหารไก่ที่ผสมฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดโพธิ์โอนิก ที่อัตราความเข้มข้น 0.051:0.012, 0.068:0.016 และ 0.085:0.020%a.i. พบว่าสารผสมดังกล่าวมีผลทำให้

Table 2. Mortality percentage of egg stage of lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* controlled by different dosages of formaldehyde incorporated with propionic acid in chicken feed

Dosage (kg/ton)	Mean percent lesser mealworm mortality (mean±SD) after days ¹			
	7	14	28	32
3				
(0.051:0.012%a.i.)	1.78 ± 2.06c	43.75 ± 10.26b	100 ± 0.00a	100 ± 0.00a
4				
(0.068:0.016%a.i.)	3.57 ± 7.14c	86.61 ± 13.48a	97.32 ± 5.36a	100 ± 0.00a
5				
(0.085:0.020%a.i.)	4.46 ± 6.76c	54.46 ± 26.79b	97.32 ± 5.36a	100 ± 0.00a

¹ Means within the same row and column followed by the same letter are not significantly different at $P>0.05$ (LSD=14.52)

ตัวหนอนวัยอ่อนตายในอัตราร้อยละ 22.32 ± 5.36, 19.64 ± 13.83 และ 25.00 ± 15.15 ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ภายใน 7 วันหลังจากที่ได้สัมผัสกับสารผสม และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 14, 28 และ 32 วัน พบว่าอาหารไก่ที่ผสมสารผสมฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดไพรฟิโอนิก ทุกระดับความเข้มข้นดังกล่าวมีผลทำให้หนอนวัยอ่อนของด้วงซีไ้ตายอย่างสมบูรณ์ (100 เปอร์เซ็นต์) (ตารางที่ 3)

หากเปรียบเทียบระหว่างระยะไข่ และหนอนวัยที่ 1 พบว่า หนอนด้วงซีไ้วัยที่ 1 มีโอกาสตายอย่างสมบูรณ์ เมื่อสัมผัสอาหารไก่กับสารผสมฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดไพรฟิโอนิกในเวลาที่สูงกว่า กล่าวคือหนอนวัยที่ 1 มีโอกาสตายอย่างสมบูรณ์ภายใน 14 วัน ในขณะที่ระยะไข่มีโอกาสตายอย่างสมบูรณ์ในเวลา 28 วัน แสดงถึงในระยะไข่ของด้วงซีไ้ไ้มีความทนทานต่อสารผสมฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดไพรฟิโอนิกมากกว่าในหนอนวัยอ่อน ซึ่งสามารถพบในรายงานการทดสอบสารต่าง ๆ กับแมลงโรงเก็บทั่วไปที่พบว่าแมลงในระยะไข่ไ้มีความทนทานต่อสารต่าง ๆ ได้ดีกว่าระยะตัวหนอนมาก เช่น การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการควบคุมมอดหนวดยาวในข้าวบรรจุถุง (พุดพิพัฒน์ และคณะ, 2560) และด้วงเมล็ดกาแฟในกระเทียม (รัตนพร และปิยะวรรณ, 2558) เป็นต้น โดยจากการศึกษาไข่ของมอดแป้ง (*Tribolium castaneum*) ของ Scheff (2016) พบว่ามอดแป้งเพศเมียมีพฤติกรรมในการสร้างสารเหนียวเคลือบผิวไข่หลังการวางไข่ เพื่อให้ไข่ติดกับผิวเมล็ดธัญพืช และขณะเดียวกัน

ทำให้แบ่งหรืออาหารติดผิวและเคลือบไข่ได้ มีผลให้สารต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมเข้าทำลายไม่อดแบ่งได้ยากขึ้น เช่นเดียวกันกับไข่ของด้วงซีไ้ไ้ที่จัดอยู่ วงศ์ Tenebrionidae เดียวกับมอดแป้ง และมีลักษณะการสร้างสารเหนียวหุ้มไข่เช่นกัน สารผสมฟอร์มาลดีไฮด์กับกรดไพรฟิโอนิกจึงแทรกซึมเข้าทำลายไข่ได้ยากกว่าตัวหนอนวัยอ่อน ดังนั้นระยะไข่จึงมีโอกาสรอดได้สูงกว่าระยะหนอนวัยอ่อนของแมลง

ส่วนในระยะอื่น ๆ ของด้วงซีไ้ไ้ไ้ได้แก่ ระยะตัวหนอนวัยแก่ ดักแด้ และตัวเต็มวัย ซึ่งไ้ได้ทำการทดสอบกับสารผสมฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดไพรฟิโอนิก โดยวิธีการให้แมลงสัมผัสกับสารผสมโดยตรง และวิธีผสมร่วมกับอาหารไก่ที่อัตราความเข้มข้น 3, 4 และ 5 กิโลกรัมต่อตันอาหารสัตว์ ซึ่งมีสารออกฤทธิ์เท่ากับ 0.051:0.012, 0.068:0.016 และ 0.085:0.020%a.i ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าไม่พบการตายของด้วงซีไ้ไ้ไ้ระยะตัวหนอนวัยแก่ ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย ในช่วงเวลา 7, 14, 28 และ 32 วัน อาจเป็นไปได้ว่าแมลงระยะหนอนวัยแก่ ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย ต้องการความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์และกรดไพรฟิโอนิกที่สูงมากกว่านี้ ซึ่งต้องศึกษาในรายละเอียดต่อไป การใช้ไพรฟิโอนิกอย่างเดียวมีผลในการกำจัดด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae*) และมอดพื้นเลื้อย (*Oryzaephilus surinamensis*) โดยอัตราที่มีผลในกำจัดแมลงเท่ากับ 0.3-0.6 กิโลกรัมต่อตัน หรือเท่ากับ 0.03-0.06%a.i. (Morás et al., 2006) ใน ขณะที่ การทดลองนี้ใช้ไพรฟิโอนิกมีความเข้มข้นเพียง 0.012%a.i.

Table 3. Mortality percentage of larval stage of lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* controlled by different dosages of formaldehyde incorporated with propionic acid in chicken feed

Dosage (kg/ton)	Mean percent lesser mealworm mortality (mean $\pm$ SD after days) ¹			
	7	14	28	32
3				
(0.051:0.012%a.i.)	22.32 $\pm$ 5.36b	100 $\pm$ 0.00a	100 $\pm$ 0.00a	100 $\pm$ 0.00a
4				
(0.068:0.016%a.i.)	19.64 $\pm$ 13.83b	100 $\pm$ 0.00a	100 $\pm$ 0.00a	100 $\pm$ 0.00a
5				
(0.085:0.020%a.i.)	25.00 $\pm$ 15.15b	100 $\pm$ 0.00a	100 $\pm$ 0.00a	100 $\pm$ 0.00a

¹ Means within the same row and column followed by the same letter are not significantly different at $P>0.205$ (LSD=8.88)

เท่านั้น ซึ่งสามารถเพิ่มความเข้มข้นได้อีก เนื่องจากมาตรฐานการใช้โพธิ์โอนิกในอาหารสัตว์ยอมให้มีสารโพธิ์โอนิกได้ถึง 1%a.i. หรือ 10 กรัมต่อกิโลกรัมอาหารสัตว์ (EFSA, 2011) ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีกรายงานการใช้สารฟอร์มาลดีไฮด์และกรดโพธิ์โอนิก หรือกรดอินทรีย์ในการควบคุมด้วงซีไกมาก่อน จากฉัตรภรณ์ และคณะ (2557) มีการรายงานว่า สารผสมฟอร์มาลดีไฮด์และกรดโพธิ์โอนิก อัตรา 0.068:0.016 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเพิ่มปริมาณ และป้องกันการเข้าทำลายซ้ำของไร *Suidasia pontifica* ในอาหารไก่ ซึ่งเป็นไรศัตรูในโรงเก็บ และพบในอาหารสัตว์ ที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพอาหารสัตว์ เช่นเดียวกับการรายงานของ สุพิชฌาย์ และเยาวลักษณ์ (2560) รายงานว่า การนำฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดโพธิ์โอนิก อัตรา 3 กิโลกรัมต่อตันอาหารสัตว์ ซึ่งเป็นอัตราที่แนะนำให้ใช้ผสมอาหารสัตว์มาใช้ผสมกับอาหารสุกรระหว่างระบบการผลิต พบว่าสารผสมดังกล่าวเมื่อผสมเข้าไปในขบวนการการผลิตอาหารสุกรส่งผลให้พบจำนวนไรในอาหารสัตว์ลดลง ซึ่งในต่างประเทศได้มีการนำสารฟอร์มาลดีไฮด์มาใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรีย โดยเฉพาะเชื้อ *Salmonella* ในอาหารสัตว์ อัตราเหมาะสมที่ 660 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (European Commission, 2002)

ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์ฟอร์มาลดีไฮด์ผสมกับกรดโพธิ์โอนิกอัตรา 0.051:0.012%a.i. w/w สามารถนำมาผสมกับวัสดุรองรังกำจัดหรือลดปริมาณไข่และหนอนวัยที่ 1 ของด้วงซีไกได้ โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลา

ของสารที่สัมผัสกับแมลงด้วยเช่นกัน เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการด้วงซีไก และถือเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดการใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดด้วงซีไก

สรุป

การศึกษาวงจรชีวิตของด้วงซีไก *Alphitobius diaperinus* ที่เลี้ยงด้วยอาหารไก่ ในสภาพห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิเฉลี่ย 25.79 ± 3.43 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 78.87 ± 2.88 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไข่มีอายุประมาณ 5-6 วัน หนอนมี 11 วัย โดยวัยที่ 8 ถึง 11 สามารถเข้าสู่ดักแด้ได้ ระยะหนอนมีอายุประมาณ 30-94 วัน ดักแด้ของด้วงซีไก มีอายุประมาณ 5-8 วัน รวมระยะเวลาจากไข่ถึงระยะตัวเต็มวัยใช้เวลาประมาณ 40-108 วัน และระยะตัวเต็มวัยมีโอกาสนอยู่รอดมากกว่า 300 วัน อาหารไก่ผสมกับฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดโพธิ์โอนิกในอัตราความเข้มข้น 0.051:0.012%a.i. ในอาหารสัตว์ มีผลต่อด้วงซีไกในระยะไข่ และระยะหนอนวัยอ่อน โดยมีผลทำให้ไข่และหนอนวัยอ่อนของด้วงซีไกตายอย่างสมบูรณ์ในวันที่ 28 และ 14 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการวิจัยได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจาก P.V.T. Manufacturing Co., Ltd. จ. นนทบุรี

และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และขอขอบคุณ คุณชนะพล เจียสวัสดิ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เก็บตัวอย่างแมลงใช้ในการทดสอบในครั้งนี้ ซึ่งทำให้การทดลองนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ฉัตรภรณ์ กุณาวงค์ เยาวลักษณ์ จันทร์บาง ไสว บุรณพานิชพันธุ์ และ อัมร อินทร์สังข์. 2557. การควบคุมไร *Suidasia pontifica* Oudemans ในอาหารไก่ โดยใช้ฟอมาดีไฮด์ร่วมกับกรดโพธิโอนิก. วารสารเกษตร 30(3): 243-252.
- พุดพัฒนา คุณะปัญญาดิลก ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์ และ เยาวลักษณ์ จันทร์บาง. 2560. ประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการกำจัดมอดหนวดยาว (*Cryptolestes pusillus*) ในข้าวและสัณฐานวิทยาของไข่มอดหนวดยาว. วารสารเกษตร 33(3): 377-385.
- รัตนพร ไชยศรี และ ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์. 2558. ชีววิทยาของด้วงเมล็ดกาแฟ *Araecerus fasciculatus* (De Geer) (Coleoptera: Anthribidae) ในกระเทียมและการควบคุมโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. วารสารเกษตร 31(1): 11-19.
- สุพิชฌาย์ แสนสุวรรณ และ เยาวลักษณ์ จันทร์บาง. 2560. การควบคุมไร *Suidasia pontifica* ด้วยความร้อนและฟอมาดีไฮด์ ร่วมกับกรดโพธิโอนิกในอาหารสุกร. วารสารเกษตร 33(1): 39-47.
- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology 18(2): 265-267.
- Axtell, R.C. 1994. Biology and economic importance of the darkling beetle in poultry houses. pp. 8-17. In: Proceedings of the Poultry Supervisors' Short Course. North Carolina State University, Raleigh, NC.
- Dunford, J. C. and P. E. Kaufman. 2012. Lesser mealworm, litter beetle, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae). (Online). Available: http://entnemdept.ufl.edu/creatures/livestock/poultry/lesser_mealworm.htm (January 25, 2018).
- EFSA. 2011. Scientific opinion on the safety and efficacy of propionic acid, sodium propionate, calcium propionate and ammonium propionate for all animal species. The EFSA Journal 9(12), doi:10.2903/j.efsa.2011.2446.
- European Commission. 2002. Update of the opinion of the scientific committee for animal nutrition on the use of formaldehyde as a preserving agent for animal feedingstuffs of 11 June 1999. (Online). Available: https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/animal-feed_additives_rules_scan-old_report_out95.pdf (January 26, 2018).
- Esquivel, J.F., T.L. Crippen and L.A. Ward. 2012. Improved visualization of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) Part I: Morphological features for sex determination of multiple stadia. Psyche 2012, doi: 10.1155/2012/328478.
- Francisco, O. and A.P.D. Prado. 2001. Characterization of the larval stages of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) using head capsule width. Revista Brasileira de Biologia 6: 125-131.
- Hayashi, T., S. Nakamura, P. Visarathanonth, J. Uraichuen and R. Kengkanpanich (eds.). 2004. Stored Rice Insect Pests and Their Natural Enemies in Thailand. JIRCAS International Agricultural Series No.13. Bangkok, Thailand. 79 p.

- Morás, A., F.M. Pereira, M. de Oliveira, I. Lorini, M.A. Schirmer and M.C. Elias. 2006. Diatomaceous earth and propionic acid to control *Sitophilus oryzae* and *Oryzaephilus surinamensis* rice stored grain pests. pp. 823-828. *In: Proceedings of 9th International Working Conference on Stored Product Protection*. Campinas, São Paulo, Brazil.
- Roche, A.J., N.A. Cox, L.J. Richardson, R.J. Buhr, J.A. Cason, B.D. Fairchild and N.C. Hinkle. 2009. Transmission of *Salmonella* to broilers by contaminated larval and adult lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Poultry Science* 88: 44-48.
- Scheff, D.S. 2016. Packaging technologies for the control of stored-product insects. Department of Grain Science and Industry, College of Agriculture, Kansas State University, Kansas. 156 p.
- Szczepanik, M., A. Gliszczynska, M. Hnatejko and B. Zawitowska. 2016. Effects of halolactones with strong feeding deterrent activity on the growth and development of larvae of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Applied Entomology and Zoology* 51(3): 393-401.
-

ชีววิทยาของไร *Tyrophagus pacificus* Fan & Zhang (Acari: Acaridae)
ที่เข้าทำลายเห็ดถั่งเจ้าสีทอง

Biology of *Tyrophagus pacificus* Fan & Zhang (Acari: Acaridae)
Infesting Gold Cordyceps

ยุพาพร อุณหนันท์¹ จิราพร กุลสาริน^{1*} ไสว บุรณพานิชพันธุ์¹ และ พลอยชมพู กรวิภาสเรือง²
Yupapron Ounhanan¹, Jiraporn Kulsarin^{1*}, Sawai Buranapanichpan¹ and Ploychompoo Konvipasruang²

¹ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²กลุ่มกีฏและสัตววิทยา สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

²Entomology and Zoology Group, Plant Protection Research and Development Office,

Department of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: Email: j.tayuti@gmail.com

(Received: 19 October 2018; Accepted: 14 November 2019)

Abstract: Gold cordyceps, *Cordyceps militaris* (L.) Link, is a medical important mushroom due to its medicinal properties resulted in having a high price. Thus, a number of cultivators try to culture this mushroom in laboratory but some are occasionally infested by mite, *Tyrophagus pacificus* Fan & Zhang. There was no study report dealing with *T. pacificus* in Thailand. The biology of *T. pacificus* was investigated and revealed that the dominant morphological characteristics of the adult female was spermathecal sac which was narrow from copulatory opening and flat at base. For adult male, the aedeagus was very long, with two obvious curves and distal half reversely curved, tapering from base to tip. Biological study of *T. pacificus* was conducted using 15 day-old *C. militaris* on PDA as food under the laboratory conditions at 19.89 ± 0.44 °C and with relative humidity of $82.52 \pm 5.01\%$. The result showed that the development of *T. pacificus* consisted of 5 stages; egg, larva, protonymph, deutonymph and adult, with the average durations of 7.13 ± 2.07 , 0.96 ± 0.00 , 1.97 ± 0.02 , 3.87 ± 0.37 and 14.34 ± 1.48 days, respectively. Due to the life cycle of *T. pacificus* was short so the mite could increase its population so rapidly. Thus, *T. pacificus* trended to be the promising pest of *C. militaris*. The data on life history can be used as a database for predicting the damage and controlling *T. pacificus* on *C. militaris* culture.

Keywords: Mite, *Tyrophagus pacificus*, biology, gold cordyceps, *Cordyceps militaris*

บทคัดย่อ: เห็ดถั่งเช่าสีทอง *Cordyceps militaris* (L.) Link เป็นเห็ดที่มีความสำคัญทางการแพทย์ เนื่องจากมีสรรพคุณทางยา ทำให้เห็ดมีราคาแพง จึงมีผู้สนใจนำมาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการเป็นจำนวนมาก แต่เกิดปัญหาไร *Tyrophagus pacificus* Fan & Zhang เข้าทำลาย ซึ่งเป็นไรที่ไม่เคยมีรายงานการศึกษาในประเทศไทย จึงได้ทำการศึกษาชีววิทยาของไรชนิดนี้ พบว่า ตัวเต็มวัยเพศเมียมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่สำคัญ คือ อกเก็บสเปิร์มที่แคบยาว และขยายออกบริเวณฐาน ส่วนของฐานมีลักษณะแบน สำหรับไรตัวเต็มวัยเพศผู้มียาวะสืบพันธุ์เพศผู้ยาวโค้งย้อนกลับลงมาบริเวณฐาน และจากการศึกษาวงจรชีวิตของไร *T. pacificus* บนเชื้อรา *C. militaris* ที่เพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA อายุ 15 วัน ในห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 19.89 ± 0.44 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 82.52 ± 5.01 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไร *T. pacificus* มีการเจริญเติบโต 5 ระยะ คือ ระยะไข่เฉลี่ย 7.13 ± 2.07 วัน ตัวอ่อนเฉลี่ย 0.96 ± 0.00 วัน ระยะที่ 1 เฉลี่ย 1.97 ± 0.02 วัน ระยะที่ 2 เฉลี่ย 3.87 ± 0.37 และ ระยะจากไข่ถึงตัวเต็มวัยเฉลี่ย 14.34 ± 1.48 วัน แสดงให้เห็นว่าไร *T. pacificus* มีวงจรชีวิตสั้น ทำให้สามารถเพิ่มขยายปริมาณได้อย่างรวดเร็ว จึงจัดเป็นไรศัตรูสำคัญที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายในเห็ดถั่งเช่าสีทองได้ ดังนั้นการศึกษาวงจรชีวิตดังกล่าว จึงสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการคาดการณ์ความเสียหาย และเป็นแนวทางในการป้องกันกำจัดไรศัตรูเห็ดถั่งเช่าสีทอง

คำสำคัญ: ไร *Tyrophagus pacificus* ชีววิทยา เห็ดถั่งเช่าสีทอง *Cordyceps militaris*

คำนำ

เห็ดถั่งเช่าสีทอง *Cordyceps militaris* (L.) Link เป็นเห็ดที่มีความสำคัญทางการแพทย์ชนิดหนึ่ง (Patel and Ingalthalli, 2013) โดยสาร cordycepin ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเห็ด ช่วยต้านอนุมูลอิสระ เพิ่มภูมิคุ้มกัน ลดระดับน้ำตาลในเลือด รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนของโลหิต พบได้บนพื้นที่สูง ซึ่งมีอุณหภูมิระหว่าง 10-28 องศาเซลเซียส หรือเพาะเลี้ยงได้ในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ส่งผลให้เห็ดถั่งเช่ามีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงบนวัสดุเพาะ ซึ่งให้ผลผลิตเห็ดถั่งเช่าในปริมาณมาก (ปรียา, 2558) และมีการผลิตต่อเนื่องมานานหลายปี อาจทำให้มีแมลง และไร ที่กินเส้นใยของเชื้อราเป็นอาหารเข้ามาทำลาย แต่ยังไม่เคยมีการรายงานพบไรในเห็ดถั่งเช่ามาก่อน ต่างกับเห็ดเศรษฐกิจชนิดอื่นที่มีการรายงานพบแมลง และไรเข้าทำลาย ดังรายงานของ Singh and Sharma (2016) ที่รายงานว่า พบแมลงวัน แมลงหวี่ และไร เข้าทำลายเห็ดในประเทศอินเดีย ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิต ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ด โดยเส้นใยเห็ด ไม่สามารถรวมตัวเพื่อเกิดก้อนเห็ดได้ สอดคล้องกับการรายงานของ

กอบเกียรติ และคณะ (2554) ที่รายงานว่า ไรขาวใหญ่ และไรไข่ปลาในประเทศไทยสามารถทำลายเส้นใยเห็ดได้ ทั้งหัวเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อ ขวดหัวเชื้อ และถุงก้อนเชื้อเห็ด ทำให้ปลายเส้นใยไม่พู่เหมือนเส้นใยปกติ และบางลงจนไม่สามารถสร้างดอกได้ จึงมีความเป็นไปได้ที่ไรจะเข้าทำลายเห็ดถั่งเช่าได้เช่นกัน เนื่องจากไรมีขนาดเล็กสามารถแพร่กระจายได้หลายทาง ทั้งการเดิน อาศัยลมพัดพาไป และโดยการพาไปของมนุษย์และสัตว์ รวมไปถึงไรในกลุ่มไรศัตรูในโรงเก็บ ซึ่งแต่เดิมเป็นไรที่กินเส้นใยเชื้อราเมล็ดธัญพืช และอินทรีย์วัตถุเป็นอาหาร มีโอกาสติดมากับวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่า เช่น ข้าว ซึ่งในการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าสีทองในห้องปฏิบัติการ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบการปนเปื้อนจากไร ก่อให้เกิดความเสียหายแก่เห็ดตั้งแต่ระยะที่เพาะเลี้ยงในอาหารรุ้น จนถึงระยะที่เพาะเลี้ยงในวัสดุเพาะ จากการจัดจำแนกชนิดโดย ดร.พลอยชมพู กรวิภาสเรือง พบมีชื่อว่า *Tyrophagus pacificus* Fan & Zhang ซึ่งเป็นการพบไรชนิดนี้เป็นครั้งแรกในประเทศไทย (Konvipasruang and Chandrapatya, 2018) แต่ยังไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับชีววิทยาของไร *T. pacificus* ที่เข้าทำลายในเห็ดถั่งเช่าสีทอง จึงได้ทำการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันกำจัดไรต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวินิจฉัยชนิดไร

ทำการรวบรวมตัวอย่างไรที่พบในเห็ดถั่งเจ้าสีทองที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการของภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตามวิธีการของ พลอยชมพู และคณะ (2559) โดยนำตัวอย่างไรมาทำสไลด์ถาวร ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิด stereo microscope โดยหยดน้ำยา Hoyer's solution ลงบนสไลด์ 1 หยด ใช้ฟู่กันเขี่ยตัวไรลงบนหยดน้ำยา จัดตัวอย่างไรให้อยู่ในสภาพที่เห็นส่วนต่าง ๆ ได้ชัดเจน โดยจัดทำทางของไรให้อยู่ในท่าคว่ำ ทั้งเพศผู้ และเพศเมีย และทำตะแคงข้างในเพศผู้ เพื่อตรวจดูลักษณะต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำแนกชนิดไร จากนั้นปิดสไลด์ด้วยกระจกปิดสไลด์ (cover glass) นำสไลด์เข้าตูอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นผนึกขอบกระจกปิดสไลด์ด้วยน้ำยาทาเล็บ และปิดป้ายบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่เก็บ วันที่ ชื่อผู้เก็บ และพืชอาศัย จากนั้นนำตัวอย่างไรที่ทำสไลด์ถาวร มาศึกษาลักษณะทางอนุกรมวิธานภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิด compound microscope ทำการจำแนกไร เพื่อยืนยันว่าไรที่พบในเห็ดถั่งเจ้าสีทอง เป็นไร *T. pacificus* โดยใช้คู่มือการจำแนกสกุลไรของ Fan and Zhang (2007) และเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

การเตรียมเชื้อรา *C. militaris* เพื่อเลี้ยงไร และการเพิ่มปริมาณไร

ทำการเตรียมเชื้อรา *C. militaris* บนอาหาร potato dextrose agar (PDA) ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นอาหารของไร โดยตัดชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยของเชื้อราด้วย cork borer ขนาด 0.5 เซนติเมตร จากนั้นใช้เข็มเขี่ยเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำชิ้นวุ้นที่ตัดไว้ วางบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อจานใหม่ 1 ชิ้น ต่อ 1 จาน จำนวน 20 จาน บ่มไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 18-22 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 วัน (กนกวรรณ และคณะ, 2558) จากนั้นเขี่ยไร *T. pacificus* ที่พบในเห็ดถั่งเจ้าสีทอง โดยเลือกเขี่ยไรที่มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับประชากรในกลุ่ม ซึ่งคาดว่าเป็นตัวเต็มวัย ด้วยไม้

ไผ่เหลาปลายแหลมติดด้วยขนตามนุษย์จำนวน 50 ตัว ลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเชื้อรา *C. militaris* เจริญเต็มจานอาหาร ทำเช่นเดียวกับจานอาหารที่เพาะเลี้ยงเชื้อรา *C. militaris* ไว้จนครบ 20 จาน (ประนอม และจรรยา, 2540) เพื่อเพิ่มขยายปริมาณไรสำหรับศึกษาชีววิทยา

การศึกษาวงจรชีวิตของไร

ทำการเตรียมกระปุกพลาสติกใสเล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร สำหรับเลี้ยงไร จำนวน 100 กระปุก โดยเตรียมเชื้อรา *C. militaris* เพื่อใช้เป็นอาหารของไร เช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้านี้ จากนั้นทำการตัดชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยของเชื้อราด้วย cork borer ขนาด 0.5 เซนติเมตร วางชิ้นวุ้นที่มีเชื้อราเจริญอยู่ 1 ชิ้น ต่อ 1 กระปุก และเขี่ยไร *T. pacificus* ตัวเต็มวัยเพศผู้ และเพศเมีย ด้วยไม้ไผ่เหลาปลายแหลมติดด้วยขนตามนุษย์ (ประนอม, 2541) วางลงในกระปุกเลี้ยงไรจำนวน 1 คู่ ต่อ 1 กระปุก จำนวน 100 กระปุก ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ไรวางไข่ ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 18-22 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการย้ายไรตัวเต็มวัยออกจากกระปุกเลี้ยงไรจนหมด ทำการตรวจนับจำนวนไข่ ซึ่งตรวจนับการฟักทุก 24 ชั่วโมง และบันทึกการเปลี่ยนแปลงในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต และระยะเวลาในการเจริญเติบโตในแต่ละระยะ จนกระทั่งไรเป็นตัวเต็มวัย (ประนอม, 2541)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การวินิจฉัยชนิดไร

จากการเก็บตัวอย่างไรที่พบในเห็ดถั่งเจ้าสีทองที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้ลักษณะทางอนุกรมวิธานที่สำคัญ เช่น การมีหรือไม่มีเส้นแบ่งขวางลำตัวระหว่าง propodosoma และ hysterosoma ลักษณะลายที่พบบนผิวลำตัว ลักษณะเล็บ ความยาวของขนบนตัวด้านสันหลัง ตำแหน่งของขน ve (external pair of vertical setae) ความยาวของขน sci (internal pair of scapular setae) และ sce (external pair of scapular setae) ลักษณะของขน scx (supracoxal setae) ที่ตั้งอยู่เหนือปล้อง coxa

ของขาคู่ที่ 1 ลักษณะของหนามที่ปลายขา เป็นต้น ซึ่งไรที่พบในเห็ดถั่งเช่ามีลักษณะผิวลำตัวเรียบ มีเล็บเพียง 1 อัน (ภาพที่ 1a) มีเส้นแบ่งขวางลำตัวระหว่าง propodosoma กับ hysterosoma (ภาพที่ 1b) นอกจากนี้เส้นขน solenidion ซึ่งอยู่บริเวณปล้องขา genu I มีความยาวใกล้เคียงหรือเท่ากับเส้นขน solenidion σ' (ภาพที่ 2b) และเส้นขน sce ยาวกว่า sci (ภาพที่ 2a) รวมไปถึงขน e ที่บริเวณปลายของปล้อง tarsus มีขนาดสั้น และลักษณะคล้ายเข็ม ขน ω และ γ ที่ tarsus ของขาคู่ที่ 4 มีลักษณะเป็นเส้นขน จากลักษณะดังกล่าว ทำให้ทราบว่าไรที่พบในเห็ด ถั่งเช่า อยู่ ใน วงศ์ Acaridae และ อยู่ใน สกุล *Tyrophagus*

เมื่อทำการจำแนกชนิดโดยใช้ลักษณะเด่นของตัวเต็มวัยเพศเมียและเพศผู้ พบว่า ลักษณะของถุงเก็บอสุจิ (spermatheca) ในเพศเมียมีลักษณะแคบยาว และ

ขยายออกบริเวณฐาน ส่วนของฐานมีลักษณะแบน (ภาพที่ 3a) ส่วนเพศผู้มีลักษณะเด่นคือ อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ (aedeagus) (ภาพที่ 3b) ยาวโค้งย้อนกลับลงมาบริเวณฐาน จึงพบว่าไม่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *T. pacificus* มีการตั้งชื่อครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 2007 โดย Fan and Zhang ซึ่งเป็นตัวอย่างไรที่ได้จากหมูเกาะคุก ประเทศฟิลิปปินส์ นีเว ซา มัว และ ตองงา โดยพบไรบนพืชหลายชนิด ได้แก่ กัลลวย เมล็ด *Cerbera mallam* มะพร้าว และฝรั่ง และมีการรายงานว่ามีพฤติกรรมกินเส้นใยของเชื้อราเป็นอาหาร (fungivorous) พบได้ในโรงเก็บผลผลิตทางการเกษตร จึงถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มไรศัตรูในโรงเก็บ สำหรับประเทศไทย พลอยชมพู และคณะ (2553) รายงานว่า พบไรศัตรูในโรงเก็บในวงศ์ Acaridae 15 ชนิด เป็นไรสกุล *Tyrophagus* 4 ชนิดดังนี้ *Tyrophagus communis* Fan & Zhang, *Tyrophagus javensis* (Oudemans) แล ะ

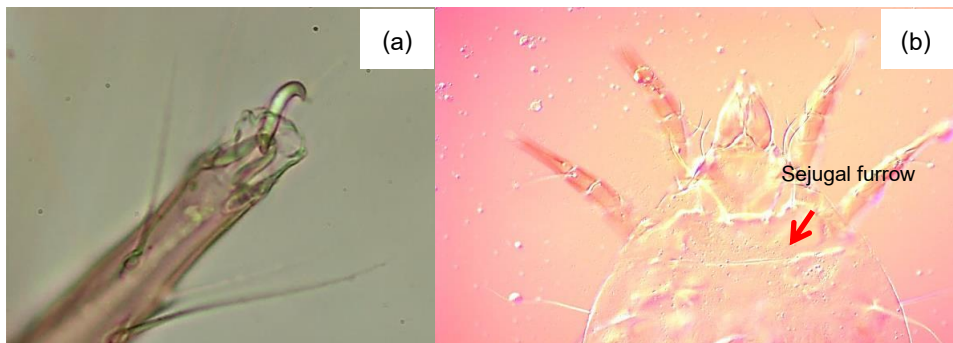


Figure 1. *Tyrophagus pacificus* Fan & Zhang: Distal view of tarsus; distal tarsi (a) and dorsal view of idiosoma and sejugal furrow (b)

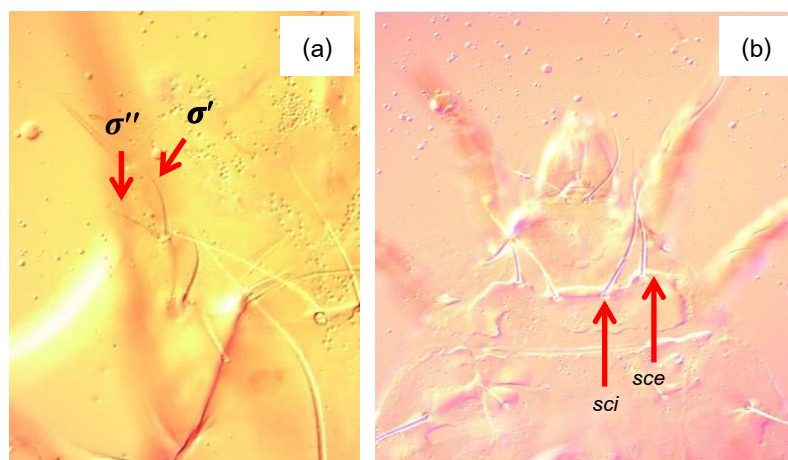


Figure 2. *Tyrophagus pacificus* Fan & Zhang: dorsal view of genu; solenidion σ' < 3 times as long as σ'' (a) and dorsal view of idiosoma; sci approximately as long as sce (b)

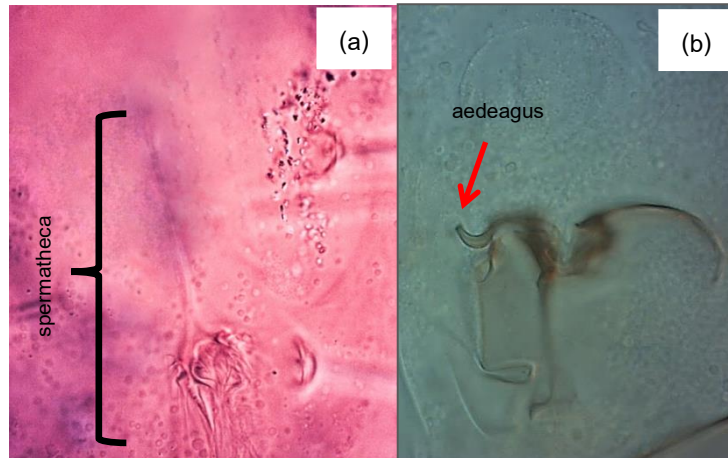


Figure 3. *Tyrophagus pacificus* Fan & Zhang: female; ventral view of spermatheca (a) and male; lateral view of aedeagus (b)

Tyrophagus robertsonae Lynch แต่ไม่มีรายงานการพบไร *Tyrophagus pacificus* รวมถึงไม่มีรายงานการศึกษาวงจรชีวิตของไร *T. pacificus* ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ทำให้การป้องกันกำจัดไร *T. pacificus* ในเห็ดถั่งเจ้าเป็นไปได้ยาก ดังนั้นการศึกษาวงจรชีวิตของไร *T. pacificus* จึงเป็นข้อมูลพื้นฐานที่นำไปใช้ในการหาแนวทางป้องกันกำจัดไรในเห็ดถั่งเจ้า

การเตรียมเชื้อรา *C. militaris* เพื่อเลี้ยงไร และการเพิ่มปริมาณไร

จากการเพาะเลี้ยงเชื้อรา *C. militaris* บนอาหาร PDA โดยบ่มไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 18-22 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อราสำหรับใช้เป็นอาหารของไร เมื่อผ่านไปประมาณ 15 วัน พบว่า เชื้อรา *C. militaris* มีการสร้างเส้นใยสีขาว และมีการกระจายตัวของเส้นใยออกเป็นวงกว้างบนพื้นผิวของอาหาร PDA ซึ่งหลังจากปล่อยไร *T. pacificus* ตัวเต็มวัยที่พบในเห็ดถั่งเจ้าสีทอง ลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ไรสามารถวางไข่ได้เป็นจำนวนมาก และเจริญเติบโตจนเป็นตัวเต็มวัยได้ ดังนั้นวิธีการนี้จึงเป็นวิธีการที่ค่อนข้างได้ผลดีสำหรับการศึกษาวงจรชีวิตของไร *T. pacificus*

การศึกษาวงจรชีวิตของไร *T. pacificus*

จากการศึกษาวงจรชีวิตของไร *T. pacificus* ในห้องปฏิบัติการ โดยเลี้ยงไรในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 19.89 ±

0.44 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 82.52 ± 5.01 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไร *T. pacificus* สามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยมีระยะการเจริญเติบโต 5 ระยะ ดังนี้

ระยะไข่ หลังจากย้ายไข่ลงในกระปุกสำหรับเลี้ยงไร พบว่า ไข่มีลักษณะรูปร่างรี ขนาดกว้าง 0.04 ± 0.01 มิลลิเมตร ยาว 0.09 ± 0.03 มิลลิเมตร ซึ่งไข่ที่วางใหม่มีสีขาวใส และเปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่นขึ้นเรื่อยๆ (ภาพที่ 4a) จนกระทั่งฟักออกเป็นตัวอ่อน ใช้เวลาเฉลี่ย 7.13 ± 2.07 วัน (ตารางที่ 1) จำนวนไข่ที่ฟักทั้งหมด 168 ฟอง (84 เปอร์เซ็นต์)

ระยะตัวอ่อนของไรเรียกว่า larva (Fan and Zhang, 2007) มี 6 ขา (ภาพที่ 4b) ลำตัวกลมรี สีค่อนข้างใส ขนาดลำตัวกว้าง 0.04 ± 0.01 มิลลิเมตร ยาว 0.08 ± 0.02 มิลลิเมตร ตัวอ่อนที่ฟักออกจากไข่ระยะแรกมีการเคลื่อนไหวช้า และเริ่มมีการทำลายเส้นใยของเชื้อรา โดยใช้ chelicerae ที่แบ่งออกเป็น 3 ปล้อง ส่วนของปล้องที่ 3 ขยับได้ โดยอยู่ตรงข้ามกับปล้องที่ 2 ซึ่งไม่สามารถขยับได้ ขณะกินอาหาร ส่วนของปล้องที่ 3 จะขยับเข้าหาปล้องที่ 2 เหมือนคีม (จรรยา, 2531) ทำให้เส้นใยของเชื้อราเกิดความเสียหาย ใช้เวลาเฉลี่ย 0.96 ± 0.00 วัน (ตารางที่ 1) จึงมีการฟักตัวครั้งที่ 1 เพื่อสร้างผนังลำตัว และเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

ระยะวัยรุ่นที่ 1 หลังจากการฟักตัวครั้งที่ 1 ไรมีขาเพิ่มขึ้น 2 ขา รวมเป็น 8 ขา (ภาพที่ 4c) ลำตัวมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยมีความกว้าง 0.06 ± 0.00 มิลลิเมตร ยาว

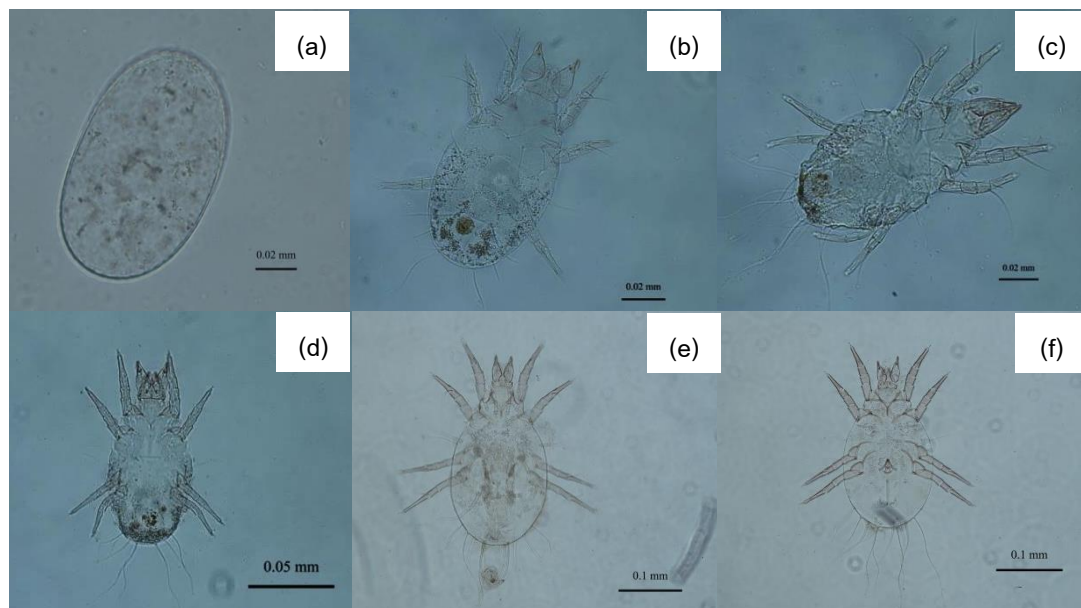


Figure 4. *Tyrophagus pacificus* Fan & Zhang: egg (a), larva (b), protonymph (c), deutonymph (d), adult female (e) and adult male (f)

Table 1. Duration and size of different stages in the life history of *Tyrophagus pacificus* Fan & Zhang reared in laboratory conditions at 19.89 ± 0.44 °C and 82.52 ± 5.01 %RH

Developmental stage	Age Mean $\pm$ SD (Days)	Range (Days)	Body	
			Width (mm)	Length (mm)
			Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD
Egg	7.13 ± 2.07	(7-8)	0.04 ± 0.01	0.09 ± 0.03
Larva	0.96 ± 0.00	(1)	0.04 ± 0.01	0.08 ± 0.02
Protonymph	1.97 ± 0.02	(1-2)	0.06 ± 0.00	0.12 ± 0.02
Deutonymph	3.87 ± 0.37	(3-4)	0.07 ± 0.01	0.16 ± 0.03
Total life cycle (Eggs - Adults)	14.34 ± 1.48	(14-15)	-	-
Adult				
Male	15.64 ± 0.56	(15-16)	0.13 ± 0.03	0.25 ± 0.05
Female	15.49 ± 0.56	(15-16)	0.15 ± 0.03	0.30 ± 0.04

0.12 ± 0.02 มิลลิเมตร และมีสีใสในตอนแรก จากนั้นเมื่อมีการกินอาหาร ลำตัวมีสีขาวเพิ่มมากขึ้น ในระยะนี้เรียกว่าวัยรุ่นที่ 1 ว่า protonymph (Fan and Zhang, 2007) มีการเคลื่อนไหวรวดเร็วมากกว่าตัวอ่อน ใช้เวลาเฉลี่ย 1.97 ± 0.02 วัน (ตารางที่ 1) จึงมีการฟักตัวครั้งที่ 2

ระยะวัยรุ่นที่ 2 เรียกว่า deutonymph (Fan and Zhang, 2007) หลังจากการฟักตัวครั้งที่ 2 ไรจะเริ่มกินอาหารทันทีหลังจากลอกคราบ และมีการเคลื่อนไหวคล่องแคล่วว่องไว สีของลำตัวเปลี่ยนเป็นสีขาวใสหรือสีเหลือง ขึ้นอยู่กับอาหารที่กิน มีขนาดลำตัวกว้าง 0.07 ± 0.01 มิลลิเมตร ยาว 0.16 ± 0.03 มิลลิเมตร และมี

ลักษณะของลำตัวใกล้เคียงกับตัวเต็มวัย แต่ไม่พบการพัฒนาของอวัยวะสืบพันธุ์ (ภาพที่ 4d) ใช้เวลาเฉลี่ย 3.87 ± 0.37 วัน จึงมีการฟักตัวครั้งที่ 3

ตัวเต็มวัยของไรมีลักษณะเช่นเดียวกับไรในระยะ deutonymph มีสีของลำตัวเป็นสีขาวใสหรือสีเหลือง ขึ้นอยู่กับอาหารที่กิน แต่แตกต่างกันที่ขนาดของลำตัวและพัฒนาการของอวัยวะสืบพันธุ์ โดยในไรเพศเมียมีขนาดลำตัวกว้าง 0.15 ± 0.03 มิลลิเมตร ยาว 0.30 ± 0.04 มิลลิเมตร และพบ spermatheca ที่แคบยาว และขยายออกบริเวณฐาน ส่วนของฐานมีลักษณะแบน (ภาพที่ 4e) ส่วนไรเพศผู้มีขนาดลำตัวกว้าง 0.13 ± 0.03 มิลลิเมตร ยาว 0.25 ± 0.05 มิลลิเมตร และพบ aedeagus ยาวโค้งย้อนกลับลงมาบริเวณฐาน (ภาพที่ 4f) ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะเด่นของไร *T. pacificus* (ตารางที่ 1)

ดังนั้น ไร *T. pacificus* ใช้เวลาเฉลี่ยจากไข่จนถึงตัวเต็มวัย 14.34 ± 1.48 วัน ซึ่งไรชนิดนี้ไม่มีรายงานการศึกษาวงจรชีวิตทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ แต่เมื่อเทียบกับไรในสกุลเดียวกัน คือ สกุล *Tyrophagus* พบว่า ไรบางชนิดที่มีลักษณะเข้าทำลายเส้นใยเชื้อราเช่นเดียวกัน มีระยะเวลาจากไข่จนถึงตัวเต็มวัยแตกต่างกัน เช่น ไร *T. communis* ใช้เวลาจากไข่จนถึงตัวเต็มวัย 8.5 วัน บนอาหาร brewer's yeast ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม คือ 85-95 เปอร์เซ็นต์ (Zhang, 2003) และไร *T. lintneri* ซึ่งเป็นไรศัตรูเห็ด ใช้เวลาเฉลี่ยจากไข่จนถึงตัวเต็มวัย 54.0, 19.3 และ 12.3 วัน ที่อุณหภูมิ 12.78, 18.33 และ 24.72 องศาเซลเซียส (Davis, 1944) จากการรายงานของ Qu et al. (2015) รายงานว่า การศึกษาวงจรชีวิตของไรบนเห็ดที่ต่างชนิดกัน ทำให้ไรใช้ระยะเจริญเติบโตจากไข่จนถึงตัวเต็มวัย และเพิ่มปริมาณได้แตกต่างกัน

สรุป

จากการจัดจำแนกชนิดไรที่พบในเห็ดถั่งเจ้าสีทอง พบไร *T. pacificus* ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่มีการรายงานพบในหีบปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเจ้าสีทองในประเทศไทย โดยมีลักษณะเด่นของไรตัวเต็มวัยเพศเมีย คือ ถุงเก็บสเปิร์ม (spermatheca) ที่แคบยาว และขยาย

ออกบริเวณฐาน ส่วนของฐานมีลักษณะแบน สำหรับไรตัวเต็มวัยเพศผู้มีลักษณะเด่นคือ อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ (aedeagus) ยาวโค้งย้อนกลับลงมาบริเวณฐาน ซึ่งไร *T. pacificus* ไม่มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับวงจรชีวิต จึงทำการศึกษาวงจรชีวิตของไร *T. pacificus* บนเชื้อรา *C. militaris* ที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร PDA อายุ 15 วัน ในหีบปฏิบัติการ อุณหภูมิเฉลี่ย 19.89 ± 0.44 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 82.52 ± 5.01 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไร *T. pacificus* มีระยะการเจริญเติบโต 5 ระยะ คือ ระยะไข่ ตัวอ่อน วัยรุ่นที่ 1 และวัยรุ่นที่ 2 ใช้เวลาในการเจริญเติบโต เฉลี่ย 7.13 ± 2.07 , 0.96 ± 0.00 , 1.97 ± 0.02 และ 3.87 ± 0.37 วัน ตามลำดับ และระยะจากไข่ถึงตัวเต็มวัยใช้เวลาเฉลี่ย 14.34 ± 1.48 วัน โดยมีอัตราการฟักไข่ประมาณ 84 เปอร์เซ็นต์ และมีความกว้างของลำตัวในระยะไข่ ตัวอ่อน วัยรุ่นที่ 1 วัยรุ่นที่ 2 ตัวเต็มวัยเพศผู้ และตัวเต็มวัยเพศเมีย ดังนี้ 0.04 ± 0.01 , 0.04 ± 0.01 , 0.06 ± 0.00 , 0.07 ± 0.01 , 0.13 ± 0.03 และ 0.15 ± 0.03 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีความยาวของลำตัว 0.09 ± 0.03 , 0.08 ± 0.02 , 0.12 ± 0.02 , 0.16 ± 0.03 , 0.30 ± 0.04 และ 0.25 ± 0.05 มิลลิเมตร ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ ลือดารา จิราพร กุลสาริน ไสว บุรณพานิช พันธุ์ และ ัญญา ทะพิงค์แก. 2559. การเจริญของเห็ดถั่งเจ้าสีทอง (*Cordyceps militaris*) บนดักแด้ไหมไทยพื้นบ้านพันธุ์นางลายและไหมป่าอี. วารสารเกษตร 32(1): 95-102.
- กอบเกียรติ บันสิทธิ์ พรทิพย์ วิสารทนานนท์ จัตรไชย ศฤงฆบูลย์ และ สัจจะ ประสงค์ทรัพย์. 2554. แมลง-ไรศัตรูเห็ดในประเทศไทย. เอกสารวิชาการ. กองกัญและสัตววิทยา กรมวิชาการ เกษตร, กรุงเทพฯ. 85 หน้า.

- จริยา วิสิทธิ์พานิช. 2531. ไรวิทยา. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 175 หน้า.
- ประนอม ใจอ้าย จริยา วิสิทธิ์พานิช. 2540. วงจรชีวิตไรสีขา *Aceria dimocarpis* (Kuang) (Acarina: Eriophyidae) ศัตรูสำคัญของลำไย. วารสารเกษตร 13(1): 88-99.
- ประนอม ใจอ้าย. 2541. ชีวนิเวศวิทยาของไรอิริโอไฟอิดศัตรูลำไย และความเสียหายจากการเข้าทำลายของไร ในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 77 หน้า.
- ปรียา มะโนรัตน์. 2558. วัสดุเพาะผสมดักด้ไ้หมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าหิมะ *Isaria tenuipes*. ปริญญานิพนธ์พิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 33 หน้า.
- พลอยชมพู กรวิภาสเรือง มานิตา คงชื่นสิน และ เทวินทร์ กุลปิยะวัฒน์. 2553. อนุกรมวิธานไรศัตรูในโรงเก็บของประเทศไทย. หน้า 2047-2084. ใน: รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2553. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- พลอยชมพู กรวิภาสเรือง มานิตา คงชื่นสิน พิเชฐ เชาว์วัฒนวงศ์ วิมลวรรณ โชติวงศ์ และ อัจฉราภรณ์ ประเสริฐผล. 2559. การศึกษาชนิดของไรสีขาศัตรูพืชของประเทศไทย. วารสารวิชาการเกษตร 34(3): 218-229.
- Davis, A.C. 1944. The mushroom mite (*Tyrophagus lintneri* (Osborn)) as a pest of cultivated mushrooms. Technical Bulletin 879: 26.
- Fan, Q.H. and Z.Q. Zhang. 2007. *Tyrophagus* (Acari: Astigmata: Acaridae). Fauna of New Zealand 56. Manaaki Whenua Press, Lincoln, Canterbury. 291 p.
- Konvipasruang, P. and A. Chandrapatya. 2018. One new genus, two new species, three new records and an updated record of mites in Thailand. P.150. In: Proceedings of the 15th International Congress of Acarology. 2-8 September 2018. Antalya, Turkey.
- Patel, K.J. and R.S. Ingalhalli. 2013. *Cordyceps militaris* (L.: Fr.) Link - An important medicinal mushroom. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 2(1): 315-319.
- Singh, A.U. and K. Sharma. 2016. Pests of mushroom. Advances in Crop Science and Technology 4, doi: 10.4172/2329-8863.1000213.
- Zhang, Z.Q. 2003. Mites of Greenhouses: Identification, Biology and Control. CABI Publishing, Wallingford. 244 p.

ศักยภาพทางชีวภาพและตารางชีวิตของด้วงเต่าสีส้ม
เมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียว

Biotic Potential and Life Table of Lady Beetle *Micraspis discolors*
when Fed on Brown Planthopper and Green Leafhopper

ฉัตรชัย พรโสภณ¹ วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ^{1*} ปานิสรา เทพकुศล¹ ไสว บุรณพานิชพันธุ์²
และ จีราพร กุลสาริน²

Chartchai Pronsopon¹, Weerathep Pongprasert^{1*}, Panisara Thepkusol¹, Sawai Buranapanichpan²
and Jiraporn Kulsarin²

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000

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

²ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: weerathepp@nu.ac.th

(Received: 30 November 2018; Accepted: 25 December 2018)

Abstract: The mass rearing process of *Micraspis discolor* (Fabricius) (Coleoptera: Coccinellidae) for controlling insect pests in biological control program always faces the problem on the lack of aphid for rearing. Therefore, the possibility of *Nilaparvata lugens* and *Nephotettix virescens* to be used as alternative food sources was carried out using biotic potential and life tables of *M. discolor* fed on those 2 alternative preys compared to *Aphis craccivora* (Koch). The results showed that the total developmental period from egg to adult of *M. discolor* fed on *N. lugens* and *N. virescens* was 21.46 ± 1.63 and 18.68 ± 3.21 days closed to that of *A. craccivora* (19.7 ± 1.54 days). The biological life table of *M. discolor* fed on *N. lugens* and *N. virescens* revealed that the net reproductive rate of increase (R_0) was 11.0000 and 15.2300, the capacity for increase (r_c) was 0.0660 and 0.0738, the cohort generation time (T_c) was 36.3455 and 36.9163 and the finite rate of increase (λ) was 1.0682 and 1.0765, higher than those of *A. craccivora* ($R_0 = 8.7000$, $r_c = 0.0648$, $T_c = 33.4023$ days and $\lambda = 1.0669$, respectively). The biotic potential based on partial ecological life table showed that the mortality of *M. discolor* was found in the all instar larva and the insect numbers were decreased continuously in each instars when fed on 2 alternative preys and the survivorship curves were type II as the same as that of *A. craccivora*.

Keywords: *Micraspis discolor*, alternative host, *Aphis craccivora*, *Nephotettix virescens*, *Nilaparvata lugens*, life table

บทคัดย่อ: กระบวนการเลี้ยงเพิ่มจำนวนด้วงเต่าสีส้ม (*Micraspis discolor* (Fabricius)) (Coleoptera: Coccinellidae) เพื่อใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยชีววิธี มักประสบปัญหาขาดแคลนเพลี้ยอ่อนที่เป็นอาหาร ดังนั้นจึงได้ดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว เป็นแหล่งอาหารทดแทนขึ้น โดยอาศัยข้อมูลศักยภาพทางชีวภาพและตารางชีวิตของด้วงเต่าสีส้มที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยทั้งสองชนิดเปรียบเทียบกับเพลี้ยอ่อนถั่วเป็นเกณฑ์ ผลการศึกษาพบว่าระยะการเจริญเติบโตของด้วงเต่าสีส้มตั้งแต่ระยะไข่จนถึงตัวเต็มวัย เมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว มีค่าเฉลี่ย 21.46 ± 1.63 และ 18.68 ± 3.21 วัน ใกล้เคียงกับเพลี้ยอ่อนถั่ว 19.7 ± 1.54 วัน จากตารางชีวิตแบบชีววิทยาของด้วงเต่าสีส้ม เมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวด้วงเต่าสีส้ม มีอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) เท่ากับ 11.0000 และ 15.2300 เท่า ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มทางกรรมพันธุ์ (r_c) เท่ากับ 0.0660 และ 0.0738 เท่า ชั่วโมงยัยของกลุ่ม (T_0) เท่ากับ 36.3455 และ 36.9163 วัน และมีอัตราการเพิ่มที่แท้จริง (λ) เท่ากับ 1.0682 และ 1.0765 เท่า สูงกว่าการเลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนซึ่งมีค่า R_0 เท่ากับ 8.7000 เท่า r_c เท่ากับ 0.0648 เท่า (T_0) เท่ากับ 33.4023 วัน และ λ เท่ากับ 1.0669 เท่า ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ศักยภาพทางชีวภาพด้วยตารางชีวิตแบบ partial ecological life table พบว่าเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และ เพลี้ยจักจั่นสีเขียว มีอัตราการตายเกิดขึ้นตลอดเวลาในทุกช่วงอายุ หรือมีอัตราการตายค่อนข้างคงที่ เส้นกราฟแสดงการรอดชีวิตเป็นแบบ Type II เหมือนกัน เช่นเดียวกับการใช้เพลี้ยอ่อนถั่วในการเลี้ยง ($P \geq 0.05$)

คำสำคัญ: ด้วงเต่าสีส้ม เหยื่อทดแทน เพลี้ยอ่อนถั่ว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว ตารางชีวิต

คำนำ

ด้วงเต่าสีส้ม *Micraspis discolor* (F.) (Coleoptera: Coccinellidae) จัดเป็นด้วงเต่าตัวห้ำที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมศัตรูพืชในธรรมชาติ โดยทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยสามารถเข้าทำลายแมลงศัตรูพืชได้หลายชนิด เช่น เพลี้ยอ่อน เพลี้ยแป้ง เพลี้ยหอย ไรศัตรูพืช หนอนเจาะผักข้าวโพด หนอนผีเสื้อขนาดเล็ก เพลี้ยแป้ง แมลงหวี่ขาว และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล รวมถึงแมลงที่มีลำตัวอ่อนนุ่ม (Begum *et al.*, 2002; Shepard and Rapusas, 1989) ด้วงเต่าสีส้มสามารถพบได้ทั่วไปเป็นจำนวนมากในแปลงปลูกข้าว ถั่วเหลือง พริก ผัก ยาสูบ ผัก ข้าวโพด รวมถึงพืชตระกูลกะหล่ำ (Duffield, 1995; Gautam *et al.*, 1995) มีความว่องไวในการค้นหาเหยื่อ เป็นตัวห้ำที่มีประสิทธิภาพและทนทานต่อสภาพแวดล้อม พบแพร่กระจายเป็นจำนวนมากโดยทั่วไปในเขตภาคเหนือตอนล่าง (วงเดือน และคณะ, 2561; วีรยุทธ และคณะ, 2558) ทำให้ด้วงเต่าชนิดนี้มีศักยภาพสูงมากในการใช้ควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธี (Chowdhury *et al.*, 2008) และมีบทบาทสำคัญต่อการบริหารจัดการศัตรูพืชในพืชเศรษฐกิจต่าง ๆ

การเลี้ยงเพิ่มจำนวนด้วงเต่าสีส้มเพื่อใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืชนั้นมักนิยมใช้เพลี้ยอ่อนถั่วเป็นเหยื่ออาหารเป็นหลัก แต่บ่อยครั้งกระบวนการเลี้ยงมักประสบปัญหาขาดแคลนเพลี้ยอ่อนทำให้ไม่สามารถเลี้ยงเพิ่มจำนวนด้วงเต่าสีส้มได้ต่อเนื่องเพียงพอต่อความต้องการการค้นหาเหยื่อทดแทนเพื่อใช้เลี้ยงด้วงเต่าสีส้มในช่วงที่เพลี้ยอ่อนขาดแคลนจึงมีความจำเป็นอย่างมาก และการที่ด้วงเต่าสีส้มเป็นแมลงตัวห้ำสามารถกินแมลงที่เป็นเหยื่อได้หลากหลายชนิด จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้แมลงอื่น ๆ เป็นเหยื่อทดแทนในการเลี้ยงได้ แต่อย่างไรก็ตาม เหยื่อแต่ละชนิดมีความแตกต่างทางคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโต การพัฒนาของวัยต่าง ๆ และการสืบพันธุ์สร้างลูกหลาน ของด้วงเต่าสีส้ม (Babu, 1999; Thompson, 1999) จึงต้องมีการประเมินและเปรียบเทียบศักยภาพและความเหมาะสมของเหยื่อทดแทนต่าง ๆ ก่อนการใช้เลี้ยงเพิ่มจำนวนแมลง ซึ่งโดยทั่วไปมักนิยมใช้ ข้อมูลชีววิทยาและตารางชีวิต (life table) เป็นเครื่องมือหลัก ในการวิเคราะห์ศักยภาพทางชีวภาพ และสภาพแวดล้อมที่กระทบต่อการดำรงชีพของแมลง (หัตยา และคณะ, 2560) ทั้งนี้ตารางชีวิตมีรูปแบบในการบันทึกข้อมูล การวิเคราะห์ผล อย่างมีระบบ ด้วยค่า

ศักยภาพทางชีวภาพต่าง ๆ เช่น อัตราการรอดชีวิต อัตราการตาย ปัจจัยที่มีบทบาทต่อการตาย ช่วงอายุ ระยะเวลาในการเจริญเติบโต ในแต่ละวัย ความสามารถในการสร้างลูกหลาน ช่วงอายุ ฯลฯ เป็นต้น (Kakde et al., 2014; Kalushkov and Hodek, 2004) และมีการนำมาใช้ประโยชน์ในงานวิจัยต่าง ๆ ของแมลงอย่างแพร่หลาย เช่น การศึกษาศักยภาพของหนอนนกยักษ์ *Zophobas morio* (Fabricius) ในการเป็นอาหารของมวนพิฆาต *Eocanthecona furcellata* (Wolff) (กรสิริ และคณะ, 2554) การศึกษามวนตัวห้ำ ที่เลี้ยงด้วยเหยื่อ 4 ชนิด ได้แก่ เพลี้ยไฟผ้าย (Thrips palmi (Karay)) แมลงหีขาวยาสูบ (*Bemisia tabaci* (Gennadius)) เพลี้ยอ่อนฝ้าย (*Aphis gossypii* (Glover)) และไรแดงหมอน (*Tetranychus truncatus* (Ehara)) (อทิทยา และคณะ, 2554), การเลี้ยง *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) ด้วยเพลี้ยอ่อน *Myzus persicae* (Sulzer) และ *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Perdikis and Lykouressis, 2002) และการเลี้ยง *Propylaea japonica* (Thunberg) ด้วยเพลี้ยอ่อน *M. persicae* (Chi and Yang, 2003) เป็นต้น

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวเป็นแมลงศัตรูข้าวที่พบได้ในแปลงนาตลอดทั้งปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตพื้นที่นาชลประทานของภาคเหนือตอนล่างและภาคกลาง (วิรุฑูท และคณะ, 2558) เพราะเลี้ยงเพิ่มจำนวนได้ง่าย และด้วงเต่าสีส้มสามารถกินเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Shepard and Rapusas, 1989) และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว (Rattanapun, 2012) เป็นอาหารได้ การศึกษาศักยภาพของการใช้เพลี้ยทั้งสองชนิดในการเลี้ยงด้วงเต่าส่วนใหญ่เน้นในส่วนของวงจรชีวิตแต่ยังไม่พบรายงานการประเมินศักยภาพและความเหมาะสมของเพลี้ยทั้งสองชนิดในการเป็นแหล่งอาหารทดแทนของด้วงเต่าสีส้มด้วยตารางชีวิต จึงได้ทำการศึกษาความเหมาะสมของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวโดยอาศัยข้อมูลจากศักยภาพทางชีวภาพและตารางชีวิตของด้วงเต่าสีส้มเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนถั่ว สำหรับเป็นข้อมูลและแนวทางในการวางแผนการจัดการเพื่อเลี้ยงเพิ่มจำนวนด้วงเต่าสี

ส้มสำหรับการใช้ประโยชน์ในการควบคุมทางชีววิธีได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมด้วงเต่าสีส้ม

เก็บรวบรวมตัวเต็มวัยด้วงเต่าสีส้มจากธรรมชาติในตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก เพาะเลี้ยง ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 32 ± 3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ $65 \pm 5\%$ RH และแสงที่ 12L:12D โดยแยกเลี้ยงเป็นคู่ในถ้วยพลาสติกใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร มีลำลึชุบน้ำฝึ้ง 0.1% เป็นอาหาร และรองพื้นด้วยกระดาษซับดูดแปลงจากวิธีการของ Wu et al. (2010) ให้เพลี้ยอ่อนถั่ว 100 ตัว/กล่อง/วัน พร้อมกับใบพืชที่ห่อถักด้วยลำลึชุบน้ำเป็นอาหารและที่พักพิง เมื่อตัวเต็มวัยเพศเมียวางไข่เก็บรวบรวมไข่ที่ได้ทุกวัน และแยกเลี้ยงในกล่องเลี้ยงแมลง เพื่อเพิ่มจำนวนโดยใช้ไข่ของด้วงเต่าสีส้มรุ่นที่ 4 ที่มีอายุไม่เกิน 12 ชั่วโมง ในการศึกษา

การเลี้ยงเพิ่มปริมาณเพลี้ยอ่อนถั่ว

ปลูกถั่วเขียว ในกระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จำนวน 5 กระถางในกรงเลี้ยงแมลงขนาด $1 \times 1 \times 1.5$ เมตร จำนวน 20 กรง ในเรือนทดลอง ที่มีอุณหภูมิ 32 ± 3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ $65 \pm 5\%$ RH และความยาวช่วงแสง 12L:12D เมื่อถั่วเขียวอายุ 30 วัน ปล่อยให้เพลี้ยอ่อนจำนวน 100 ตัว ซึ่งเก็บรวบรวมจากแปลงถั่วทดลองของศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคเหนือตอนล่าง มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ผ่านการคัดแยกให้ปลอดโรคและแมลงเบียนแล้ว เพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณให้เพียงพอต่อการทดสอบ โดยใช้เพลี้ยอ่อนจากรุ่นที่ 3 เป็นต้นไป ในการเลี้ยงด้วยเต่าสีส้มและใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยมีการเลี้ยงเพิ่มเติมหมุนเวียนต่อเนื่องเพื่อให้มีจำนวนเพลี้ยเพียงพอต่อการศึกษา

การเตรียมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวเพื่อใช้เพาะเลี้ยงด้วงเต่าสีส้ม

ปลูกข้าวพันธุ์ไทซุงในหีฟ 1 ในกระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จำนวน 5 กระถาง วางภายในกรงเลี้ยงแมลงขนาด $1 \times 1 \times 1.5$ เมตร ในเรือนทดลองของศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคเหนือตอนล่าง มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ที่มีอุณหภูมิ 32 ± 3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ $65 \pm 5\%$ RH และความยาวช่วงแสง 12L:12D เมื่อข้าวอายุ 30 วัน ปลอ่ยตัวเต็มวัยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเพศเมียที่ตั้งท้องจำนวน 30 ตัว ซึ่งเก็บรวบรวมจากแปลงนาพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก ผ่านการคัดแยกให้ปลอดโรคและแมลงเบียนแล้ว เพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณให้เพียงพอต่อการทดสอบ โดยใช้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลวัยที่ 2-3 จากรุ่นที่ 3 เป็นต้นไปในการศึกษาดำเนินการเช่นเดียวกันในการเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณเพลี้ยจักจั่นสีเขียว

การศึกษาตารางชีวิตของด้วงเต่าสีส้มเมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว และเพลี้ยอ่อนถั่ว

นำไข่ด้วงเต่าสีส้มที่ได้จากการเลี้ยงข้างต้นจำนวน 40 ฟอง เลี้ยงในกล่องพลาสติกใส ขนาด $19 \times 28 \times 10$ เซนติเมตร ที่มีอุณหภูมิ 32 ± 3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ $65 \pm 5\%$ RH และความยาวช่วงแสง 12L:12D ตรวจการฟักของไข่ทุกวัน เมื่อไข่ฟักเป็นตัวอ่อนบันทึกอายุของไข่และทำการย้ายตัวอ่อนแต่ละตัวแยกเลี้ยงในกล่องเลี้ยงแมลงใสขนาด $19 \times 28 \times 10$ เซนติเมตร เพื่อหลีกเลี่ยงการกินกันเอง ทำการเพาะเลี้ยงด้วงเต่าสีส้มด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลโดยดำเนินการ 2 ชุด คือชุดที่หนึ่งเพื่อศึกษาตารางชีวิตทางชีววิทยา (biological life table) ทำการตรวจนับจำนวนด้วงเต่าสีส้มและเปลี่ยนอาหารทุกวัน ติดตามสังเกตการณ์และบันทึกผลการเจริญเติบโตของด้วงเต่าสีส้มทุกวัน จนเป็นตัวเต็มวัย ตรวจนับจำนวนตัวเต็มวัยที่ได้ ทำการแยกเลี้ยงตัวเต็มวัยเป็นคู่ในกล่องเลี้ยงแมลงใสขนาด $19 \times 28 \times 10$ เซนติเมตร ให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวเป็นอาหารทุกวัน จากนั้นตรวจนับจำนวนไข่ที่วางทุก

วันจนหยุดวางไข่และตัวเต็มวัยตายหมด นำข้อมูลที่ได้มาสร้างตารางชีวิตและคำนวณค่าทางสถิติต่าง ๆ คือการขยายพันธุ์สุทธิ (net reproductive rate, R_0) ชั่วอายุขัยของกลุ่ม (cohort generation time, T_0) ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มทางพันธุกรรมของประชากร (capacity for increase of population, r_0) อัตราการเพิ่มที่แท้จริงของประชากร (finite rate of increase of population, λ) ส่วนชุดที่สองเพื่อศึกษาตารางชีวิตแบบกึ่งนิเวศ (partial ecological life table) ดำเนินการในลักษณะเดียวกับการศึกษาตารางชีวิตแบบแรก และติดตามการเปลี่ยนแปลงจำนวนของแมลงในทุกระยะบันทึกจำนวนแมลงที่รอดชีวิตในแต่ละวัย นำข้อมูลที่ได้มาสร้างตารางชีวิต และคำนวณค่าทางสถิติต่าง ๆ ตามที่อธิบายไว้โดยอินทวัฒน์ บุรีคำ (2548), Bellows *et al.* (1992), Birch (1948), Maia *et al.* (2000), Price (1997) และ Southwood and Henderson (2000) โดยมีเพลี้ยอ่อนถั่วเป็นตัวเปรียบเทียบ

การวิเคราะห์ผล

วิเคราะห์ผลกระทบของการใช้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว และเพลี้ยอ่อนถั่วเป็นอาหารเลี้ยงด้วงเต่าสีส้มในส่วนของการช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต การวางไข่ อายุของเพศเมีย ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วย DMRT

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาตารางชีวิตแบบชีววิทยาของด้วงเต่าสีส้มเมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ยจักจั่นสีเขียว และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเปรียบเทียบกับเพลี้ยอ่อนถั่ว

ค่าคุณลักษณะทางชีวภาพจากตารางชีวิตแบบ biological life table ของด้วงเต่าสีส้มเมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว พบว่าด้วงเต่าสีส้มที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีค่าอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) ของประชากรเท่ากับ 11.0000 เท่า ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มทางกรรมพันธุ์ (r_0) เท่ากับ 0.0660 อัตราการเพิ่มที่แท้จริงต่อวัน (λ) เท่ากับ 1.0682 ตัว ของ

เพศเมียรุ่นลูกต่อเพศเมียต่อวัน ส่วนด้วงเต่าสีส้มที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยจักจั่นสีเขียวมีค่าอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) ของประชากรเท่ากับ 15.2300 เท่า ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มทางกรรมพันธุ์ (r_c) เท่ากับ 0.0738 อัตราการเพิ่มที่แท้จริงต่อวัน (λ) เท่ากับ 1.0765 ตัว ของเพศเมียรุ่นลูกต่อเพศเมียต่อวัน โดยค่าที่ได้จากการเลี้ยงด้วงเต่าสีส้มด้วยเหือทดแทนทั้งสองชนิดสูงกว่าที่พบในด้วงเต่าที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนตัว ซึ่งมีค่า R_0 , r_c และ λ เท่ากับ 8.7000, 0.0648 และ 1.0669 ตามลำดับ โดยเมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว ด้วงเต่าสีส้มมีช่วงอายุขัยของกลุ่ม (T_c) เท่ากับ 36.3455 และ 36.9163 วัน ตามลำดับ สูงกว่าผลการเลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนตัว ที่มีค่าเท่ากับ 33.4023 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1) ค่าคุณลักษณะทางชีวภาพทั้งค่า R_0 , r_c , λ และ T_c มีความสำคัญเพราะเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเติบโตของประชากรในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ โดยทั่วไป การเจริญเติบโตของแมลง ความยืนยาวของอายุ และการออกลูกออกหลานนั้นได้รับอิทธิพลจากอาหารและสภาพแวดล้อม (Ellers-Kirk and Fleischer, 2006) โดยแมลงที่ได้รับอาหารที่มีความเหมาะสมและสมบูรณ์ มักมีช่วงเวลาการเจริญเติบโตสั้น มีอัตราการขยายพันธุ์สูง (van Lenteren, 2012) Farooq *et al.* (2018) ศึกษาตารางชีวิตของด้วงเต่า *Coccinella septempunctata* (Linnaeus) โดยใช้เพลี้ยอ่อนสามชนิด คือ *Aphis craccivora* (Koch), *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) และ *M. persicae* เป็นแหล่งอาหารพบว่าด้วงเต่า *C. septempunctata* มีค่า R_0 , r_c , λ , T_c แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยพบค่า R_0 , r_c , λ สูงสุดเท่ากับ 165.97, 0.1302 และ 1.1391 ตามลำดับ เมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ย *M. persicae* แต่ค่า T_c ต่ำสุดที่ 39.10 วัน

อย่างไรก็ตามผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าด้วงเต่าที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียว มีช่วงอายุ (T_c) 36.3455 และ 36.9163 วัน ยาวนานกว่าที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนตัวอย่างมีนัยสำคัญ และในขณะเดียวกันมีอัตราการขยายพันธุ์ทั้งค่า R_0 , r_c และ λ ที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ บ่งชี้ในเบื้องต้นว่าเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวมีความเหมาะสมในการใช้เลี้ยงด้วงเต่าสีส้มได้ดีกว่าการเลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนตัว

อัตราการอยู่รอดในแต่ละวัย (I_x) ของด้วงเต่าเมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวนั้นมีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกับที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนตัว โดยพบว่าในช่วง 10 วันแรกไม่พบการตายของด้วงเต่าสีส้มเกิดขึ้น แต่หลังจากนั้นคือในช่วงตัวอ่อนวัยที่ 2 เริ่มพบการตายของด้วงเต่าสีส้มและมีการตายเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ทำให้จำนวนด้วงเต่าที่รอดชีวิตมีจำนวนค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ พบว่าด้วงเต่าสีส้มที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวสามารถเจริญเป็นตัวเต็มวัยได้ 24 และ 33 ตัว เป็นเพศเมีย 9 และ 14 ตัว ตามลำดับ ในขณะที่การเลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนตัว ด้วงเต่าสีส้ม เจริญเป็นตัวเต็มวัยได้ 29 ตัว เป็นเพศเมีย 5 ตัว (ตารางที่ 2) การตายที่เกิดขึ้นในระยะตัวอ่อนของแมลงนั้นมีส่วนเกี่ยวข้องกับคุณภาพของอาหารที่เป็นเหือเป็นหลัก (Velasco and Walter, 1993) นอกจากนี้ชนิดของอาหารหรือเพลี้ยที่เป็นแหล่งอาหารมีผลต่อจำนวนการวางไข่ของเพศเมีย ซึ่งส่งผลต่ออัตราการขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนของด้วงเต่า (Evans, 2000) โดย Omkar and Srivastava (2003) ใช้เพลี้ยอ่อน 6 ชนิด *A. craccivora*, *A. gossypii*, *Aphis nerii* (Boyer de Fonscolombe), *L. erysimi*, *M. persicae* และ

Table 1. Biological life table parameters (mean $\pm$ SE) of *Micraspis discolor* fed on *Nilaparvata lugens*, *Nephotettix virescens* and *Aphis craccivora*

Parameters	<i>N. lugens</i> ¹	<i>N. virescens</i> ¹	<i>A. craccivora</i> ¹
Net reproductive rate of increase (R_0)	11.0000 $\pm$ 6.92 ^b	15.2300 $\pm$ 8.33 ^a	8.7000 $\pm$ 4.57 ^c
Capacity for increase (r_c)	0.0660 $\pm$ 0.003 ^b	0.0738 $\pm$ 0.004 ^a	0.0648 $\pm$ 0.002 ^c
Cohort generation time (T_c) (days)	36.3455 $\pm$ 0.55 ^b	36.9163 $\pm$ 0.68 ^c	33.4000 $\pm$ 0.47 ^a
Finite rate of increase (λ)	1.0682 $\pm$ 0.004 ^b	1.0765 $\pm$ 0.003 ^a	1.0669 $\pm$ 0.007 ^c

¹ Means within column followed by the same letter are not significantly different ($P \geq 0.05$)

Table 2. Partial ecological life table of *Micraspis discolor* fed on *Nephotettix virescens*, *Nilaparvata lugens* and *Aphis craccivora*

Stage of development (X)	Number of surviving at the beginning of X (l_x)			Generation mortality ($100d_x/n$)		
	<i>N. lugens</i>	<i>N. virescens</i>	<i>A. craccivora</i>	<i>N. lugens</i>	<i>N. virescens</i>	<i>A. craccivora</i>
Egg	40	40	40	0	0	0
Larva:						
Instar I	40	40	40	0	0	0
Instar II	40	39	40	15	2.5	7.5
Instar III	34	38	37	7.5	2.5	2.5
Instar IV	31	37	36	5	5	7.5
Prepupa	29	35	33	5	0	7.5
Pupa	27	35	30	7.5	5	2.5
Adult:						
Male	24	33	29			
Female	15	19	24			
Female	9	14	5			

Uroleucon compositae (Theobald) เลี้ยงด้วงเต่า *C. septempunctata* พบว่าเพลี้ยอ่อนแต่ละชนิดมีผลต่ออัตราการรอดชีวิตของตัวอ่อน การเจริญเติบโต น้ำหนักตัวของเพศผู้-เมีย ความยืนยาว และอัตราการวางไข่ของเพศเมีย แตกต่างกัน เช่นเดียวกับกรณี ศึกษาการเลี้ยงด้วงเต่า *Hippodamia variegata* (Goeze) ด้วยเพลี้ยอ่อน 3 ชนิด คือ *A. gossypii*, *Aphis fabae* Scopoli และ *Macrosiphum rosae* (L.) ของ Golizadeh and Jafari-Behi (2012) พบว่า การเลี้ยงด้วย *A. fabae* นั้นมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องด้วยตัวอ่อนมีอายุยืนยาว (18.9 วัน) อัตราการวางไข่ต่อวันสูงสุดที่ 12.4 ฟอง มีค่า R_0 สูงสุดที่ 291.0 มีค่า r_c สูงสุดที่ 0.183 เช่นเดียวกัน

อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาพบว่าเหยื่อทดแทนทั้งสองชนิดคือเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวมีผลต่อระยะเวลาในการเจริญเติบโตของด้วงเต่าสีส้มจากไข่เป็นตัวเต็มวัยเท่ากับ 21.46 ± 1.63 และ 18.68 ± 3.21 วัน ในขณะที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนถั่วใช้ระยะเวลา 19.7 ± 1.54 วัน โดยมีระยะเวลาใกล้เคียงกับรายงานการเลี้ยงด้วงเต่าสีส้ม *M. discolor* ของ Begum *et al.* (2002) และ เลี้ยงด้วงเต่าสีส้ม *M. crocea* ของ Shepard and Rapusus (1989) ด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ซึ่งใช้ระยะเวลา 23.1 และ 23 วัน ตามลำดับ และ

จากการศึกษานี้พบว่าความยืนยาวของอายุด้วงเต่าสีส้มตัวเต็มวัยเมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ยทั้งสองชนิดเท่ากับ 35 และ 41 วัน ในขณะที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนใช้เวลา 33 วัน ซึ่งยาวนานกว่าการเลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนถั่วและเพลี้ยอ่อนฝักของ วณิชญา และคณะ (2555) ที่ใช้ระยะเวลาเพียง 8 และ 10 วันเท่านั้น อย่างไรก็ตาม Shepard and Rapusus (1989) รายงานผลการเลี้ยงด้วงเต่าสีส้ม *M. crocea* ด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล พบว่าตัวเต็มวัยมีอายุยาวนานถึง 94.4 วัน ซึ่งยาวนานกว่าที่พบในการศึกษานี้ถึง 4.3 เท่า

ความสามารถในการวางไข่ (m_x) เมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว มีความแตกต่างจากการเลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนถั่วโดยพบว่า ตัวเต็มวัยของด้วงเต่าสีส้มเริ่มวางไข่ในวันที่ 8 และ 3 วัน หลังจากเป็นตัวเต็มวัย และการวางไข่เมื่อเลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเกิดขึ้นสูงสุดในวันที่ 17, 9 และ 12 โดยมีช่วงระยะเวลาวางไข่ 18 วัน ในขณะที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยจักจั่น การวางไข่เกิดขึ้นสูงสุดในวันที่ 13, 10 และ 9 ตามลำดับ โดยมีช่วงระยะเวลาวางไข่ 28 วัน มีความแตกต่างจากการเลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนถั่ว ซึ่งตัวเต็มวัยของด้วงเต่าสีส้มเริ่มวางไข่ในวันที่ 6 หลังจากเป็นตัวเต็มวัย และการวางไข่เกิดขึ้นสูงสุดในวันที่ 11, 8 และ 17 ตามลำดับ โดยมีช่วงระยะเวลาวางไข่ 21 วัน (ภาพที่ 1)

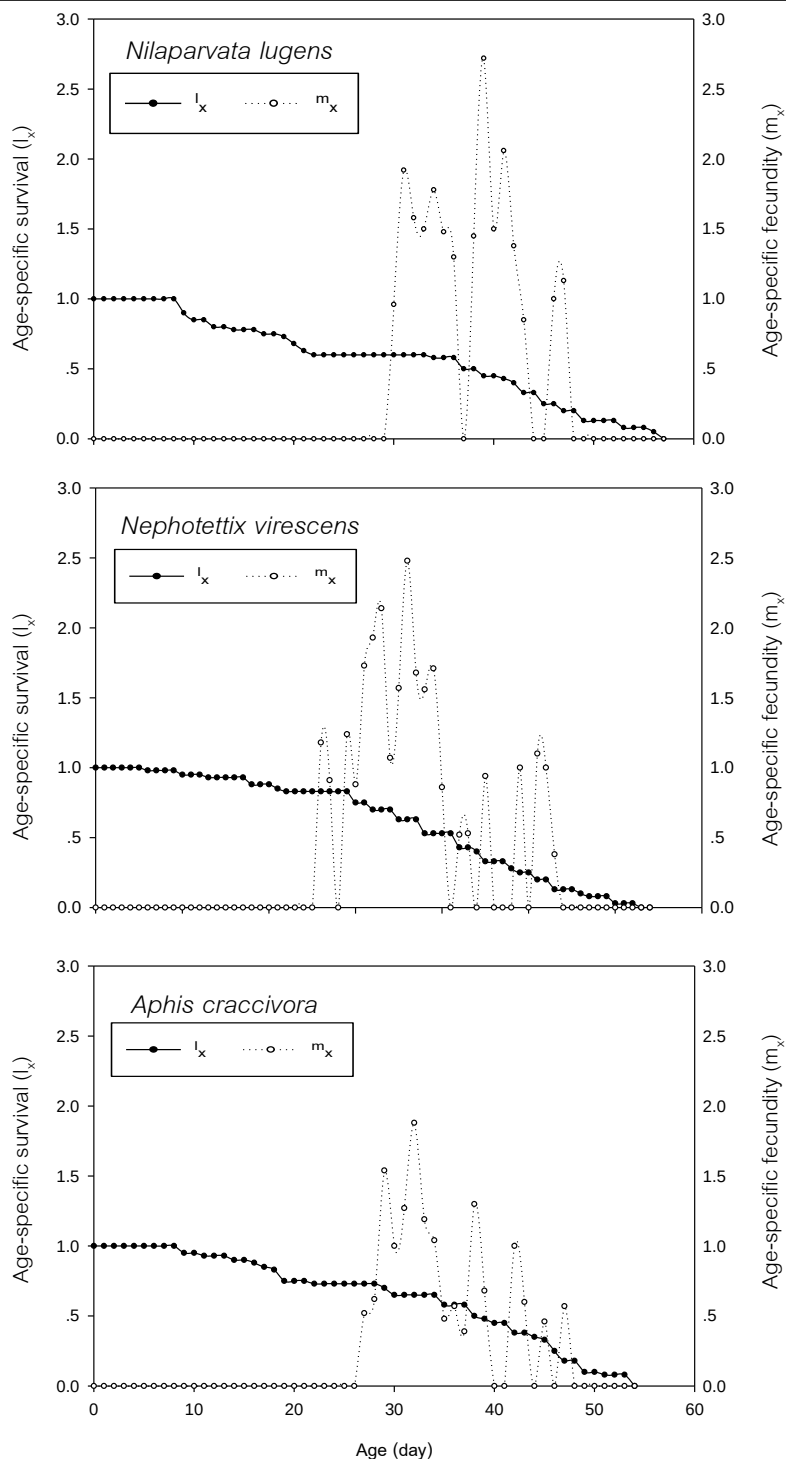


Figure 1. Age-specific survival rate and fecundity of *Micraspis discolor* on *Nilaparvata lugens*, *Nephotettix virescens* and *Aphis craccivora* under laboratory conditions (32 ± 3 °C and $65 \pm 5\%$ RH)

กราฟความสัมพันธ์ของอัตราการอยู่รอดในแต่ละระยะการเจริญเติบโต (I_x) กับระยะการเจริญเติบโต (x) (Survivorship curve) ของด้วงเต่าสีส้มที่เลี้ยงด้วยเหยื่อทดแทนทั้ง 2 ชนิด คือ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว มีลักษณะเส้นกราฟเป็นแบบ Type II เช่นเดียวกัน คือมีอัตราการตายเกิดขึ้นในแต่ละระยะการเจริญเติบโตค่อนข้างคงที่ และเหมือนกับกรณีที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนแก้ว (ภาพที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับผลในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงของค่า I_x ในช่วงของระยะการเจริญเติบโตของตารางชีวิตแบบชีววิทยาข้างต้น และ การศึกษาตารางเปรียบเทียบของด้วงเต่าสีส้มเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนแก้วและเพลี้ยอ่อนผัก (วณิชญา และคณะ, 2555)

ค่าคุณลักษณะทางชีวภาพในตารางชีวิตทั้งสอง ชนิด เป็นค่าเชิงประมาณที่ใช้อ้างอิงกับสภาพแวดล้อมที่เป็นสภาพจริงตามธรรมชาติซึ่งมักพบความแปรปรวนแตกต่างกันมากตลอดเวลา อัตราการตายและค่าต่าง ๆ จากตารางชีวิตที่เป็นการศึกษาในสภาพห้องปฏิบัติการ เป็นผลจากความเครียดในสภาพกล่องเลี้ยงในขณะที่ ทำการศึกษาเป็นหลัก แต่ในสภาพแปลงแมลงต้องเผชิญกับความกดดันทั้งในส่วนของอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม แสงแดด และสภาพของอากาศจำเพาะจุด (microclimate) และศัตรูธรรมชาติมากมาย ความเครียดจากแรงกดดันเหล่านี้จะมีผลต่ออัตราการตายที่สูงขึ้นกว่าในห้องปฏิบัติการมาก (Diaz and Fereres, 2005; Eilers-Kirk and Fleischer, 2006)

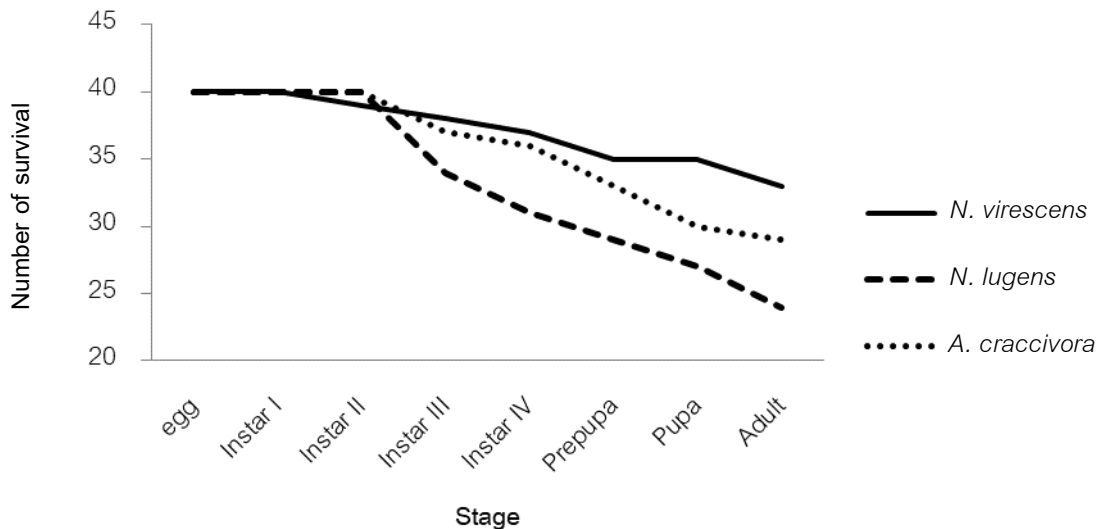


Figure 2. Survivorship curve of *Micraspis discolor* fed on *Nephotettix virescens*, *Nilaparvata lugens* and *Aphis craccivora* under laboratory conditions

สรุป

การศึกษาความเหมาะสมของ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวโดยอาศัยข้อมูลคุณลักษณะทางชีวภาพและตารางชีวิตของตัวเต่าสีส้มเพื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนถั่ว พบว่า ตัวเต่าสีส้มที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยจักจั่นสีเขียวใช้ระยะเวลาเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะไข่จนถึงตัวเต็มวัยสั้นที่สุดเฉลี่ย 18.68 ± 3.21 วัน ซึ่งใช้ระยะเวลาน้อยกว่าตัวเต่าที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยอ่อนถั่ว (21.46 ± 1.63 และ 19.70 ± 1.54 วัน ตามลำดับ) ตัวเต่าสีส้มที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยจักจั่นสีเขียวมีค่าอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มทางกรรมพันธุ์ (r_0) ชั่วอายุขัยของกลุ่ม (T_0) และมีอัตราการเพิ่มที่แท้จริง (λ) เท่ากับ 15.2300 เท่า, 0.0738 เท่า, 36.9163 วัน และ 1.0765 เท่าตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากการเลี้ยงด้วยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่เท่ากับ 11.0000 เท่า, 0.0660 เท่า, 36.3455 วัน, 1.0682 เท่า และเพลี้ยอ่อนถั่วมีค่าเท่ากับ 8.7000 เท่า, 0.0648 เท่า, 33.4000 วัน และ 1.0669 เท่าตามลำดับ พบอัตราการตายเกิดขึ้นเท่า ๆ กันในแต่ละวัยอย่างต่อเนื่อง จึงมีเส้นกราฟแสดงการรอดชีวิต (survivorship curve) เป็นแบบ Type II เหมือนกัน ดังนั้นเหยื่อทดแทนทั้ง 2 ชนิด คือ เพลี้ยจักจั่นสีเขียว และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จึงมีความเหมาะสมและสามารถใช้เป็นเหยื่ออาหารทดแทนในการเพาะเลี้ยงตัวเต่าสีส้มในช่วงระยะเวลาการขาดแคลนแหล่งอาหารจากธรรมชาติได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยนเรศวร และศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคเหนือตอนล่าง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับใช้ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรสิริ ศรีนิล ไสว บุรณพานิชพันธุ์ เยาวลักษณ์ จันทรวง
จิราพร กุลสาริน และ วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ.

2554. ศักยภาพของหนอนนกยักษ์ *Zophobas morio* Fabricius ในการเป็นอาหารของมวนพิฆาต *Eocanthecona furcellata* (Wolff). วารสารเกษตร 27(3): 209-218.

วงเดือน พักช้า วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ ไสว บุรณพานิชพันธุ์ ปภพ สินขยกุล และ วิชัย สรพงษ์ไพศาล.

2561. ผลของระบบนิเวศวิศวกรรมต่อความหลากหลายของแมลงและแมงมุมในนาข้าว. วารสารเกษตร 34(2): 235-244.

วณิชญา ฉิมนาค วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ ไสว บุรณพานิชพันธุ์ และ จิราพร กุลสาริน. 2555. ตารางชีวิตเปรียบเทียบของตัวเต่าสีส้มเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อนถั่วและเพลี้ยอ่อนผัก. วารสารเกษตร 28(2): 125-135.

วีรยุทธ สร้อยนาค วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ สมชาย ธนสินขยกุล วิชัย สรพงษ์ไพศาล และ คนิตา เกิดสุข. 2558. ความหลากหลายของแมลงและแมงมุมในนาข้าวเขตชลประทานจังหวัดพิษณุโลก. วารสารเกษตร 31(3): 281-290.

หัตยา พัฒนะพงศ์พันธุ์ เยาวลักษณ์ จันทรวง และ ไสว บุรณพานิชพันธุ์. 2560. การเลี้ยงเพิ่มปริมาณเรือด *Cimex hemipterus* (Fabricius) โดยใช้เทคนิคการให้อาหารผ่านเมมเบรน. วารสารเกษตร 33(1): 31-38.

อติศยา แก้วประดิษฐ์ อรพรรณ เกินอาษา และ วิวัฒน์ เสือสะอาด. 2554. การบริหารโครงการและดำเนินโครงการวิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ: การควบคุมศัตรูพืชทางการเกษตรโดยชีววิธีของศูนย์ภาคกลาง. ใน รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

อินทวัฒน์ บุรีคำ. 2548. นิเวศวิทยาวิเคราะห์ทางกีฏวิทยา. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

Babu, A. 1999. Influence of prey species on feeding preference, postembryonic development and reproduction of *Coccinella*

- transversalis* F. (Coccinellidae: Coleoptera). Entomon 24: 221-228.
- Begum, M.A., M. Jahan, M.N. Bari, M.M. Hossain and N. Afsana. 2002. Potential of *Micraspis discolor* (F.) as a biocontrol agent of *Nilaparvata lugens* (Stal). Journal of Biological Sciences 2(9): 630-632.
- Bellows, T.S., R.G. Van Driesche and J.S. Elkinton. 1992. Life table construction and analysis in the evaluation of natural enemies. Annual Review of Entomology 37: 587-614.
- Birch, L.C. 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. Journal of Animal Ecology 17(1): 15-26.
- Chi, H. and T.C. Yang. 2003. Two-sex life table and predation rate of *Propylaea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). Environmental Entomology 32(2): 327-333.
- Chowdhury, S.P., M.A. Ahad, M.R. Amin and M.S. Hasan. 2008. Biology of ladybird beetle *Micraspis discolor* (Fab.) (Coccinellidae: Coleoptera). International Journal of Sustainable Crop Production 3(3): 39-44.
- Diaz, B.M. and A. Fereres. 2005. Life table and population parameters of *Nasonovia ribisnigri* (Homoptera: Aphididae) at different constant temperatures. Environmental Entomology 34(3): 527-534.
- Duffield, S.J. 1995. Crop-specific differences in the seasonal abundance of four major predatory groups on sorghum and short-duration pigeonpea. International Chickpea and Pigeonpea Newsletter 2: 74-76.
- Ellers-Kirk, C. and S.J. Fleischer. 2006. Development and life table of *Acalymma vittatum* (Coleoptera: Chrysomelidae), a vector of *Erwinia tracheiphila* in cucurbits. Environmental Entomology 35(4): 875-880.
- Evans, E.W. 2000. Egg production in response to combined alternative foods by the predator *Coccinella transversalis*. Entomologia Experimentalis et Applicata 94: 141-147.
- Farooq, M, M. Shakeel, A. Iftikhar, M.R. Shahid and X. Zhu. 2018. Age-stage, two-sex life tables of the lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on different aphid species. Journal of Economic Entomology 111(2): 575-585.
- Gautam, R.D., S. Chander, V.K. Sharma and R. Singh. 1995. Aphids infesting safflower, their predatory complex and effect on oil content. Annals of Plant Protection Sciences 3: 27-30.
- Golizadeh, A. and V. Jafari-Behi 2012. Biological traits and life table parameters of variegated lady beetle, *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) on three aphid species. Applied Entomology and Zoology 47(3): 199-205.
- Kakde, A.M., K.G. Patel and S. Tayade. 2014. Role of life table in Insect pest management - A review. Journal of Agriculture and Veterinary Science 7(1): 40-43.
- Kalushkov, P. and I. Hodek. 2004. The effects of thirteen species of aphids on some life history parameters of the ladybird *Coccinella septempunctata*. BioControl 49(1): 21-32.
- Maia, A.H.N., A.J.B. Luiz and C. Campanhola. 2000. Statistical influence on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspects. Journal of Economic Entomology 93(2): 511-518.

- Omkar, S. and S. Srivastava. 2003. Influence of six aphid prey species on development and reproduction of a ladybird beetle, *Coccinella septempunctata*. *BioControl* 48(4): 379-393.
- Perdikis, D.C. and D.P. Lykouressis. 2002. Life table and biological characteristics of *Macrolophus pygmaeus* when feeding on *Myzus persicae* and *Trialeurodes vaporariorum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102(3): 261-272.
- Price, P.W. 1997. *Insect Ecology*. John Wiley and Sons, New York. 874 p.
- Rattanapun, W. 2012. Biology and potentiality in biological control of *Micraspis discolor* (Fabricius) (Coleoptera: Coccinellidae). *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* 77(4): 541-548.
- Shepard, B.M. and H.R. Rapusas. 1989. Life cycle of *Micraspis* sp. on brown planthopper (BPH) and rice pollen. *International Rice Research Newsletter* 14: 40.
- Southwood, T.R.E. and P.A. Henderson. 2000. *Ecological Methods*. Blackwell, Oxford. 575 p.
- Thompson, S.N. 1999. Nutrition and culture of entomophagous insects. *Annual Review of Entomology* 44(1): 561-592.
- van Lenteren, J.C. 2012. The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *Biocontrol* 57(1): 1-20.
- Velasco, L.R.I. and G.H. Walter. 1993. Potential of host-switching in *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae) to enhance survival and reproduction. *Environmental Entomology* 22(2): 326-333.
- Wu, X.H., X.R. Zhou and B.P. Pang. 2010. Influence of five host plants of *Aphis gossypii* Glover on some population parameters of *Hippodamia variegata* (Goeze). *Journal of Pest Science* 83(2): 77-83.

ประสิทธิภาพของคาร์บาริล ฟิโปรนิล และไซเพอร์เมทรินต่อกิ่งกือตะเข็บสามสี

Antheromorpha uncinata Jeekel

Efficacy of Carbaryl, Fipronil and Cypermethrin Against Flat-back Millipede,

Antheromorpha uncinata Jeekel

ณัฐดนัย ลิขิตตระการ^{1*} จักรพงษ์ สุภาวรรณ¹ วงศ์พันธ์ พรหมวงศ์¹ จัตรสุดา เผือกใจแผ้ว¹

ธีรารณ คำปลิว¹ พิสิษฐ์ พูลประเสริฐ² ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์³ และ วรุฒ ศิริวุฒ⁴

Natdanai Likhitrakarn^{1*}, Jakarpong Supawan¹, Wongphan Promwong¹,

Chatsuda Phuakjaiphaeo¹, Teeraporn Khampliew¹, Pisit Poolprasert², Piyawan Suttiapran³

and Warut Siriwut⁴

¹สาขาวิชาอารักขาพืช คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

¹Division of Plant Protection, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

²สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จ. พิษณุโลก 65000

²Biology Program, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok 65000, Thailand

³ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

³Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

⁴ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10400

⁴Department of Biology, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

*Corresponding author: Email: kongerrrr@hotmail.com

(Received: 12 July 2018 ; Accepted: 28 December 2018)

Abstract: Over the last decades, some millipede outbreak is periodically occurred resulting in making trouble to people occupying in the areas. Use of chemicals for their control is an alternative choice to reduce this problem. The aim of current research was to study the effects of carbaryl, fipronil and cypermethrin on *Antheromorpha uncinata* Jeekel, 1968, in San Klang subdistrict, Phan district, Chiang Rai province. Millipede samples were treated with various insecticide concentration by direct spray. The percentage mortality was evaluated after 1, 12, 24 and 48 hours of exposure. Fipronil showed the highest LC₅₀ value as 97.69 and 23.81 ppm at 1 and 24 hours, respectively. Cypermethrin has high LC₅₀ value as 115.39 and 93.48 ppm at 1 hour while carbaryl has lowest LC₅₀ value as 514.97 and 501.59 ppm at 24 hours, respectively. In addition, the highest mortality rates after exposure show correlated with the recommendation dose of all three synthetic chemical uses. Herein, carbaryl at the concentrations of 850 ppm was the most effective to control adult millipedes with 100% mortality after one hour of exposure. Moreover, fipronil at the concentration of 125 ppm at 12 hours after exposure yield 100% mortality. Meanwhile, cypermethrin at the concentration of 175 ppm held merely 83.33% mortality after

exposure for 12 hours. The recovering evidence of millipedes after intake cypermethrin was also observed. Thus, use of carbaryl and fipronil are recommended as promised effective insecticide for controlling the emerging of millipede swarming.

Keywords: *Antheromorpha uncinata*, swarming, insecticidal efficacy, Chiang Rai, Thailand

บทคัดย่อ: ในรอบสิบปีที่ผ่านมาพบการระบาดของกิ้งกือบางชนิดอยู่เป็นประจำ ส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ การใช้สารเคมีเพื่อการควบคุมถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยบรรเทาความรุนแรงนี้ลงได้ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของคาร์บาริล ฟิโปรนิล และไซเพอร์เมทริน ต่อกิ้งกือตะเข็บสามสี *Antheromorpha uncinata* Jeekel, 1968 ในตำบลสันกลาง อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ตัวอย่างกิ้งกือตะเข็บสามสีถูกนำมาทดสอบผลของสารเคมีกำจัดแมลงในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีการพ่นลงบนตัวกิ้งกือโดยตรง และตรวจวัดอัตราการตายเมื่อเวลาผ่านไป 1, 12, 24 และ 48 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่า ภายในเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง ฟิโปรนิลมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด โดยมีค่า LC_{50} ที่ 97.69 และ 23.81 ppm ตามลำดับ รองลงมาคือ ไซเพอร์เมทริน ที่มีค่า LC_{50} ที่ 115.39 และ 93.48 ppm ส่วนคาร์บาริลนั้นมีประสิทธิภาพต่ำสุด โดยมีค่า LC_{50} ที่ 514.97 และ 501.59 ppm แต่หากพิจารณาถึงประสิทธิภาพของการใช้สารเคมีทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ จะพบว่าคาร์บาริลความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ (850 ppm) มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการควบคุมกิ้งกือตะเข็บสามสีได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาเพียง 1 ชั่วโมง ในขณะที่ฟิโปรนิลความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ (125 ppm) ทำให้กิ้งกือตะเข็บสามสีตาย 100 เปอร์เซ็นต์ หลังการพ่น 12 ชั่วโมง ซึ่งในช่วงเวลาเดียวกันนี้ ไซเพอร์เมทรินความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ (175 ppm) มีอัตราการตายของกิ้งกือเพียง 83.33 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าระยะแรกกิ้งกือตะเข็บสามสีจะมีอาการสลบไปเกือบทั้งหมด แต่กลับฟื้นตัวมาได้ภายหลัง ดังนั้นคาร์บาริลและฟิโปรนิลที่ความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันและกำจัดกิ้งกือชนิดนี้ในพื้นที่ต่าง ๆ ต่อไป

คำสำคัญ: กิ้งกือตะเข็บสามสี การรวมกลุ่ม ประสิทธิภาพของสารเคมีกำจัดแมลง เชียงราย ประเทศไทย

คำนำ

กิ้งกือ (millipede, class Diplopoda) เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังกลุ่มสัตว์ขาข้อที่มีความหลากหลายชนิดมากที่สุดในไฟลัมย่อยสัตว์ขาข้อที่มีหลากหลาย (subphylum Myriapoda) โดยคาดการณ์ว่าทั่วโลกพบกิ้งกือได้มากถึง 80,000 ชนิดทั่วโลก แต่ในปัจจุบันได้ถูกค้นพบเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนชนิดที่คาดว่าจะพบเท่านั้น (Golovatch and Kime, 2009; Minelli and Golovatch, 2001) กิ้งกือมีลักษณะพื้นฐานเด่นชัดที่คือแต่ละปล้องลำตัวปรากฏขาสองคู่ ยกเว้นลำตัวสามปล้องแรกที่จะมีขาเพียงคู่เดียว นอกจากนั้นส่วนปากของกิ้งกือประกอบด้วย กราม (mandibles) ที่ใช้เคี้ยวหรือบดอาหาร

และแผ่นปาก (gnathochilarium) ที่ช่วยในการกินอาหารที่มีความอ่อนนุ่มได้เท่านั้น กิ้งกือทุกชนิดจึงไม่สามารถกัดหรือทำอันตรายมนุษย์ได้ดังเช่นตะขาบ ที่เป็นสัตว์ขาข้อกลุ่มใกล้เคียงกัน กิ้งกือเป็นผู้บริโภคระดับต้นของห่วงโซ่อาหาร จึงมักตกเป็นเหยื่อให้กับผู้ล่าในลำดับขั้นที่สูงกว่า กิ้งกือหลายกลุ่มมีการพัฒนาการป้องกันตัว โดยการม้วนตัว และการปล่อยสารเคมีในกลุ่มสารประกอบของไฮยาไนด์ (cyanide) หรือ พวกวเบนโซควิโนน (benzoquinone) ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ซึ่งส่วนใหญ่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ยกเว้นบางรายที่มีอาการแพ้ หรือสัมผัสโดนบริเวณผิวหนังที่อ่อนบาง เช่น ในเด็กแรกเกิดที่อาการโดยทั่วไปพบเพียง รอยจ้ำสีเหลือง แดงหรือน้ำตาลเข้ม ซึ่งสามารถหายได้เองเมื่อล้างด้วยน้ำสะอาด

เนื่องจากกิ่งกือเป็นหนึ่งในผู้ย่อยสลายที่สำคัญในระบบนิเวศ โดยทำหน้าที่ย่อยสลายเศษซากพืช ซากสัตว์ ให้หมุนเวียนกลับกลายเป็นธาตุอาหารของพืช โดยวงจรชีวิตของกิ่งกือพบว่า ระยะตัวอ่อนอาศัยได้ผิวดินเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเปลี่ยนเป็นตัวเต็มวัย กิ่งกือขึ้นมาอาศัยและจับคู่ผสมพันธุ์บนผิวดิน โดยระยะเวลาในการพัฒนาจากตัวอ่อนจนเป็นตัวเต็มวัยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของกิ่งกือในแต่ละสายพันธุ์ บางชนิดมีวงจรชีวิตสั้นที่ใช้เวลาเพียง 1 ปี บางสายพันธุ์อาจยาวนานถึง 8 ปี ในบางกรณี การขึ้นมาสู่ผิวดินของระยะตัวเต็มวัยนี้ อาจเกิดขึ้นพร้อมกันในปริมาณมากในบริเวณหนึ่ง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาหรือสร้างความหวาดกลัวให้กับประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นได้ กิ่งกือบางชนิดจึงถูกจัดเป็นกลุ่มสัตว์ขาปล้องที่ก่อให้เกิดความรำคาญต่อมนุษย์ (de Lima Bicho and Müller, 2017) ดังตัวอย่างการระบาดของกิ่งกือที่จังหวัดนากาโน ประเทศญี่ปุ่น พบกิ่งกือจำนวนมากขึ้นมาบนผิวดินเพื่อจับคู่ผสมพันธุ์พร้อมกันหลายพื้นที่ และมีการแพร่กระจายไปปกคลุมรางรถไฟ ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบรถไฟในบริเวณดังกล่าว (Nijijima, 1998; 2001) หรือในประเทศเยอรมนี ทุก ๆ ปี กิ่งกือจำนวนมากจะระบาดเข้าสู่บ้านเรือนของหมู่บ้านในรัฐบาวาเรีย สร้างความเดือดร้อนแก่ประชาชนที่อยู่อาศัยในบริเวณดังกล่าวอยู่เสมอ (Lee, 2008) และยังมีการรายงานการระบาดของกิ่งกือในลักษณะนี้เกิดขึ้นอีกในหลายพื้นที่ในแถบยุโรป (Adama et al., 2016; Ehmsberger, 2002; Voigtländer, 2005)

ในประเทศไทยมีการรายงานการระบาดของกิ่งกืออย่างเป็นทางการครั้งแรก เมื่อปี พ.ศ. 2507 โดย Casimir Albrecht Willem Jeekel ซึ่งเป็นรายงานการพบกิ่งกือตะเข็บบ้านดอน *Orthomorpha sericata* เป็นชนิดใหม่ของโลก พร้อมทั้งได้สังเกตพบปริมาณของกิ่งกือชนิดนี้สูงผิดปกติที่บริเวณริมแม่น้ำบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งในเวลานั้นเป็นปรากฏการณ์ที่พบได้ยากมาก (Jeekel, 1964) ต่อมาในปี พ.ศ. 2549 พบการระบาดของกิ่งกือที่บริเวณหมู่บ้านปางริมภรณ์ จังหวัดเชียงราย โดยกิ่งกือจำนวนมากพยายามเคลื่อนที่เข้าไปในอาคารบ้านเรือนของชาวบ้านที่อาศัยบริเวณนั้น หลังจากนั้นพบรายงานข่าวการระบาดอีกในหลายพื้นที่ของประเทศไทย ตั้งแต่ภาคเหนือตอนบนจนถึงภาคใต้ แม้ว่าในปัจจุบันจะ

มีการศึกษาและค้นพบชนิดของกิ่งกือในประเทศไทยจำนวนมากถึง 195 ชนิดแล้วก็ตาม (Likhitrakarn et al., 2017) แต่การศึกษาด้านนิเวศวิทยา พฤติกรรม รวมถึงการป้องกันหรือควบคุมประชากรของกิ่งกือ โดยเฉพาะในชนิดที่มีการระบาดอยู่บ่อยครั้งในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาทั้งในระดับพื้นฐานหรือการประยุกต์ในเชิงลึก

ในเดือนพฤษภาคม ปี พ.ศ. 2561 พบการระบาดของกิ่งกือบริเวณหลายหมู่บ้านในพื้นที่ตำบลสันกลาง อำเภอกพาน จังหวัดเชียงราย มีการทดลองใช้สารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อกำจัดกิ่งกือเหล่านั้น อย่างไรก็ตาม สารเคมีกำจัดแมลงบางกลุ่มพบว่าไม่สามารถควบคุมกิ่งกือเหล่านั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ชาวบ้านตัดสินใจเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารเคมีกำจัดแมลงให้สูงขึ้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายและผลกระทบที่ร้ายแรงต่อผู้อยู่อาศัยในบริเวณที่ทำการพ่นได้ ทั้งนี้โดยที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของสารเคมีกำจัดแมลงเพื่อควบคุมกิ่งกือมาก่อน ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสารเคมีบางชนิด ประกอบด้วย คาร์บาริล ฟิโปรนิล และไซเพอร์เมทริน ที่มีผลต่อกิ่งกือตะเข็บสามสี *Antheromorpha uncinata* Jeekel, 1968 ซึ่งเป็นชนิดที่มีรายงานการระบาดและสร้างความรำคาญให้กับประชาชนในพื้นที่ดังกล่าว ผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประกอบการวางแผน ป้องกันและกำจัดกิ่งกือในพื้นที่ที่มีปัญหาได้อย่างเหมาะสมและมีความปลอดภัยแก่ผู้อยู่อาศัยในบริเวณดังกล่าวมากที่สุด

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บรวบรวมตัวอย่างกิ่งกือตะเข็บสามสีจากพื้นที่ที่มีการระบาด

สำรวจและเก็บรวบรวมตัวอย่างกิ่งกือตะเข็บสามสีในพื้นที่หมู่บ้านในตำบลสันกลาง อำเภอกพาน จังหวัดเชียงราย (ภาพที่ 1) หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เป็นตัวเต็มวัยมาจำแนกเพศและบันทึกจำนวนตัวอย่างที่สำรวจได้ นำตัวอย่างกิ่งกือทั้งหมดเลี้ยงในถังพลาสติกขนาด 34 x 66 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร โดยเปิดฝาทิ้งไว้ ใช้ดินเป็นวัสดุรองพื้นและเศษใบไม้ไว้ปกคลุมดิน



Figure 1. Millipede swarm of *Antheromorpha uncinata* at San Klang subdistrict, Phan district, Chiang Rai province, Thailand. (A-C) Swarming individuals, individual long 3.2-4.7 cm (D) Provincial Administration Organization staff sprayed insecticide to control the smarming millipedes (Photos by Mr. Rachen Kammabut)

ด้านบน อาหารของกิ้งกือ ใช้ผลไม้ม่วงสุกปอกเปลือก ผ่าครึ่งแล้ววางไว้บนเศษใบไม้ด้านบนผิวดิน ทำการเลี้ยงกิ้งกือไว้ในอุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 2 วัน ก่อนนำมาทดสอบประสิทธิภาพของสารกำจัดแมลงต่อไป

การศึกษาสัณฐานวิทยา

ทำการศึกษาด้านสัณฐานวิทยาลักษณะภายนอก (external morphology) ของกิ้งกือและจัดจำแนกเพศภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (stereo microscope) บันทึกรายละเอียดทางสัณฐานวิทยาที่สำคัญซึ่งใช้ในการจำแนกชนิดของกิ้งกือ เช่น ขนาดลำตัว ลักษณะสีที่ปรากฏบนลำตัว รูปทรงแผ่นปีก (paraterga) หนวด และขา รวมทั้งบันทึกลักษณะสัณฐานวิทยาของโครงสร้างอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ (gonopod) เป็นต้น เพื่อนำมาใช้ตรวจสอบและวิเคราะห์หาชื่อชนิดทางวิทยาศาสตร์ (scientific name) จากเอกสารงานวิจัยทาง

อนุกรมวิธานของกิ้งกือที่พบในประเทศไทยของ สมศักดิ์ (2549) และ Likhitrakarn *et al.* (2010, 2011, 2014, 2016, 2017) ประกอบกับการเปรียบเทียบกับตัวอย่างกิ้งกือต้นแบบ (holotype) ที่เก็บรวบรวมไว้ในพิพิธภัณฑ์สถานธรรมชาติวิทยาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CUMNH) เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีกำจัดแมลงเพื่อใช้กำจัดกิ้งกือในห้องปฏิบัติการ

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีกำจัดแมลง 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บาริล (carbaryl), ฟิโปรนิล (fipronil) และ ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin) ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันดังนี้

1) คาร์บาริลใช้ความเข้มข้นสูงสุดตามอัตราแนะนำคือ 850 ppm และปรับลดอัตราส่วนความเข้มข้นลงเหลือ 600, 400 และ 200 ppm ตามลำดับ

2) ฟิโปรนิลใช้ความเข้มข้นสูงสุดตามอัตราแนะนำคือ 125 ppm และปรับลดอัตราส่วนความเข้มข้นลงเหลือ 90, 60 และ 30 ppm ตามลำดับ

3) ไซเพอร์เมทรินใช้ความเข้มข้นสูงสุดตามอัตราแนะนำคือ 175 ppm และปรับลดอัตราส่วนความเข้มข้นลงเหลือ 120, 80 และ 40 ppm ตามลำดับ

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวควบคุม (untreated control) และทำการทดสอบสารเคมีกำจัดแมลงแต่ละความเข้มข้นจำนวน 3 ซ้ำ ในหนึ่งหน่วยทดลองใช้กิ่งกือตะเข็บสามสีระยะตัวเต็มวัยจำนวน 10 ตัว (เพศผู้ 5 ตัวและเพศเมีย 5 ตัว) ทำการทดสอบประสิทธิภาพโดยวิธีพ่นสารเคมีในแต่ละระดับความเข้มข้นลงบนกิ่งกือโดยตรง จากนั้นนำกิ่งกือในแต่ละหน่วยการทดลองเก็บไว้ในกล่องพลาสติกขนาด 9.5 x 14 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร โดยมีฝาปิดที่เจาะรูขนาดเล็กให้อากาศได้ถ่ายเท แต่ละกล่องรองพื้นด้วยกระดาษกรอง พร้อมทั้งใส่อาหารไก่เป็ยกและน้ำในกล่อง ตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 26.00±1.00 องศาเซลเซียส ทำการจดบันทึกการตายของกิ่งกือตะเข็บสามสี หลังจากการพ่นเมื่อเวลาผ่านไป 1, 12, 24 และ 48 ชั่วโมงตามลำดับ นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาอัตราเฉลี่ยการตาย ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) และค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่ทำให้กิ่งกือในการทดลองตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง (median lethal concentration, LC_{50}) โดยวิธี Probit analysis โดยกำหนดให้กิ่งกือตะเข็บสามสีที่ถูกทดสอบด้วยสารเคมีแต่ละชนิด ไม่ตอบสนองการเคลื่อนไหวต่อสิ่งเร้าหรือไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ให้ถือว่ามีการตายเกิดขึ้น

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเก็บรวบรวมตัวอย่างกิ่งกือตะเข็บสามสีจากพื้นที่ที่มีการระบาด

ทำการเก็บตัวอย่างกิ่งกือเฉพาะระยะตัวเต็มวัยมาจำนวน 1,331 ตัวอย่าง สามารถแยกเป็น เพศเมีย 582 ตัวอย่างและเพศผู้ 749 ตัวอย่าง จากจำนวนตัวอย่างที่เก็บได้จากพื้นที่ที่มีการระบาด แสดงให้เห็นอัตราส่วนจำนวนเพศผู้ของกิ่งกือชนิดนี้มีมากกว่ากิ่งกือเพศเมีย

ลักษณะสัณฐานวิทยาของกิ่งกือตะเข็บสามสี

จากการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างกิ่งกือ โดยเปรียบเทียบจากลักษณะสัณฐานวิทยาของลำตัว พบว่ากิ่งกือชนิดนี้ตัวเต็มวัยมีจำนวนปล้องลำตัว 20 ปล้อง โดยมีขนาดลำตัวยาวประมาณ 3.2-4.7 เซนติเมตร ไม่มีอวัยวะรับแสง หนวดมีขนาดยาว ลำตัวมีสีแดง แดงอ่อน ส้ม และส้มอ่อน และพบแถบสีดำพาดยาวเป็นแนวนานกับแกนกลางลำตัว บางตัวอาจพบแถบดำขยายเชื่อมติดกันเป็นแนวยาว ส่วนใหญ่แถบลำตัวจะยื่นขยายไปยังส่วนฐานของปีกข้างลำตัว เกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมตั้งอยู่บนขอบลำตัว แต่ละปล้องลำตัวพบปีกยื่นยาวออกมาด้านข้าง ส่วนปลายมีลักษณะโค้งมนจนถึงแหลมหัว และหนวดมีสีดำ ส่วนขามีสีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ 2) โครงสร้างอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ (gonopod) รูปทรงเรียวยาว มีส่วนฐานของขา (coxa) ลักษณะสั้น และแยกออกจากส่วนเทโลโพไดร์ (telopodite) ชัดเจน ส่วนปลายโกโนพอดได้แยกเป็นสองแฉกชัดเจน โดยที่ปลายแฉกปรากฏสองแฉกย่อย จากโครงสร้างดังกล่าวสามารถจำแนกชนิดตัวอย่างกิ่งกือในการศึกษาครั้งนี้ได้เป็น กิ่งกือตะเข็บสามสี *A. uncinata* โดยกิ่งกือชนิดนี้ถูกรายงานไว้ครั้งแรกที่อำเภออมก๋อย จังหวัดสระบุรี (Attems, 1931; 1936; 1937) ต่อมา Likhitrakam *et al.* (2016) ได้ทำการทบทวนอนุกรมวิธานของกิ่งกือสกุลนี้พร้อมบรรยายลักษณะทางสัณฐานวิทยาไว้อย่างละเอียด โดยการเทียบเคียงกับตัวอย่างต้นแบบของกิ่งกือชนิดต่าง ๆ ในสกุลดังกล่าว พร้อมทั้งสรุปพื้นที่การกระจายพันธุ์เพิ่มเติมของตัวอย่างกิ่งกือชนิดนี้ที่พบจากประเทศไทย พบว่ากิ่งกือตะเข็บสามสีมีการกระจายพันธุ์ที่ค่อนข้างกว้าง สามารถพบได้ตั้งแต่บริเวณภาคเหนือตอนบน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ลงมาภาคกลาง ภาคตะวันตกจนถึงภาคใต้ตอนบน (จังหวัดประจวบคีรีขันธ์) โดยหนึ่งในสมาชิกในสกุลนี้ กิ่งกือตะเข็บสีแดง *A. festiva* (Brölemann, 1896) ถูกพบรวมกลุ่มกันอยู่จำนวนมากช่วงฤดูใบไม้ร่วงในอุทยานแห่งชาติกιάตเตียน ตอนใต้ของเวียดนาม โดยประชากรส่วนใหญ่ที่พบมักเป็นวัยเดียวกัน (ตัวอ่อนระยะที่ 4 จนถึงระยะก่อนเต็มวัย) แต่หลังจากที่เจริญเป็นตัวเต็มวัย ก็ไม่พบการรวมกลุ่มในปริมาณมากอีก (Likhitrakam *et al.*, 2019)

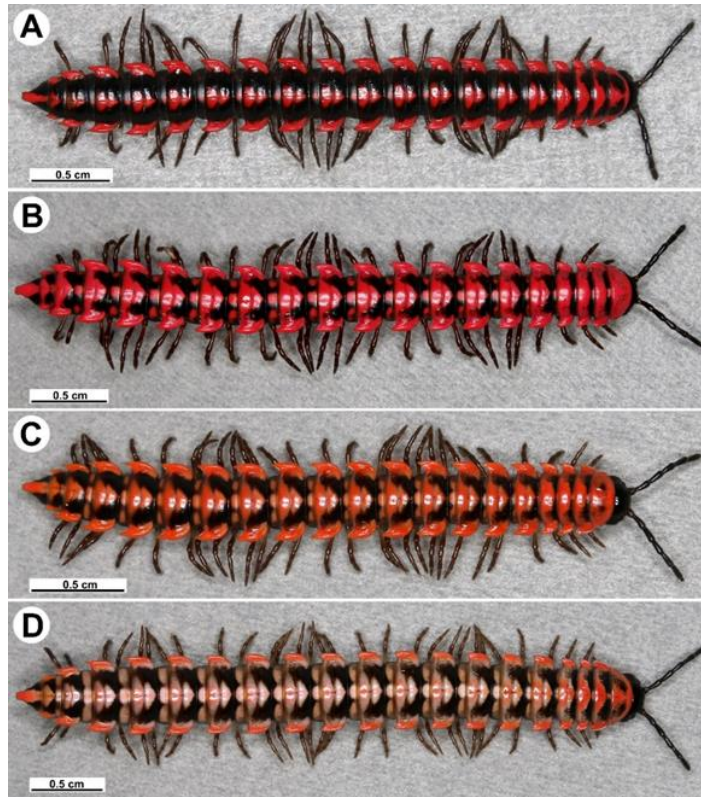


Figure 2. *Antheromorpha uncinata* from San Klang subdistrict, Phan district, Chiang Rai province, Thailand; live coloration, (A-C) male (D) female

ซึ่งกิ้งกือตะเข็บชนิดนี้ก็สามารถพบได้บริเวณภาคใต้ของ
ไทยเช่นกัน

ประสิทธิภาพของสารเคมีกำจัดแมลงเพื่อใช้กำจัด กิ้งกือในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบประสิทธิภาพของสารกำจัดแมลง
คาร์บาริล ฟิโปรนิล และไซเพอร์เมทริน ต่อตัวอย่างของ
กิ้งกือตะเข็บสามสีตัวเต็มวัยที่พบระบาดในพื้นที่ตำบล
สันกลาง อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ภายในห้องปฏิบัติการ
พบว่า คาร์บาริล ที่ความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ (850
ppm) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดตัวเต็มวัยของ
กิ้งกือตะเข็บสามสี สามารถกำจัดกิ้งกือได้ 100 เปอร์เซ็นต์
(ตารางที่ 1) ในระยะเวลาเพียง 1 ชั่วโมง ถัดมา คือ ฟิโปรนิล
ที่ความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ (125 ppm) สามารถ
กำจัดกิ้งกือได้ ในชั่วโมงแรกเพียง 63.33 เปอร์เซ็นต์ แต่
อัตราการตายของกิ้งกือเพิ่มขึ้นเป็น 100 เปอร์เซ็นต์หลัง
การพ่นผ่านไป 12 ชั่วโมง (ตารางที่ 2) และอันดับสุดท้าย

คือ ไซเพอร์เมทริน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นตามอัตรา
แนะนำ (175 ppm) ทำให้กิ้งกือตะเข็บสามสีมีอัตราการ
ตายได้ถึง 83.33 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) โดยใช้เวลาเพียง
1 ชั่วโมง

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของคาร์บาริล
แม้ที่ความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ (850 ppm) ทำให้
สามารถกำจัดกิ้งกือตะเข็บสามสีได้เป็นอย่างดี และเมื่อ
ปรับลดความเข้มข้นลงเหลือ 600 ppm ก็ยังคงกำจัด
กิ้งกือตะเข็บสามสีได้มากถึง 90.00 เปอร์เซ็นต์ในชั่วโมง
แรก และสามารถกำจัดได้หมด 100 เปอร์เซ็นต์ ภายใน
เวลา 24 ชั่วโมงหลังการพ่น แต่หากใช้ในความเข้มข้น 400
ppm กลับมีประสิทธิภาพในการกำจัดกิ้งกือตะเข็บสามสี
ที่ต่ำมากเหลือเพียง 3.33 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (ตารางที่ 1)
อย่างไรก็ตาม ค่า LC_{50} ของคาร์บาริล ที่เวลา 1 ชั่วโมง มี
ค่าเท่ากับ 514.97 ppm และมีค่า LC_{90} เท่ากับ 598.93
ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ซึ่งคาร์บาริลเป็นสารกำจัด
แมลงในกลุ่มคาร์บาเมตที่มีความเป็นพิษต่อการสัมผัส

Table 1. Comparative study of dose mortality of carbaryl against *Antheromorpha uncinata* at 1, 12, 24 and 48 hours after treated

Concentration (ppm)	Mortality (Mean $\pm$ S.D.)			
	1 hour	12 hours	24 hours	48 hours
850 (recommended dose)	100.00 $\pm$ 0.00 ^a	100.00 $\pm$ 0.00 ^a	100.00 $\pm$ 0.00 ^a	100.00 $\pm$ 0.00 ^a
600	90.00 $\pm$ 1.00 ^b	90.00 $\pm$ 1.00 ^a	100.00 $\pm$ 0.00 ^a	96.67 $\pm$ 0.58 ^a
400	3.33 $\pm$ 0.58 ^c	3.33 $\pm$ 0.57 ^b	3.33 $\pm$ 0.58 ^b	3.33 $\pm$ 0.58 ^b
200	0.00 $\pm$ 0.00 ^c	0.33 $\pm$ 0.57 ^b	3.33 $\pm$ 0.58 ^b	3.33 $\pm$ 0.58 ^b
0	0.00 $\pm$ 0.00 ^c	0.00 $\pm$ 0.00 ^b	0.00 $\pm$ 0.00 ^b	0.00 $\pm$ 0.00 ^b

Means followed by the same letter in a column are not significantly different at the 5% level by DMRT

Table 2. Comparative study of dose mortality of fipronil against *Antheromorpha uncinata* 1, 12, 24 and 48 hours after treated

Concentration (ppm)	Mortality (Mean $\pm$ S.D.)			
	1 hour	12 hours	24 hours	48 hours
125 (recommended dose)	63.33 $\pm$ 2.31 ^a	100.00 $\pm$ 0.00 ^a	100.00 $\pm$ 0.00 ^a	100.00 $\pm$ 0.00 ^a
90	43.33 $\pm$ 0.58 ^a	100.00 $\pm$ 0.00 ^a	100.00 $\pm$ 0.00 ^a	100.00 $\pm$ 0.00 ^a
60	40.00 $\pm$ 1.73 ^b	100.00 $\pm$ 0.00 ^a	100.00 $\pm$ 0.00 ^a	100.00 $\pm$ 0.00 ^a
30	6.67 $\pm$ 0.58 ^b	70.00 $\pm$ 0.00 ^b	86.67 $\pm$ 0.58 ^b	100.00 $\pm$ 0.00 ^a
0	0.00 $\pm$ 0.00 ^c	0.00 $\pm$ 0.00 ^c	0.00 $\pm$ 0.00 ^c	0.00 $\pm$ 0.00 ^b

Means followed by the same letter in a column are not significantly different at the 5% level by DMRT

Table 3. Comparative study of dose mortality of cypermethrin against *Antheromorpha uncinata* at 1, 12, 24 and 48 hours after treated

Concentration (ppm)	Mortality (Mean $\pm$ S.D.)			
	1 hour	12 hours	24 hours	48 hours
175 (recommended dose)	83.33 $\pm$ 0.58 ^a	83.33 $\pm$ 0.58 ^a	83.33 $\pm$ 0.58 ^a	83.33 $\pm$ 0.58 ^a
120	53.33 $\pm$ 2.08 ^b	53.33 $\pm$ 2.08 ^b	53.33 $\pm$ 2.08 ^b	53.33 $\pm$ 2.08 ^b
80	40.00 $\pm$ 1.73 ^b	60.00 $\pm$ 2.64 ^b	76.67 $\pm$ 2.31 ^b	76.67 $\pm$ 2.31 ^b
40	0.00 $\pm$ 0.00 ^c	23.3 $\pm$ 3.21 ^b	23.33 $\pm$ 3.21 ^c	0.33 $\pm$ 3.21 ^c
0	0.00 $\pm$ 0.00 ^c	0.00 $\pm$ 0.00 ^b	0.00 $\pm$ 0.00 ^c	0.00 $\pm$ 0.00 ^c

Means followed by the same letter in a column are not significantly different at the 5% level by DMRT

และระบบทางเดินหายใจ โดยมีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส (cholinesterase) ในระบบประสาทของสิ่งมีชีวิตทั่วไปได้ จึงมักนิยมนำมาใช้ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูที่สำคัญทางเกษตรได้เป็นอย่างดี (Bond *et al.*, 2016) ทั้งนี้คาร์บาริล มีค่า LC₅₀ จากการกินและการสัมผัสของหนู เท่ากับ 250-850 ppm และ

หากมนุษย์ได้รับสารจากการกินประมาณ 250 ppm ภายใน 20 นาที เป็นผลทำให้มีอาการปวดท้องเฉียบพลัน มีการขับเหงื่อมาก พร้อมการอาเจียน (สิริพัชร และคณะ, 2560; Cheng *et al.*, 2006; Wills *et al.*, 1968) ดังนั้นควรมีความระมัดระวังเมื่อมีการนำสารนี้ไปใช้พื้นที่

ฟิโปรนิลมีประสิทธิภาพในการกำจัดกิ่งกือตะเข็บสามสีได้ดีเช่นเดียวกันแต่แสดงผลช้ากว่าคาร์บาริลจากการศึกษา พบว่า ฟิโปรนิลที่ความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ (125 ppm) สามารถกำจัดกิ่งกือตะเข็บสามสีได้ 63.33 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งนี้เมื่อปรับลดความเข้มข้นลงเหลือ 90 และ 60 ppm เป็นผลทำให้กิ่งกือตะเข็บสามสีมีอัตราการตายได้เพียง 46.33 และ 40.00 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับ (Table 2) แต่หลังจากระยะเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า อัตราการตายของกิ่งกือเพิ่มขึ้นเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า LC_{50} และ LC_{90} ของ ฟิโปรนิล ที่เวลา 1 ชั่วโมง เท่ากับ 97.69 และ 166.72 ppm (ตารางที่ 4) ในขณะที่ ค่า LC_{50} และ LC_{90} ของ ฟิโปรนิล ที่เวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 23.81 และ 30.95 ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ซึ่ง ฟิโปรนิล เป็นสารเคมีกำจัดแมลงในกลุ่มเฟนิลไพราโซล (phenylpyrazole)

กำจัดแมลงแบบไม่เลือกทำลาย โดยเข้าไปยับยั้งการทำงานของระบบประสาทของแมลง นิยมใช้ในการควบคุมแมลงในเคสสถาน แมลงศัตรูในโรงเก็บ รวมทั้งแมลงศัตรูทางการเกษตร (Kavallieratos *et al.*, 2010) ฟิโปรนิลมีพิษปานกลางโดยมีความเป็นพิษทางปาก (oral LD_{50}) ในหนูเท่ากับ 97 ppm และความเป็นพิษทางผิวหนัง (dermal LD_{50}) ในหนูมากกว่า 2,000 ppm (Gupta and Milatovic, 2014) จากผลการศึกษาสามารถใช้ฟิโปรนิลในการกำจัดกิ่งกือตะเข็บสามสีที่ระดับความเข้มข้นระหว่าง 60-125 ppm ได้ แต่ระยะเวลาในการออกฤทธิ์นานถึง 12 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้นในการใช้บริเวณบ้านเรือนควรเลือกใช้ ฟิโปรนิลในความเข้มข้นที่ 40-60 ppm หรือใช้เพียงครั้งหนึ่งของอัตราแนะนำบนฉลาก

Table 4. LC_{50} , LC_{90} and regression parameter estimates of carbaryl, fipronil and cypermethrin against *Antheromorpha uncinata* at 1 hour

Parameter/Treated	Carbaryl	Fipronil	Cypermethrin
LC_{50}	514.97	97.69	115.39
Range of LC_{50}	478.49-547.95	67.07-194.88	76.85-173.44
LC_{90}	598.93	166.72	180.82
Range of LC_{90}	564.42-651.49	121.09-499.33	139.88-367.58
Parameter estimates*			
A	-7.861	-1.814	-1.938
Slope	0.015	0.019	0.025
R^2	1.000	0.846	0.974

*Parameter estimates for regression line $Y = A + \text{Slope} * X$

Table 5. LC_{50} , LC_{90} and regression parameter estimates of carbaryl, fipronil and cypermethrin against *Antheromorpha uncinata* at 24 hours

Parameter/Treated	Carbaryl	Fipronil	Cypermethrin
LC_{50}	501.59	23.81	93.48
LC_{90}	627.63	30.95	174.19
Parameter estimates*			
A	-5.100	-4.275	-1.484
Slope	0.010	0.180	0.016
R^2	0.750	ns	0.868

*Parameter estimates for regression line $Y = A + \text{Slope} * X$

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของไซเพอร์เมทรินต่ออัตราการตายของกิ่งกือตะเข็บสามสี พบว่าความเข้มข้นของไซเพอร์เมทรินตามอัตราแนะนำ (175 ppm) พบอัตราการตายสูงสุดของกิ่งกือตะเข็บสามสี เท่ากับ 83.33 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ค่า LC_{50} และ LC_{90} ที่เวลา 1 ชั่วโมง เท่ากับ 115.39 และ 180.82 ppm ตามลำดับ (Table 4) ซึ่งไซเพอร์เมทรินเป็นสารเคมีในกลุ่มไพเรทรอยด์สังเคราะห์ (synthetic pyrethroids) โดยสารในกลุ่มนี้มักนิยมนำมาใช้ในการเกษตรและใช้เป็นสารเคมีกำจัดแมลงในครัวเรือนอย่างกว้างขวาง (สุนัยนา และคณะ, 2553; Singh *et al.*, 2012) นอกจากนี้พบว่า ไซเพอร์เมทรินมีพิษกับระบบประสาทในแมลง และเป็นพิษสูงต่อผึ้ง แมลงในน้ำ และปลา อย่างไรก็ตามไซเพอร์เมทรินสามารถเสื่อมสลายในสิ่งแวดล้อม ดิน และพืชได้อย่างรวดเร็ว โดยความเป็นพิษของไซเพอร์เมทรินเมื่อทำการทดลองป้อนทางปาก ($oral LD_{50}$) ในหนูมีค่าเท่ากับ 250 ppm และความเป็นพิษทางผิวหนัง ($dermal LD_{50}$) ของหนูเท่ากับ 1,600 ppm (Coombs *et al.*, 1976; Nagarjuna and Jacob Doss, 2009) ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ในช่วงระยะเวลาแรกกิ่งกือตะเข็บสามสีที่สัมผัสไซเพอร์เมทรินมีลักษณะการสลบ (knock down) แต่ในระยะเวลาต่อกิ่งกือสามารถฟื้นตัวกลับมาเป็นปกติได้

อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีกำจัดกิ่งกือมีประสิทธิภาพสูงและเป็นวิธีที่รวดเร็ว แต่สารเคมีมีความเป็นพิษ โดยเฉพาะการใช้ในบริเวณแหล่งที่พักอาศัย ดังนั้นควรเลือกวิธีการป้องกันกำจัดในรูปแบบอื่น ๆ เข้ามาทดแทนหรือร่วมบูรณาการด้วยเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและปลอดภัยมากที่สุด สำหรับแนวทางการป้องกันกำจัดที่สามารถกระทำได้โดยไม่ใช้สารเคมีมีดังนี้

1. ปรับสภาพพื้นที่เพื่อไม่ให้เป็นที่หลบซ่อนของกิ่งกือ โดยบริเวณรอบอาคารที่พักอาศัยควรมีลักษณะแห้งอยู่เสมอ เช่น ไม่ปลูกต้นไม้รักริบบ หรือมีการทับถมของเศษใบไม้ต่าง ๆ เป็นต้น

2. มีการทำความสะอาดพื้นที่โดยรอบบริเวณอาคารที่พักเป็นประจำเพื่อ กำจัดเศษวัสดุ เก็บอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อาจเป็นที่หลบซ่อนของกิ่งกือได้

3. หากพบการระบาด ให้ทำการปิดรอยร้าวตามผนัง กำแพง ทางเข้าประตู หน้าต่าง โดยรอบบริเวณ

อาคารที่พักอาศัย เพื่อไม่ให้กิ่งกือเคลื่อนที่เข้าบริเวณภายในอาคารได้

4. การเก็บกิ่งกือจำนวนมาก สามารถใช้วิธีประยุกต์โดยการนำหนังสือ เอกสาร หรือกระดาษลังเปล่าที่ชุบน้ำ นำไปวางไว้เป็นจุด ๆ โดยรอบบริเวณอาคารที่พักอาศัย เพื่อล่อให้กิ่งกือมาหยุดพักหลบซ่อนแล้วจึงทำความสะอาดและกำจัดต่อไป

5. หากต้องการเก็บกวาดกิ่งกือที่พบ ควรใช้ภาชนะที่มีพื้นผิวซึ่งกิ่งกือไม่สามารถปีนขึ้นได้ เช่น ถังขยะพลาสติกที่มีผิวด้านเรียบ หรือกะละมังทรงสูง เป็นต้น

สรุป

จากการสำรวจและเก็บรวบรวมตัวอย่างกิ่งกือตะเข็บสามสี *Antheromorpha uncinata* ที่พบการระบาดในพื้นที่ตำบลสันกลาง อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย จำนวน 1,331 ตัวอย่าง และนำไปทดสอบสารเคมีกำจัดแมลง 3 ชนิด คือ คาร์บาริล ฟิโปรนิล และไซเพอร์เมทรินในห้องปฏิบัติการที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พบว่าหากพิจารณาจากค่า LC_{50} ภายในระยะเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง ฟิโปรนิลแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด โดยมีค่า LC_{50} ที่ 97.69 และ 23.81 ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีเช่นเดียวกับสารไซเพอร์เมทริน ที่มีค่า LC_{50} ที่ 115.39 และ 93.48 สำหรับคาร์บาริลนั้นพบว่าให้ประสิทธิภาพต่ำสุด โดยมีค่า LC_{50} ที่ 514.97 และ 501.59 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามหากพิจารณาถึงประสิทธิภาพของการใช้สารเคมีทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ พบว่าคาร์บาริลความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ (850 ppm) ให้ประสิทธิภาพสูงสุดถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ในการควบคุมกิ่งกือตะเข็บสามสี โดยใช้เวลาการออกฤทธิ์เพียง 1 ชั่วโมง ในขณะที่ฟิโปรนิลความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ (125 ppm) สามารถกำจัดกิ่งกือตะเข็บสามสีได้ 100 เปอร์เซ็นต์ หลังการฉีดพ่นผ่านไป 12 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบในช่วงเวลาเดียวกันนี้กับสารไซเพอร์เมทรินความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ (175 ppm) พบว่าอัตราการตายของกิ่งกือมีเพียง 83.33 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นคาร์บาริลและฟิโปรนิลที่ความเข้มข้นตามอัตราแนะนำ จึงมีแนวโน้มที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มากกว่าไซเฟอร์เมทรินในการป้องกันกำจัดกิ่งกึ่งชนิดนี้ รวมถึงชนิดอื่นในพื้นที่ต่าง ๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (กปร.) ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ การดำเนินงานศึกษาวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจากนายสมเกียรติ คำแสนยศ ปลัดองค์การบริหารส่วนตำบลสันกลาง จ.ส.ท.ราชนนทร์ คำมาบุตร เจ้าพนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยปฏิบัติงาน และนางสาวขวัญชีวาทิพย์แสนคำ พนักงานจ้างฝ่ายสาธารณสุข ในการสนับสนุนส่งตัวอย่างกิ่งกึ่งที่มีการระบาดมาให้ศึกษา พร้อมทั้งให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยชิ้นนี้ ขอขอบคุณ ผศ.ดร.เยาวลักษณ์ จันทร์บาง ภาควิชาชีววิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้คำแนะนำในการป้องกันกำจัดกิ่งกึ่งโดยไม่ใช้สารเคมี ขอขอบพระคุณ ดร.ปรินทร์ จิระภัทรศิลป์ ปฏิบัติการวิจัยชีสเทมาติกส์ของสัตว์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาช่วยตรวจทานต้นฉบับงานวิจัย และสุดท้ายขอขอบคุณสาขาวิชาอารักขาพืช คณะผลิตกรรมการเกษตรที่ช่วยสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์ผลงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

สมศักดิ์ ปัญญา. 2549. วิจัยกิ่งกึ่งเรื่องไม่ยาก. โรงพิมพ์กรุงเทพ (1984) จำกัด, กรุงเทพฯ. 58 หน้า.
สิริพัชร โกยโกโคสวรค์ อัจฉริยา สุริยะวงศ์ สิทธิสุนทร สุโพธิณะ และ ภารดี ช่วยบำรุง. 2560. การสลายคาร์บาริลในน้ำด้วยปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะไลซิส. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 25(6): 975-988.
สุนัยนา สท้านไตรภพ กลิน ศุภปฐม และ พรณเกษมแผ่พร. 2553. ประสิทธิภาพทางชีววิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์เคมีกำจัดแมลงคลานต่อแมลงสาบ

เยอรมัน (*Blattella germanica*). วารสารวิชาการสาธารณสุข 19(6): 930-935.

- Adama, I., K.O. Fening, M.B. Mochiah, M. Owusu-Akyaw and E. Andoh-Mensah. 2016. Knowledge of cassava pest management: The case of farmer training on integrated management of millipede infestation in outbreak areas in western region, Ghana. Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology 14(4): 1-8.
- Attems, C. 1931. Die Familie Leptodesmidae und andere Polydesmiden. Zoologica (Stuttgart) 79: 1-150.
- Attems, C. 1936. Diplopoda of India. Memoirs of the Indian Museum 11(4): 133-323.
- Attems, C. 1937. Myriapoda 3. Polydesmoidea I. Fam. Strongylosomidae. Das Tierreich 68: 1-300.
- Bond, C., A. Hallman, K. Buhl and D. Stone. 2016. Carbaryl: General fact sheet. (Online) . Available: <http://npic.orst.edu/factsheets/carbarylgen.html> (July 7, 2018).
- Coombs, A.D., B.I. Carter, R.W. Hend, S.G. Butterworth and A.C. Buckwell. 1976. Toxicity studies on the insecticide WL-43467. Summary of results of preliminary experiments. Shell Research, Sittingbourne, Kent, England.
- Cheng, S., J. Chen, Y. Qiu, X. Hong, Y. Xia, T. Feng, J. Liu, L. Song, Z. Zhang and X. Wang. 2006. Carbaryl inhibits basal and FSH-induced progesterone biosynthesis of primary human granulosa-lutein cells. Toxicology 220: 37-45.
- de Lima Bicho, C. and G.A. Müller. 2017. Other irritating arthropods (beetles, bugs, centipedes, etc.). pp. 549-556. In: C. Marcondes (ed.) . Arthropod Borne Diseases. Springer, Cham.

- Ehrnsberger, R. 2002. Massenaufreten und Wanderung des Diplopoden *Ommatoiulus sabulosus* in Westniedersachsen. Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen 28: 199-203.
- Golovatch, S. I. and R. D. Kime. 2009. Millipede (Diplopoda) distributions: A review. Soil Organisms 81(3): 565-597.
- Gupta, R.C. and D. Milatovic. 2014. Insecticides. pp. 389-408. In: R.C. Gupta (ed.). Biomarkers in Toxicology. Elsevier, Amsterdam.
- Jeekel, C.A.W. 1964. A new species of *Orthomorpha* Bollman from Thailand observed in migration, with taxonomic notes on the genus (Diplopoda). Tijdschrift voor Entomologie 107: 355-364.
- Kavallieratos, N.G., C.G. Athanassiou, B.J. Vayias and P.C. Betsi. 2010. Insecticidal efficacy of fipronil against four stored-product insect pests: influence of commodity, dose, exposure interval, relative humidity and temperature. Pest Management Science 66: 640-649.
- Lee, P. 2008. More swarming millipedes. (Online). Available: <http://www.bmig.org.uk/sites/www.bmig.org.uk/files/news/bmignews16.pdf> (July 7, 2018).
- Likhitrakarn, N., S.I. Golovatch and S. Panha. 2011. Revision of the Southeast Asian millipede genus *Orthomorpha* Bollman, 1893, with the proposal of a new genus (Diplopoda, Polydesmida, Paradoxosomatidae). ZooKeys 131: 1-161.
- Likhitrakarn, N., S.I. Golovatch and S. Panha. 2014. Review of the Southeast Asian millipede genus *Enghoffosoma* Golovatch, 1993 (Diplopoda, Polydesmida, Paradoxosomatidae), with descriptions of new species. Zootaxa 3811(4): 491-514.
- Likhitrakarn, N., S.I. Golovatch and S. Panha. 2016. Review of the Southeast Asian millipede genus *Antheromorpha* Jeekel, 1968 (Diplopoda, Polydesmida, Paradoxosomatidae). ZooKeys 571: 21-57.
- Likhitrakarn, N., S.I. Golovatch and S. Panha. 2017. The first record of the pantropical millipede, *Chondromorpha xanthotricha* (Attems, 1898) (Diplopoda: Polydesmida: Paradoxosomatidae), from Thailand. Arthropoda Selecta 26(4): 281-287.
- Likhitrakarn, N., S.I. Golovatch, I. Semenyuk and S. Panha. 2019. A new species and a new record of the Southeast Asian millipede genus *Antheromorpha* Jeekel, 1968 (Polydesmida: Paradoxosomatidae) from Vietnam. ZooKeys 832: 77-89.
- Likhitrakarn, N., S.I. Golovatch, R. Prateepasen and S. Panha. 2010. Review of the genus *Tylopus* Jeekel, 1968, with descriptions of five new species from Thailand (Diplopoda, Polydesmida, Paradoxosomatidae). ZooKeys 72: 23-68.
- Minelli, A. and S.I. Golovatch. 2001. Myriapods. pp. 291-303. In: S.A. Levin (ed.). Encyclopedia of Biodiversity, Vol. 4. Academic Press, San Diego.
- Nagarjuna, A. and P. Jacob Doss. 2009. Acute oral toxicity and histopathological studies of cypermethrin in rats. Indian Journal of Animal Research 43(4): 235-240.
- Nijijima, K. 1998. Effects of outbreak of the train millipede *Parafontaria laminata armigera* Verhoeff (Diplopoda: Xystodesmidae) on litter decomposition in a natural beech forest in Central Japan. 1. Density and

- biomass of soil invertebrates. Ecological Research 13: 41-53.
- Nijima, K. 2001. A millipede outbreak (*Oxidus gracilis* Koch) stopped trains. Edaphologia 68: 43-46.
- Singh, A.K., M.N. Tiwari, O. Prakash and M.P. Singh. 2012. A current review of cypermethrin-induced neurotoxicity and nigrostriatal dopaminergic neurodegeneration. Current Neuropharmacology 10(1): 64-71.
- Voigtländer, K. 2005. Mass occurrences and swarming behaviour of millipedes (Diplopoda: Julidae) in Eastern Germany. Peckiana 4: 181-187.
- Wills, J. H. , E. Jamieson and F. Coulston. 1968. Effects of oral doses of carbaryl on man. Clinical Toxicology 1: 265-271.
-

พลวัตประชากรและการควบคุมมอดข้าวเปลือกในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าว

Population Dynamics and Control of Lesser Grain Borer (*Rhyzopertha dominica* (F.)) in Rice Seed Storehouse

นภัส ยิ้มกรุง¹ วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ^{1*} ปานิสรา เทพकुศล¹ ไสว บุรณพานิชพันธุ์²
และ เยาวลักษณ์ จันทรบัง²

Napat Yimkung¹, Weerathep Pongprasert^{1*}, Panisara Thepkusol¹, Sawai Buranapanichpan²
and Yaowaluk Chanbang²

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000

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

²ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: weerathepp@nu.ac.th

(Received: 25 October 2018; Accepted: 4 December 2018)

Abstract: The objectives of this work were to study on population dynamics of *Rhyzopertha dominica* (F.) based on light trap compared to direct count, effect of environmental factors and the control efficacy of chlorpyrifos. The experiment was conducted on rice seed in storehouse at Nakhon Sawan Rice Seed Center, Nakhon Sawan province. The result revealed that the high peak of insect population was found by light trap and direct count after the seed had been stored in the storehouse for 10 and 16 weeks, respectively. Temperature was an environmental factor highly affected the growth of *R. dominica* population and the highest number of insects was found at 31°C. A 5 liter-solution of chlorpyrifos 40% EC at the rate of 6 ml/L mixed with 1 ton of rice as seed treatment was very effective to control *R. dominica* at 100% mortality for 6 weeks and had potential to suppress *R. dominica* population up to 14 weeks.

Keywords: Population dynamics, chlorpyrifos, *Rhyzopertha dominica*, rice seed storehouse

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้คือศึกษาพลวัตประชากรของมอดข้าวเปลือกด้วยกับดักแสงไฟเปรียบเทียบกับ การตรวจนับโดยตรง ผลของสภาพแวดล้อมต่อการเพิ่มประชากร และประสิทธิภาพของสารคลอร์ไพริฟอสในการควบคุม การทดลองดำเนินการกับเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เก็บรักษาในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ของศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวนครสวรรค์ จังหวัด นครสวรรค์ ผลสำรวจประชากรมอดข้าวเปลือกด้วยกับดักแสงไฟและการตรวจนับโดยตรงพบว่าประชากรของมอด ข้าวเปลือกเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่องและขึ้นสูงสุดในสัปดาห์ที่ 10 และ 16 หลังจากนำเมล็ดพันธุ์เข้าเก็บในโรงเก็บเมล็ด พันธุ์ ตามลำดับ อุณหภูมิเป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มจำนวนประชากรของมอดข้าวเปลือกมากที่สุด โดยอุณหภูมิที่พบจำนวนประชากรสูงสุดคือ 31 องศาเซลเซียส สารคลอร์ไพริฟอส 40% EC อัตรา 6 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร จำนวน 5 ลิตร คลุกเมล็ดพันธุ์ข้าว 1 ตัน มีประสิทธิภาพในการควบคุมมอดข้าวเปลือกได้สูงถึงร้อยละ 100 เป็น ระยะเวลา 6 สัปดาห์หลังจากคลุกเมล็ดพันธุ์ข้าวและสามารถคงประสิทธิภาพได้นานถึง 14 สัปดาห์

คำสำคัญ: พลวัตประชากร คลอร์ไพริฟอส มอดข้าวเปลือก โรงเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าว

คำนำ

มอดข้าวเปลือก (Lesser Grain Borer: *Rhyzopertha dominica* (F.) จัด อยู่ใน วงศ์ Bostrichidae อันดับ Coleoptera (Potter, 1935) เป็นแมลงศัตรูสำคัญของ ข้าวเปลือกที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ลงทำลายทั้งก่อนและหลังการ เก็บเกี่ยว (Edde, 2012) สามารถลงทำลายเมล็ดธัญพืช หลากหลายชนิด รวมทั้งผลไม้แห้ง และยาสูบ จัดเป็น แมลงที่อาศัยกระจายได้ในทุกเขตทั่วโลก (cosmopolitan insect pest) พบได้ทั่วไปทั้งตัวอ่อน และตัวเต็มวัยใน แปลงปลูก กองผลผลิต ยุ้งฉาง โรงเก็บเมล็ดพืช (Fields *et al.*, 1993; Haines, 1995; Nadeem *et al.*, 2011) โดย ตัวอ่อนอาศัยกัดกินส่วนของเมล็ดข้าวที่เป็นจมูกข้าวและ แป้งข้าว (germ and endosperm) เจริญเติบโตและเข้า อยู่ตักแต่ภายในเมล็ด จนเป็นตัวเต็มวัยจึงเจาะออกจาก เมล็ด ตัวเต็มวัยมีรูปร่างทรงกระบอกสีน้ำตาลเข้มปนแดง โดยส่วนหัวสั้นและรุ่มขนอยู่ได้กบปล้องแรก ทำให้มีเรียก อีกชื่อว่า มอดหัวป้อม ตัวเต็มวัยมีชีวิตรอยู่ 5 เดือน หรือมากกว่า สามารถวางไข่และแพร่พันธุ์ได้ในช่วง อุณหภูมิตั้งแต่ 12-40 °C ลงทำลายธัญพืชได้แม้มี ความชื้นต่ำมากกว่า 9% ในขณะที่แมลงอื่น ๆ ไม่สามารถ ดำรงชีพได้ (Edde, 2012) โดยในสภาพแวดล้อมปกติที่ 32 °C มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและเพิ่ม ประชากรมากที่สุด (Astuti *et al.*, 2013) มีความทนทาน ต่อสภาพ อุณหภูมิ สูงได้ดี (Beckett *et al.*, 2007; Dosland *et al.*, 2006; Fields, 1992) แมลงเพศเมีย

สามารถวางไข่ได้ สูงถึง 570 ฟองตลอดอายุขัย (Mason, 2003) ข้าวที่ถูกทำลายมีสภาพกลวงเหลือแต่เปลือก มี ร่องรอยตะแคงและเป็นรูพรุน ไม่สามารถนำไปใช้เมล็ด พันธุ์ได้ หรือขายไม่ได้ราคา เนื่องจากข้าวมีคุณภาพต่ำ มี กลิ่นไม่พึงประสงค์จากมูลและของเสียของแมลงปนเปื้อน (Arthur *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2008) และเมื่อสีเป็น ข้าวสำหรับบริโภคมักได้ปริมาณข้าวขาวต่ำ ตัวเต็มวัย สามารถบินได้ไกล ทำให้แพร่ระบาดไปยังโรงเก็บอื่น ๆ ได้ รวดเร็ว (Lazzari and Lazzari, 2012) การควบคุมมอด ข้าวเปลือกสามารถกระทำได้หลายรูปแบบและวิธีการ รวมทั้งสารฆ่าแมลง (Arthur and Subramanyam, 2012; Hagstrum and Flinn, 1992; Hertlein *et al.*, 2011; Phillips and Throne, 2010; Vardeman *et al.*, 2007) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของเมล็ดพืชที่เก็บรักษา สภาพแวดล้อม ของพื้นที่และโรงเก็บ เป็นหลัก โดยในการควบคุมมอด ข้าวเปลือกในเมล็ดพันธุ์ข้าว สารคลอร์ไพริฟอสเป็น สารเคมีพื้นฐานที่ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวใช้ฉีดพ่นหรือคลุก เมล็ดพันธุ์ข้าว อย่างไรก็ตามด้วยการควบคุมทุกกรณี จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลเชิงนิเวศรองรับเพื่อประกอบการ ตัดสินใจในการเลือกวิธีการหรือผสมผสานวิธีการควบคุม และได้เหมาะสมมีประสิทธิภาพ จึงได้ทำการศึกษา นิเวศวิทยาของมอดข้าวเปลือกขึ้นเน้นในส่วนของการ เปลี่ยนแปลงของประชากรมอดข้าวเปลือกในเมล็ด พันธุ์ข้าวในโรงเก็บโดยใช้กับดักแสงไฟเปรียบเทียบกับ การตรวจนับโดยตรง ปัจจัยกายภาพที่มีผลต่อประชากร ของมอดข้าวเปลือก และประสิทธิภาพสารฆ่าแมลงคลอร์

ไพโรฟอสคลุกเมล็ดพันธุ์ข้าวในโรงเก็บควบคุมมอดข้าวเปลือก เพื่อเป็นข้อมูลในการบริหารจัดการมอดข้าวเปลือกในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของประชากรมอดข้าวเปลือกในเมล็ดพันธุ์ข้าวในโรงเก็บ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงประชากรมอดข้าวเปลือก ในเมล็ดพันธุ์ในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยการใช้กับดักแสงไฟและสุ่มจากกระสอบ โดยสำรวจชนิดและจำนวนมอดข้าวเปลือกในกองกระสอบเมล็ดพันธุ์ข้าว กข 31 ที่จัดวางบนแคร่รองเมล็ดพันธุ์ข้าวจำนวนแคร่ละ 40 กระสอบ (1,000 กิโลกรัม) รวมจำนวนทั้งสิ้น 10,352 กระสอบในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ โดยวางดักแสงไฟแบบพัดลมดูด จำนวน 3 ชุด ให้กระจายในโรงเก็บ ช่วงเวลา 18.00 - 21.00 น. เก็บตัวอย่างในสัปดาห์ที่ 1 และ 3 ของทุกเดือน เป็นระยะเวลา 4 เดือน รวมทั้งสิ้นจำนวน 8 ครั้ง บันทึกจำนวนของมอดข้าวเปลือก ที่พบในกับดัก ส่วนการสุ่มจากกระสอบนั้นใช้หลาว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร บรรจุน้ำได้ปริมาณ 100 กรัม/หลาว สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกจากกระสอบจำนวน 102 กระสอบ ๗ ละจุด ตามหลักการของกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : ข้าว ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551 (สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, 2555) ตรวจนับจำนวนมอดข้าวเปลือกที่พบ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงประชากรของมอดข้าวเปลือกและวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปัจจัยทางกายภาพ คือความชื้นและอุณหภูมิ

ศึกษาประสิทธิภาพสารฆ่าแมลงคลอร์ไพโรฟอสคลุกเมล็ดพันธุ์ข้าวในโรงเก็บควบคุมมอดข้าวเปลือก

เตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าว นำเมล็ดพันธุ์ข้าว พันธุ์ กข 31 จำนวน 250 กิโลกรัม คลุกด้วยสารคลอร์ไพโรฟอส 40% EC อัตรา 6 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร จำนวน 5 ลิตร ใช้คลุกเมล็ดพันธุ์ข้าว 1 ตัน ตามกรรมวิธีของศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวนครสวรรค์ บรรจุในกระสอบพลาสติกสาน กระสอบละ 25 กิโลกรัมจำนวน 10 กระสอบ เรียงกองสลับ แบบ 2

กระสอบได้ 5 ชั้น ส่วนเมล็ดพันธุ์ที่ไม่คลุกสารเคมีเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มาจากแปลงเดียวกันแต่ยังไม่ได้ผ่านขั้นตอนการคลุกสารเคมี จำนวน 250 กิโลกรัม บรรจุในกระสอบพลาสติกสาน กระสอบละ 25 กิโลกรัมจำนวน 10 กระสอบ เรียงกองสลับ แบบ 2 กระสอบได้ 5 ชั้น ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ด้วยหลาว ทุกกระสอบ ๗ ละ 100 กรัม เก็บตัวอย่างในสัปดาห์ที่ 1 และ 3 ของทุกเดือน ระยะเวลา 4 เดือน ตรวจนับจำนวนมอดข้าวเปลือกที่พบ บันทึกผล วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเปรียบเทียบจำนวนมอดข้าวเปลือกเฉลี่ยที่พบจากทั้งสองการทดลองด้วย t-test และบันทึกการเปลี่ยนแปลงของจำนวนมอดข้าวสารตลอดช่วงการศึกษา

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของประชากรมอดข้าวเปลือกในเมล็ดพันธุ์ข้าวในโรงเก็บ

การสำรวจแมลงจากโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวจากกับดักแสงไฟ พบ มอดข้าวเปลือกจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 กับดักตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง จำนวน 1,061 ตัว เฉลี่ย 353.67 ตัว/กับดัก ทั้งนี้ไม่พบแมลงศัตรูธรรมชาติของมอดข้าวเปลือก เมื่อวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงประชากรมอดข้าวเปลือก ในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวพบว่าจำนวนมอดข้าวเปลือก มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจากการเก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 1-6 พบจำนวนทั้งหมด 2, 4, 14, 39, 78 และ 346 ตัว ตามลำดับ หลังจากนั้น ครั้งที่ 7 มีจำนวนทั้งหมดลดลงคือ 166 ตัว และเพิ่มขึ้นอีกในครั้งที่ 8 และ 9 จำนวนทั้งหมด 176 และ 236 ตัว ส่วนการสำรวจประชากรของมอดข้าวเปลือกด้วยการสุ่มเก็บตัวอย่างจากกระสอบ ตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง จำนวนทั้งหมด 57 ตัว เฉลี่ย 0.56 ตัว/หลาว (ข้าว 100 กรัม) น้อยกว่ากับดักแสงไฟมาก โดยพบครั้งแรกจากการสุ่มครั้งที่ 6 วันที่ 17 มีนาคม 2559 จำนวนทั้งหมด 10 ตัว และในครั้งที่ 7-9 พบจำนวน 26, 11 และ 10 ตามลำดับ (ภาพที่ 1)

การใช้กับดักแมลงสามารถช่วยในการสำรวจประเมินประชากรของมอดข้าวเปลือกได้ดี สะดวก รวดเร็ว (Bashir, 2000; Ching'Oma, 2006; Intachat and Woiod, 1999; Jia *et al.*, 2008; Phillips *et al.*, 2000;

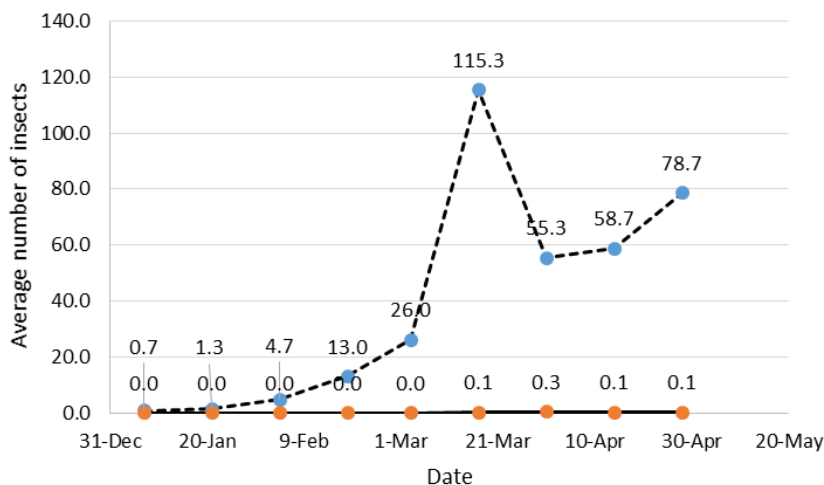


Figure 1. Population dynamics of *Rhyzopertha dominica* (F.) in rice seed storehouse during January- April 2016 based on light trap per trap (dot line) and direct sampling per 100 g of rice seeds (bold line)

White, 1989) โดยช่วงเวลาที่เหมาะสมในการวางกับดัก ควรเป็นเวลาที่แมลงมีกิจกรรมในการบินสูงสุด ในกรณีของ มอดข้าวเปลือกคือ ในช่วงรุ่งเช้าและพลบค่ำ (Ching'Oma, 2006) ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้กับดักแสงไฟช่วยในการสำรวจ ประเมินประชากรของมอดข้าวเปลือกโดยวางกับดักในช่วงพลบค่ำ ให้ผลการสำรวจที่ได้แมลงเป็นจำนวนมาก และสามารถแสดงผลการเปลี่ยนแปลงประชากรของมอดข้าวเปลือกได้ชัดเจน สะดวก รวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสำรวจโดยตรง ด้วยการใช้น้ำลายเก็บตัวอย่างข้าว ประชากรมอดข้าวเปลือกที่เข้ามาติดกับดักแสงไฟนั้นมีแนวโน้มเป็นประชากรที่มาจากแมลงอพยพรวมกับประชากรมอดข้าวเปลือกที่กำลังลงทำลายในข้าวเปลือก ในขณะที่การตรวจนับโดยตรง ประชากรมอดข้าวเปลือกที่พบเป็นมอดข้าวเปลือกที่กำลังลงทำลายในข้าวเปลือกเท่านั้น ทำให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนประชากรของมอดข้าวเปลือกที่สำรวจโดยตรงกับจำนวนประชากรที่สำรวจด้วยกับดักแสงไฟ (r) มีค่าร้อยละ 48.9 ทำให้การใช้กับดักแสงไฟไม่สามารถใช้บ่งบอกหรืออ้างอิงจำนวนประชากรแมลงที่ลงทำลายข้าวในกองหรือในถังข้างได้ แต่สามารถใช้ในการพยากรณ์ประชากรของมอดข้าวเปลือกในกองข้าวได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงประชากรจากที่จับได้ด้วยกับดักเกิดขึ้นก่อนการเปลี่ยนแปลงประชากรที่สำรวจพบจากกองพันธุ์ข้าว 2 สัปดาห์ เช่นเดียวกับการการรายงานของ Toews และ

Nanson (2012) ที่สรุปว่าความสัมพันธ์ของแมลงในกับดักไม่สอดคล้องกับความเสียหายในผลิตผลที่เก็บรักษา และได้เสนอวิธีการใช้กับดักในการสำรวจเพื่อพยากรณ์ประชากรแมลงซึ่งจากเดิมใช้วิธีการสำรวจและเฉลี่ยจำนวนแมลงต่อกับดักซึ่งต้องใช้แรงงานและเวลามาก เป็นการประเมินประชากรแมลงด้วยสัดส่วนของจำนวนกับดักที่ไม่พบแมลงต่อกับดักทั้งหมด และหากสัดส่วนลดลงถึง 0.4 ถึง 0.2 ควรมีการป้องกันกำจัด ซึ่งสามารถประเมินสถานการณ์ของแมลงตัดสินใจเพื่อการจัดการแมลงศัตรูในโรงเก็บได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรมอดข้าวเปลือกในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าว กับปัจจัยทางกายภาพ คือ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า การเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรมอดข้าวเปลือกมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ มากที่สุด (R^2 ร้อยละ 79.4 (ภาพที่ 2) จากการพบความสัมพันธ์ของมอดข้าวเปลือกกับอุณหภูมิพบว่าเมื่ออุณหภูมิในโรงเก็บเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิ เริ่มต้นที่ 25 °C ในช่วงแรกการเพิ่มประชากรมอดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงระดับ 30 °C จำนวนประชากรมอดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงสุดที่ระดับอุณหภูมิ 31 °C และค่อยลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 31.5 °C และ 32 °C ซึ่งแตกต่างจาก Astuti *et al.* (2013) ที่พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการ

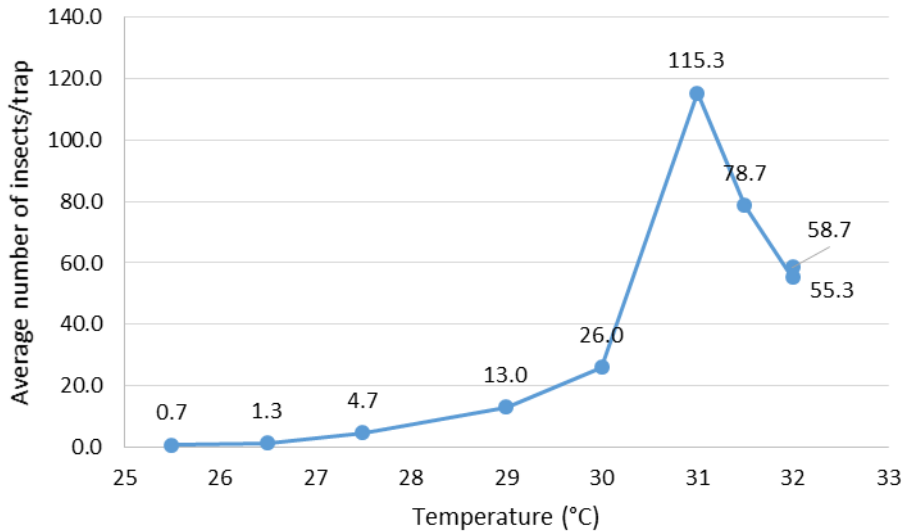


Figure 2. The relationships of *Rhyzopertha dominica* (F.) population per trap and temperature (°C) in rice storehouse

ดำรงชีพของมอดข้าวเปลือกคือ 32 °C เล็กน้อย แต่อยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Edde (2012) ที่พบว่ามอดข้าวเปลือกสามารถดำรงชีพและแพร่พันธุ์ได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 12-40 °C โดยมอดข้าวเปลือกสามารถลงทำลายธัญพืชได้แม้มีความชื้นต่ำมากกว่า 9% อย่างไรก็ตามในการศึกษาค้างนี้การเปลี่ยนแปลงประชากรมอดข้าวเปลือกมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ (R) น้อยมากเพียงร้อยละ 27.3 เท่านั้น

ศึกษาประสิทธิภาพสารฆ่าแมลงคลอร์ไพริฟอสคลุกเมล็ดพันธุ์ข้าวในโรงเก็บควบคุมมอดข้าวเปลือก

จำนวนมอดข้าวเปลือกโดยรวมที่พบในเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่คลุกสารเคมี ตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 128 ตัว เฉลี่ย 12.8 ตัวต่อข้าว 100 กรัม มีความแตกต่างจากที่คลุกสารเคมีที่พบมอดข้าวเปลือกทั้งหมด 19 ตัว เฉลี่ย 1.9 ตัวต่อข้าว 100 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในข้าวเปลือกไม่คลุกสารเคมีพบมอดข้าวเปลือกครั้งแรกจากการเก็บตัวอย่างในสัปดาห์ที่ 4 จำนวนเฉลี่ย 2.3 ตัวต่อข้าว 100 กรัม ใน 2 สัปดาห์ถัดไปพบจำนวนลดลงเหลือ 1.0 ตัวต่อข้าว 100 กรัม หลังจากนั้นในสัปดาห์ 8-12 จำนวนที่พบมอดข้าวเปลือก

มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ 1.8, 2.7 และ 2.3 ตัวต่อข้าว 100 กรัม ตามลำดับ และลดลงเหลือ 1.7 ตัวต่อข้าว 100 กรัม ในสัปดาห์ที่ 14 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการศึกษา ในขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่คลุกสารเคมีนั้น เริ่มพบมอดข้าวเปลือกครั้งแรกในสัปดาห์ที่ 8 จำนวน 0.3 ตัวต่อข้าว 100 กรัม และในสัปดาห์ที่ 10, 12 และ 14 พบมอดข้าวเปลือก 0.3, 1.0 และ 0.3 ตัวต่อข้าว 100 กรัม ตามลำดับ สำหรับการพบจำนวนมอดข้าวเปลือกในกระสอบเมล็ดพันธุ์ข้าวที่คลุกสารเคมีมีจำนวนต่ำกว่าที่ไม่คลุกเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4-14 ตลอดระยะเวลาการสุ่มตรวจสอบ โดยสารคลอร์ไพริฟอสสามารถควบคุมมอดข้าวเปลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ร้อยละ 100 ได้ยาวนานถึง 6 สัปดาห์ และมีฤทธิ์ตกค้างควบคุมมอดข้าวสารได้เป็นอย่างดีต่อเนื่องจนถึงสัปดาห์ที่ 14 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลกับไม่คลุกสารมีความแตกต่างกันถึง 6, 9, 3.3 และ 5.7 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับชววิทย์ และคณะ (2543) และ Vojoudi *et al.* (2012) ที่พบว่าสารคลอร์ไพริฟอสมีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมในการควบคุมแมลงศัตรูในโรงเก็บรวมทั้งมอดข้าวเปลือก (ภาพที่ 3)

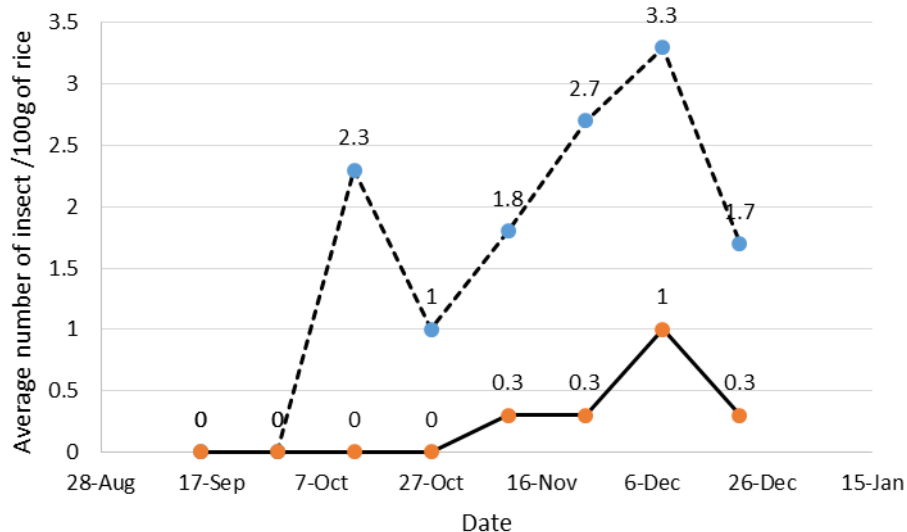


Figure 3. The change of average number of *Rhyzopertha dominica* (F.) per 100 g of rice determined from chlorpyrifos treated rice (bold line) compared to non-treated rice (dot line) in rice seed storehouse during September-December 2016

สรุป

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงประชากรของมอดข้าวเปลือกด้วยกับดักแสงไฟ เปรียบเทียบกับการตรวจนับโดยตรง ดำเนินการกับเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เก็บรักษาในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ของศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าว นครสวรรค์ พบว่าการใช้กับดักแสงไฟสามารถให้ผลการติดตามและประเมินประชากรของมอดข้าวเปลือกได้ชัดเจน สะดวก รวดเร็วกว่าการตรวจนับโดยตรง ประชากรของมอดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและขึ้นสูงสุดในสัปดาห์ที่ 10 และ 16 หลังจากนำเมล็ดพันธุ์เข้าเก็บในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ และพบว่าปัจจัยกายภาพคืออุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับประชากรของมอดข้าวเปลือกสูงร้อยละ 79.4 ในรูปแบบเชิงบวกตั้งแต่ระดับอุณหภูมิที่ 25 °C จนถึงระดับอุณหภูมิที่ 31 °C การคลุกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสารคลอร์ไพริฟอส 40% EC อัตรา 6 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร จำนวน 5 ลิตร ใช้คลุกเมล็ดพันธุ์ข้าว 1 ตัน สามารถควบคุมมอดข้าวเปลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพร้อยละ 100 นาน 6 สัปดาห์ และคงศักยภาพได้ยาวนานถึง 14 สัปดาห์ แตกต่างจากไม่คลุกสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าว นครสวรรค์ และศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคเหนือตอนล่าง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับใช้ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ชูวิทย์ สุขปรากร กุสุมา นวลจันทร์ พินิจ นิลพานิชย์ พรทิพย์ วิสารทนนท์ บุษรา จันทรแก้วมณี ใจทิพย์ อุไรชื่น และ รังสิมา เก่งการพานิช. 2543. แมลงศัตรูผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. ห้างหุ้นส่วนจำกัด พันธุ์ พบบลิซซิง, กรุงเทพฯ.
- สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี. 2555. กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : ข้าว ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551 (16 พฤศจิกายน 2555). ราชกิจจานุเบกษา ฉบับ

- ประกาศและงานทั่วไป. 129 (ตอนพิเศษ 173ง). หน้า 1-34.
- Arthur, F.H. and B. Subramanyam. 2012. Chemical control in stored products. pp. 95-100. *In*: D.W. Hagstrum, T.W. Phillips and G. Cuperus (eds.). *Stored Product Protection*. Kansas State University, Manhattan, KS.
- Arthur, F.H., G.O. Ondier and T.J. Siebenmorgen. 2012. Impact of *Rhyzopertha dominica* (F.) on quality parameters of milled rice. *Journal of Stored Products Research* 48: 137-142.
- Astuti, L.P., G. Mudjiono, S. Rasminah and B.T. Rahardjo. 2013. Influence of temperature and humidity on the population growth of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera, Bostrichidae) on milled rice. *Journal of Entomology* 10(2): 86-94.
- Bashir, T. 2000. Pheromone communication and host-finding behaviour of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera, Bostrichidae), Ph.D. Thesis. University of Greenwich, London.
- Beckett, S.J., P.G. Fields and B. Subramanyam. 2007. Disinfestation of stored products and associated structures using heat. pp. 182-237. *In*: J. Tang, E. Mitcham, S. Wang and S. Lurie (eds.). *Heat Treatments for Post harvest Pest Control. Theory and Practice*. CABI, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Ching'Oma, G.P. 2006. Spatial distribution and movement of the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.). Ph.D. Dissertation. Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Dosland, O., B. Subramanyam, K. Sheppard and R. Mahroof. 2006. Temperature modification for insect control. pp. 89-103. *In*: J. W. Heaps (ed.). *Insect Management for Food Storage and Processing*. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists International, St. Paul, MN.
- Edde, P.A. 2012. Corrigendum to "A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer". *Journal of Stored Products Research* 48: 1-18.
- Fields, P.G. 1992. The control of stored product insect and mites with extreme temperatures. *Journal of Stored Products Research* 28: 89-118.
- Fields, P.G., J. Van Loon, M.G. Dolinski, J.L. Harris and W.E. Burkholder. 1993. The distribution of *Rhyzopertha dominica* (F.) in western Canada. *The Canadian Entomologist* 125(2): 317-328.
- Hagstrum, D. and P. Flinn. 1992. Integrated pest management of stored-grain insects. pp. 535-562. *In*: D.B. Sauer (ed.). *Storage of Cereal Grains and Their Products*. Saint Paul, MN.
- Haines, C.P. 1995. Grain storage in the tropics. pp. 55-100. *In*: D.S. Jayas, N.D. White and W.E. Muir (eds.). *Stored Grain Ecosystems*. Marcel Dekker, New York.
- Hertlein, M.B., G.D. Thompson, B. Subramanyam and C.G. Athanassiou. 2011. Spinosad, a new natural product for stored grain protection. *Journal of Stored Products Research* 47(3): 131-146.
- Intachat, J. and I.P. Woiwod. 1999. Trap design for monitoring moth biodiversity in tropical rainforests. *Bulletin of Entomological Research* 89(2): 153-163.
- Jia, F., M.D. Toews, J.F. Campbell and S.B. Ramaswamy. 2008. Survival and reproduction of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera:

- Bostrichidae) on flora associated with native habitats in Kansas. *Journal of Stored Products Research* 44(4): 366-372.
- Lazzari, S.M.N. and F.A. Lazzari. 2012. Insect pests in stored grain. pp. 417-448. *In*: A.R. Panizzi and J.R.P. Parra (ed.). *Insect Bioecology and Nutrition for Integrated Pest Management*. Taylor & Francis, Boca Raton, FL.
- Mason, L.J. 2003. Lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* (Fab.). Cooperative Extension Service, Purdue University, West Lafayette, IN.
- Nadeem, S., M. Hamed and M. Shafique. 2011. Feeding preference and developmental period of some storage insect species in rice products. *Pakistan Journal of Zoology* 43(1): 79-83.
- Park, S.H., F.H. Arthur, S.R. Bean and T.J. Schober. 2008. Impact of differing population levels of *Rhyzopertha dominica* (F.) on milling and physicochemical properties of sorghum kernel and flour. *Journal of Stored Products Research* 44(4): 322-327.
- Phillips, T.W. and J.E. Throne. 2010. Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annual Review of Entomology* 55: 375-397.
- Phillips, T.W., P.M. Cogan and H.Y. Fadamiro. 2000. Pheromones. pp. 273-302. *In*: B. Subramanyam and D.W. Hagstrum (eds.). *Alternatives to pesticides in stored-product IPM*. Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts.
- Potter, C. 1935. The biology and distribution of *Rhyzopertha dominica* (Fab.). *Ecological Entomology* 83(4): 449-482.
- Toews, M.D. and C. Nansen. 2012. Trapping and Interpreting Captures of Stored Grain Insects. pp. 243-261. *In*: D. W. Hagstrum, T. W. Phillips and G. Cuperus (eds.). *Stored Product Protection*. Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Vardeman, E.A., F.H. Arthur, J.R. Nechols and J.F. Campbell. 2007. Efficacy of surface applications with diatomaceous earth to control *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera, Bostrichidae) in stored wheat. *Journal of Stored Products Research* 43: 335-341.
- Vojoudi, S., M. Saber, V. Mahdavi, H. Golshan and Z. Abedi. 2012. Efficacy of some insecticides against red flour beetle, *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) adults exposed on glass, ceramic tile, plastic and paper disc surfaces. *Journal of Life Sciences* 6: 405-410.
- White, E.G. 1989. Light trapping frequency and data analysis - a reply. *New Zealand Entomology* 12: 91-94.
-

ผลของการใช้สารเคลือบบางชนิดกับดักแด้ไหมต่อพัฒนาการและคุณภาพของ เห็ดถั่งห่านทอง *Cordyceps militaris* (L.) Link

Effects of Some Silkworm Pupa Coating Substances on Development and Quality of Gold Cordyceps, *Cordyceps militaris* (L.) Link

กิตติมา จินจรรยา¹ จิราพร กุลสาริน^{1*} ธัญญา ทะพิงค์แก² และ ไสว บุรณพานิชพันธุ์¹
Kittima Jeenjanya¹, Jiraporn Kulsarin^{1*}, Tanya Tapingkae² and Sawai Buranapanichpan¹

¹ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²ภาควิชาเทคโนโลยีและพัฒนากาเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50300

²Department of Technology and Development in Agriculture, Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50300, Thailand

*Corresponding author: Email: j.tayuti@gmail.com

(Received: 11 November 2018; Accepted: 25 January 2019)

Abstract: Tibetan cordyceps, *Cordyceps sinensis* is an entomopathogenic fungus, which produces only one fruiting body from the tip of caterpillar. This characteristic is interesting to consumers. Therefore, us culture technique has been adapted to culture gold cordyceps, *Cordyceps militaris* (L.) Link, applying various coating substances to produce only one *C. militaris* fruiting body on a silkworm (*Bombyx mori* L.) pupa. *C. militaris* spore suspension was injected into the silkworm pupa at the head frontal area. The injected pupa was then coated with paraffin, PTFE and calcium alginate excepting the injection site for allowing the fungus grew through this site. The result revealed that injection of *C. militaris* at 10^6 spores/ml + pupa coated with PTFE + kept in dark condition yielded 99.50% of fruiting body when transferred to culture in light condition. It was obvious that this technique gave the highest growth and infection of the fungus on silkworm pupa. *C. militaris* fruiting body dried at 50 °C for 8 hours showed 948.32 mg/100 g of cordycepin contains by HPLC.

Keywords: *Cordyceps militaris*, silkworm pupa, coating substances, cordycepin

บทคัดย่อ: เห็ดถั่งเช่าทิเบต *Cordyceps sinensis* เป็นเชื้อราที่เจริญเติบโตโดยสร้างก้านดอกเห็ดหนึ่งก้านบนตัวหนอนผีเสื้อ ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นที่น่าสนใจของผู้บริโภค จึงทำการพัฒนาเทคนิคการเพาะเห็ดถั่งเช่าสีทอง *Cordyceps militaris* (L.) Link ด้วยการใช้สารเคลือบชนิดต่าง ๆ เพื่อทำให้เกิดก้านดอกเห็ดถั่งเช่าสีทองหนึ่งก้านบนดักแด้ไหม (*Bombyx mori* L.) โดยทำการฉีดเชื้อรา *C. militaris* เข้าไปในตัวดักแด้ไหมตรงบริเวณส่วนหัว จากนั้นทำการเคลือบดักแด้ไหมด้วยพาราฟิล์ม, PTFE และแคลเซียมอัลจิเนต ยกเว้นตรงบริเวณที่ทำการฉีดเชื้อราเข้าไป เพื่อเป็นการปิดช่องทางการสร้างเส้นใยโดยควบคุมให้เส้นใยเกิดขึ้นเฉพาะภายในตัวดักแด้ไหม และเจริญออกมาบริเวณที่ไม่ได้เคลือบ จากการฉีดเชื้อรา *C. militaris* ที่ความเข้มข้น 10^6 สปอร์/มิลลิลิตร และเคลือบดักแด้ด้วย PTFE นำไปบ่มในที่มืด เป็นเวลา 14 วัน จากนั้นนำออกมาเลี้ยงในสภาพที่มีแสง พบว่าสามารถเกิดก้านดอกเห็ดได้ 99.50 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการเจริญเติบโตและความสามารถในการเข้าก่อโรคกับดักแด้ไหมสูงที่สุด และจากการวิเคราะห์สารคอร์โดซิปีนของเชื้อรา *C. militaris* ที่ผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง พบสารคอร์โดซิปีนในก้านดอกเห็ดสูงที่สุดที่ 948.32 มิลลิกรัม/100 กรัม

คำสำคัญ: *Cordyceps militaris* ดักแด้ไหม สารเคลือบ คอร์โดซิปีน

คำนำ

เห็ดถั่งเช่าสีทอง *Cordyceps militaris* (L.) Link เป็นเชื้อราก่อโรคกับแมลงที่มีประโยชน์ต่อร่างกายของมนุษย์และยังมีเชื้อราก่อโรคกับแมลงชนิดอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น เชื้อราขาว (*Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin) และ เชื้อราเขียว (*Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin) ที่มีการใช้เพื่อควบคุมแมลงศัตรูหลายชนิดทางการเกษตร (นิชานันท์ และวาสนา, 2561) สำหรับเชื้อรา *C. militaris* เป็นเชื้อราที่พบทั่วไปบนภูเขาในหลายพื้นที่ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคการเพาะเลี้ยงสำหรับการผลิตก้านดอกเห็ด (fruiting body) ของเชื้อรานี้ขึ้นโดยการใช้อัญพิชหรือดักแด้ไหมเป็นวัสดุเพาะ ในประเทศจีนมีการนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเลี้ยงไหม (*Bombyx mori* L.) และหนอนไหมอบแห้งมาเป็นส่วนผสมของอาหารปลุกเชื้อ *Cordyceps* ซึ่งในมณฑล Guangdong และมณฑล Liaoning ของประเทศจีน มีการผลิตเห็ดถั่งเช่าสีทองเป็นหลัก โดยคิดเป็นสัดส่วนมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตทั้งหมด ปัจจุบันมีการผลิตเห็ดถั่งเช่าสีทองประมาณ 8,000 ตันต่อปี คิดเป็นเงินจำนวน 1.5 พันล้านหยวน แนวโน้มจะมีการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตเห็ดถั่งเช่าสีทองเพื่อจะช่วยเหลือยกระดับคุณภาพชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชน โดยเฉพาะด้านการดูแลสุขภาพ

ส่งเสริมการเรียนรู้ให้เข้าใจอย่างลึกซึ้งในด้านการนำเห็ดถั่งเช่าสีทอง มาใช้ในทางการแพทย์ และสนับสนุนงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ทั้งในและต่างประเทศ ในปี ค.ศ. 2017 ที่ผ่านมา ปริมาณการใช้สมุนไพรจากธรรมชาติมีอัตราเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ต่อปี และความต้องการยาสมุนไพรดั้งเดิมของจีน ไม่เพียงแต่เพิ่มขึ้นในประเทศจีนเท่านั้น แต่ยังมีการส่งออกไปยังประเทศแถบยุโรป ตะวันตกอีกด้วย (Cision PR Newswire, 2014) สำหรับประเทศไทยที่มีการปลูกเห็ดถั่งเช่าสีทองจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้ดักแด้ไหมเป็นผลพลอยได้จำนวนมาก จึงมีการศึกษาการเจริญของเชื้อรา *Cordyceps* spp. บนดักแด้ไหมพันธุ์นางลาย×108 โดยการปลูกเชื้อให้กับดักแด้ไหม พบว่าเชื้อสามารถเจริญบนดักแด้ไหมได้ดี (สิริภักดิ์ และวันวิสาข์, 2552) เห็ดถั่งเช่าสีทองมีสารออกฤทธิ์ทางยาคล้ายกับเห็ดถั่งเช่าทิเบต *C. sinensis* เป็นที่รู้จักกันเป็นอย่างดีทางการแพทย์แผนจีน คือช่วยปรับสมดุลของภูมิคุ้มกัน ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง ส่งเสริมการหลั่งของฮอร์โมนต่อมหมวกไต และควบคุมความดันโลหิต แต่เพราะความต้องการเห็ดถั่งเช่าสีทองจากเชื้อรา *C. militaris* ได้เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เห็ดถั่งเช่าสีทองในธรรมชาติมีราคาแพง และปัจจุบันการผลิตเห็ดถั่งเช่าสีทองใช้เวลานาน (Hong et al., 2009) แต่เนื่องจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่เพาะเลี้ยงบนดักแด้ไหมในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการเลียนแบบ

ธรรมชาติ มีลักษณะการสร้างก้านดอกเห็ดบนดักแด้ใหม่ มากกว่าหนึ่งก้านต่อดักแด้ใหม่หนึ่งตัว จึงมีลักษณะแตกต่างจากเห็ดถั่งเจ้าที่เบตในธรรมชาติที่มีก้านดอกเห็ดเพียงหนึ่งก้านต่อแมลงหนึ่งตัว ทำให้ไม่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเท่าที่ควร ดังนั้นการทำให้เชื้อสามารถเจริญออกมาจากตัวแมลงเพียงก้านเดียวในลักษณะเหมือนกับที่พบในถั่งเจ้าที่เบต จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าของเห็ดถั่งเจ้าเชิงอุตสาหกรรมในอนาคตได้ และด้วยปัจจุบันสารเคลือบหลายชนิดมีแนวโน้มสามารถยับยั้งการออกทะลุผ่านของเส้นใยเห็ดถั่งเจ้าได้ แต่เนื่องจากยังมีผลการศึกษาในการใช้กับเห็ดถั่งเจ้าน้อยมาก จึงได้ทำการศึกษาผลของสารเคลือบบางชนิดในการเคลือบดักแด้ใหม่ที่ใช้เพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเจ้าสีทองขึ้น เพื่อควบคุมให้เส้นใยของเห็ดถั่งเจ้าเจริญงอกออกจากตัวดักแด้ใหม่เฉพาะจุดที่ไม่ได้เคลือบสารเท่านั้น ทำให้ได้ลักษณะของเห็ดถั่งเจ้าบนตัวแมลงที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติ และพัฒนาสู่การผลิตเชิงอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมเชื้อรา *Cordyceps militaris*

ทำการเพิ่มปริมาณเชื้อรา *C. militaris* สายพันธุ์ CMRU 1 โดยการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร potato dextrose agar (PDA) นำไปบ่มในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15-20 วัน จะเห็นเส้นใย (mycelium) ของเชื้อรา *C. militaris* สีขาวอมเหลืองฟูขึ้นเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นจึงนำมาเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณในอาหารเหลว Sabouraud dextrose broth (SDB) โดยเทอาหารเหลว SDB ลงในขวดปริมาณ 150 มิลลิลิตรต่อขวด และนำไปนิ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที ทิ้งไว้รอให้เย็น จากนั้นนำเชื้อรา *C. militaris* มาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 5 มิลลิเมตร ใช้เข็มเย็บเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้วจุ่มชิ้นลงในใส่ลงในอาหารเหลว SDB จำนวน 6 ชิ้นต่อขวด ปิดจุกขวดด้วยจุกสำลีหุ้มด้วยกระดาษ จากนั้นนำไปเขย่าในที่มืดด้วยเครื่องเขย่าสารละลาย (rotary shaker) ที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์

ที่อุณหภูมิ 17-22 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาเพาะเลี้ยงลงดักแด้ใหม่

2. การศึกษาการขึ้นดักแด้ใหม่ด้วยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเจ้าสีทอง

ศึกษาการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเจ้าสีทองบนดักแด้ใหม่ *B. mori* พันธุ์ J108 x นางลายสระบุรี โดยใช้การเคลือบทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ 1) พาราฟิล์ม (parafilm) 2) polytetrafluoroethylene (PTFE) และ 3) แคลเซียมอัลจิเนต ($C_{18}H_{24}CaO_{19}$) เปรียบเทียบกับ 4) การไม่มีสารเคลือบใด ๆ บนดักแด้ใหม่ โดยทำการเพาะเลี้ยงเชื้อรา *C. militaris* บนดักแด้ใหม่โดยใช้เข็มฉีดยา ขนาด 1 มิลลิลิตร ฉีดเชื้อรา *C. militaris* ที่มีความเข้มข้น 1×10^6 สปอร์/มิลลิลิตร ฉีดเข้าใต้ผิวหนังของดักแด้ใหม่ตรงบริเวณส่วนหัวซึ่งเรียกว่า frontal area จากนั้นแยกดักแด้ใหม่ที่ฉีดเชื้อใส่กล่องเพาะเลี้ยงปิดฝาให้สนิทนำไปบ่มไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-90 เปอร์เซ็นต์ ในที่มืด เมื่อเชื้อราเจริญเติบโตเต็มที่ภายในตัวดักแด้ใหม่ นำออกมาเคลือบด้วยพาราฟิล์ม และ PTFE ยกเว้นบริเวณส่วนหัวของดักแด้ใหม่ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ฉีดเชื้อเข้าไป ในส่วนของการเคลือบด้วยแคลเซียมอัลจิเนต ต้องทำการฉีดดักแด้ก่อนจากนั้นเคลือบด้วยแคลเซียมอัลจิเนต ในอัตราส่วนผสมของสารโซเดียมอัลจิเนต 2 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ผสมกับ แคลเซียม คลอไรด์ 5 เปอร์เซ็นต์ (w/v) (Remawi, 2012) และดักแด้ใหม่ที่ไม่ผ่านการเคลือบเป็นชุดควบคุม แยกดักแด้ใหม่ที่ฉีดเชื้อใส่กล่องเพาะเลี้ยงปิดฝาให้สนิทนำไปบ่มไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-90 เปอร์เซ็นต์ บ่มในที่มืดที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 การบ่มในที่มืด 7 วัน ชุดการทดลองที่ 2 การบ่มในที่มืด 10 และชุดการทดลองที่ 3 การบ่มในที่มืดตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 14 วัน เมื่อเกิดเป็นเส้นใย จึงนำออกมาไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่มีแสงสว่างจากหลอดไฟ ซึ่งมีความเข้มแสง 100-1000 ลักซ์ (Hong et al., 2010) เพื่อให้เกิดการสร้างก้านดอกเห็ด (fruiting body) จากนั้นทำการบันทึกผลการเจริญเติบโตของเชื้อรา *C. militaris* การผลิตก้านดอกเห็ด

อัตราการติดเชื้อ อัตราการเกิดก้านดอกเห็ด ความยาวของก้านดอกเห็ด และจำนวนก้านดอกเห็ดต่อดักแด่หนึ่งตัว

3. การศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบเห็ดถึงเจ้าสีทองบนดักแด่ไหมที่เคลือบด้วยสารเคลือบชนิดต่างๆ และบ่มเชื้อในเวลาที่แตกต่างกันต่อปริมาณสารคอร์ไดซิปีน

ทำการอบเห็ดถึงเจ้าสีทองที่เพาะเลี้ยงบนดักแด่ไหมในตู้อบลมร้อน (hot air oven) วัดน้ำหนักก่อนอบ หลังอบ เปรียบเทียบน้ำหนักที่หายไป จากนั้นวิเคราะห์หาสารคอร์ไดซิปีน โดยใช้เครื่อง HPLC5-UV VIS Detector (Shimadzu SPD-10A) (high performance liquid chromatography) ตามวิธีการของ Huang *et al.* (2009) และวางแผนแบบ 2x4x3 factorial experiment in CRD จำนวน 4 ซ้ำ 3 ปัจจัย ประกอบด้วย ปัจจัยที่ 1) อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบถึงเจ้าสีทองบนดักแด่ไหม 2 ระดับคือ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปัจจัยที่ 2) สารชนิดต่างๆ ที่ใช้เคลือบดักแด่ไหม และไม่เคลือบรวม 4 แบบ และปัจจัยที่ 3) ระยะเวลาในการบ่มเชื้อ *C. militaris* ในที่มีด 3 ระยะ เป็นเวลา 7, 10 และ 14 วัน นำข้อมูลเปรียบเทียบผลทางสถิติ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเตรียมเชื้อรา *C. militaris*

จากการเพาะเลี้ยงเชื้อรา *C. militaris* สายพันธุ์ CMRU1 บนอาหารวุ้นสูตร PDA หลังเพาะเลี้ยงเชื้อรา 7-14 วัน จะเห็นเส้นใยสีขาวเกิดขึ้น จากนั้นเส้นใยขยายวงกว้างขึ้นเรื่อยๆ จนเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อ และเริ่ม

เปลี่ยนสีเป็นสีขาวอมเหลือง ซึ่งใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตจนเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อโดยประมาณ 21 วัน จึงนำไปเพาะเลี้ยงต่อในอาหารเหลว SDB เพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อรา พบว่าในสัปดาห์แรก มีเส้นใยสีขาวเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของอาหารเหลว เมื่อผ่านไป 3 สัปดาห์อาหารเหลวเริ่มข้นขึ้น เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จึงสามารถนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงลงบนดักแด่ไหมได้

2. การศึกษาการเคลือบดักแด่ไหมด้วยสารชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถึงเจ้าสีทอง

จากการเคลือบด้วยพาราฟิล์ม, PTFE และแคลเซียมอัลจิเนต เพื่อทดสอบการเจริญเติบโตของเชื้อรา *C. militaris* บนดักแด่ไหม พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 การบ่มในที่มีด 7 วัน จึงนำออกมาให้แสงสว่าง (ภาพที่ 1) ในทุกกรรมวิธีมีการเจริญเติบโตและสามารถเข้าก่อดักแด่ไหมได้ 100 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีที่มีการเคลือบดักแด่ด้วยพาราฟิล์ม และแคลเซียมอัลจิเนต ไม่สามารถเกิดก้านดอกเห็ดได้ ส่วนกรรมวิธีที่มีการเคลือบดักแด่ด้วย PTFE และชุดควบคุมที่ไม่มีการเคลือบดักแด่ไหม สามารถเกิดก้านดอกเห็ดได้ 98.50 เปอร์เซ็นต์ โดยการเคลือบดักแด่ด้วย PTFE มีจำนวนก้านดอกเห็ด 1 ก้านต่อดักแด่หนึ่งตัว และความยาวเฉลี่ยของก้านดอกเห็ด 1.03 เซนติเมตร ส่วนชุดควบคุมที่ไม่มีการเคลือบดักแด่ไหม มีจำนวนก้านดอกเห็ด 2.00 ก้านต่อดักแด่หนึ่งตัว ความยาวเฉลี่ยของก้านดอกเห็ด 1.49 เซนติเมตร (ตารางที่ 1)

ในชุดการทดลองที่ 2 บ่มในที่มีด 10 วัน จึงนำออกมาให้แสง (ภาพที่ 2) ในทุกกรรมวิธีมีการเจริญเติบโตและสามารถเข้าก่อดักแด่ไหมได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกรรมวิธีที่มีการเคลือบดักแด่ไหมด้วยพาราฟิล์ม



Figure 1. Characteristics of injected silkworm pupae after coating with different substances for 7 days in dark and then light conditions: parafilm (a), PTFE (b), $C_{18}H_{24}CaO_{19}$ (c) and control (d)

Table 1. Infection and fruiting body formation percentage of *Cordyceps militaris* cultured on silkworm pupae coating with different substances after 7 days

Coating substance	Infection rate (%)	Fruiting body formation (%)	No. of fruiting body/pupa	Length of fruiting body (cm)
Parafilm	100	0.00	0.00	0.00
PTFE	100	98.50	1.00	1.03
C ₁₈ H ₂₄ CaO ₁₉	100	0.00	0.00	0.00
Control	100	98.50	2.00	1.49

และแคลเซียมอัลจิเนต ไม่สามารถเกิดก้านดอกเห็ดได้ ในขณะที่การเคลือบดักแด้ใหม่ด้วย PTFE สามารถเกิดก้านดอกเห็ดได้ 100 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนก้านดอกเห็ด 1 ก้านต่อดักแด้หนึ่งตัว และความยาวเฉลี่ยของก้านดอกเห็ดคือ 0.95 เซนติเมตร ส่วนชุดควบคุมของการเคลือบดักแด้แต่ละชนิดสามารถเกิดก้านดอกเห็ดได้ 97.50 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนก้านดอกเห็ด 2.00 ก้านต่อดักแด้หนึ่งตัว ความยาวเฉลี่ยของก้านดอกเห็ด 1.19 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ในชุดการทดลองที่ 3 บ่มในที่มืด 14 วัน จึงนำออกมาให้แสง ในทุกกรรมวิธีมีการเจริญเติบโตและสามารถเข้าก่อโรคกับดักแด้ใหม่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เปอร์เซ็นต์การเกิดก้านดอกเห็ดของกรรมวิธีที่มีการเคลือบดักแด้ด้วยพาราฟิล์ม และแคลเซียมอัลจิเนต ไม่เกิดก้านดอกเห็ด ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการเคลือบดักแด้ใหม่ด้วย PTFE สามารถเกิดก้านดอกเห็ดได้ 99.50 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนก้านดอกเห็ด 1 ก้านต่อดักแด้ใหม่หนึ่งตัว ความยาวเฉลี่ยของก้านดอกเห็ด 1.30 เซนติเมตร (ภาพที่ 3) และชุดควบคุมของการเคลือบดักแด้แต่ละชนิดสามารถเกิดก้านดอกเห็ดได้ 97.00 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนก้านดอกเห็ด 2 ก้านต่อดักแด้หนึ่งตัว ความยาวเฉลี่ยของก้านดอกเห็ด 0.94 เซนติเมตร (ตารางที่ 3)

ดังนั้นจากผลการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง กรรมวิธีที่มีการเคลือบดักแด้ใหม่ด้วยพาราฟิล์ม และแคลเซียมอัลจิเนต ไม่สามารถเกิดก้านดอกเห็ดได้ เนื่องจากการเคลือบดักแด้ด้วยพาราฟิล์ม และแคลเซียมอัลจิเนต ทำให้ออกซิเจนไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปยังตัวดักแด้ใหม่ได้ จึงมีเพียงเส้นใยคลุ้มตัวดักแด้ใหม่เท่านั้น แต่กรรมวิธีที่มีการเคลือบดักแด้ใหม่ด้วย PTFE

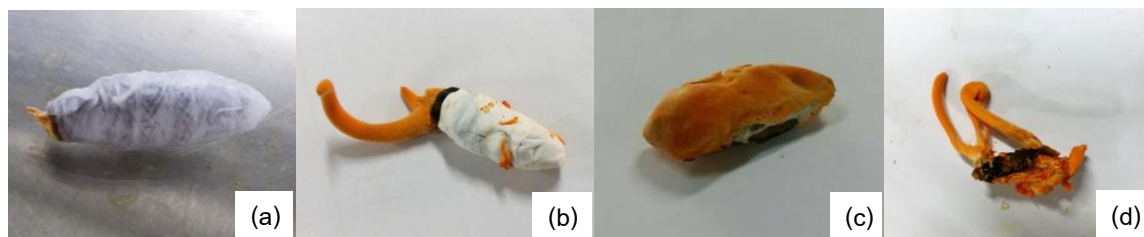
สามารถเกิดก้านดอกเห็ดได้ เนื่องจาก PTFE มีคุณสมบัติในการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดี จึงทำให้ผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 3 ให้ผลดีที่สุดคือ สามารถเกิดก้านดอกเห็ดได้ 99.50 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนก้านดอกเห็ด 1 ก้านต่อดักแด้ใหม่หนึ่งตัว และความยาวเฉลี่ยของก้านดอกเห็ดคือ 1.30 เซนติเมตร ซึ่งความยาวเฉลี่ยของก้านดอกเห็ดในชุดการทดลองนี้มีความยาวมากที่สุด จากการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเคลือบดักแด้ใหม่ด้วย PTFE สามารถบังคับให้เชื้อรา *C. militaris* สร้างก้านดอกเห็ด 1 ก้านต่อดักแด้หนึ่งตัวได้ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการเกิดก้านดอกเห็ดของเชื้อรา *C. sinensis* ที่มีก้านดอกเห็ดเกิดขึ้นบนตัวหนอนเพียงหนึ่งก้านเท่านั้น

3. การศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบเห็ดถั่งเจ้าสีทองบนดักแด้ใหม่ที่เคลือบด้วยสารเคลือบชนิดต่าง ๆ และบ่มเชื้อในเวลาที่ต่างกันต่อปริมาณสารคอร์โดซิปีน

หลังจากทำการอบเห็ดถั่งเจ้าบนดักแด้ใหม่ที่ผ่านการเคลือบด้วยพาราฟิล์ม, PTFE แคลเซียมอัลจิเนต และไม่มีการเคลือบ ที่บ่มไว้ในที่มืด 7, 10 และ 14 วัน โดยใช้ตู้อบความร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาสารคอร์โดซิปีนในก้านดอกเห็ด ด้วยเครื่อง HPLC พบว่าการเคลือบดักแด้ใหม่ด้วยพาราฟิล์ม และแคลเซียมอัลจิเนต ไม่พบสารคอร์โดซิปีนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเคลือบดักแด้ใหม่ด้วย PTFE ที่มีปริมาณสารคอร์โดซิปีนเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการบ่มเชื้อไว้ในที่มืด โดยการบ่มในที่มืด 14 วัน และอบด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา

Table 2. Infection and fruiting body formation percentage of *Cordyceps militaris* cultured on silkworm pupae with different coating substances after 10 days

Coating substance	Infection rate (%)	Fruiting body formation (%)	No. of fruiting body/pupa	Length of fruiting body (cm)
Parafilm	100	0.00	0.00	0.00
PTFE	100	100	1.00	0.95
C ₁₈ H ₂₄ CaO ₁₉	100	0.00	0.00	0.00
Control	100	97.50	2.00	1.19

Figure 3. Characteristics of injected silkworm pupa after coating with different substances for 14 days dark and then light conditions: parafilm (a), PTFE (b), C₁₈H₂₄CaO₁₉ (c) and control (d)Table 3. Infection and fruiting body formation percentage of *Cordyceps militaris* cultured on silkworm pupae with different coating substances after 14 days

Coating substance	Infection rate (%)	Fruiting body formation (%)	No. of fruiting body/pupa	Length of fruiting body (cm)
Parafilm	100	0.00	0.00	0.00
PTFE	100	99.50	1.00	1.30
C ₁₈ H ₂₄ CaO ₁₉	100	0.00	0.00	0.00
Control	100	97.00	2.00	0.94

8 ชั่วโมง พบปริมาณสารคอร์ไดซิปีนในก้านดอกเห็ดสูงสุด คือ 948.32 มิลลิกรัม/100 กรัม (ตารางที่ 4) ซึ่งการบ่มเชื้อไว้ในที่มีดักกล่าวไม่ส่งผลต่อน้ำหนักของก้านดอกเห็ด และดักแด่ใหม่ และให้ปริมาณสารคอร์ไดซิปีนมากกว่า การศึกษาของ กนกวรรณ และคณะ (2559) ที่รายงานว่า การฉีดเชื้อ CMRU1 (*C. militaris*) บนดักแด่ใหม่พันธุ์นางลาย และบ่มไว้ในที่มีดัก 7 วัน พบสารคอร์ไดซิปีนในก้านดอกเห็ดปริมาณ 130.34 มิลลิกรัม/100 กรัม

ดังนั้นการใช้ PTFE สามารถนำมาใช้เคลือบดักแด่ใหม่เพื่อชักนำให้เชื้อรา *C. militaris* สร้างก้านดอกเห็ด 1 ก้านต่อดักแด่ใหม่หนึ่งตัวได้ และจากการศึกษาของ Xu *et al.* (2003) พบว่า PTFE มีคุณสมบัติในการซึมผ่าน

ของออกซิเจน ซึ่งออกซิเจนเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา แต่การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์พบว่า การบ่มเชื้อรา *C. militaris* ไว้ในที่มีดักในช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณของสาร cordycepin ในก้านดอกเห็ด ที่มีปริมาณสารคอร์ไดซิปีนเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการบ่มเชื้อไว้ในที่มีดักกล่าวคือยิ่งบ่มเชื้อไว้ในที่มีดักนาน สารคอร์ไดซิปีนจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ในส่วนของการอบแห้งถึงเข้าสู่ท้อง การใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารคอร์ไดซิปีน มากกว่าการอบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Table 4. Content of cordycepin in fruiting body of *Cordyceps militaris* cultured on silkworm pupae with different coating substances incubate in dark conditions for 7, 10 and 14 days

Coating substance	Content of Cordycepin (mg/100g)					
	50 °C for 8 hrs			60 °C for 4 hrs		
	7 days	10 days	14 days	7 days	10 days	14 days
Parafilm	0.00 k ¹	0.00 k	0.00 k	0.00 k	0.00 k	0.00 k
PTFE	204.86 i	495.58 f	948.32 a	313.60 h	613.53 c	694.96 b
C ₁₈ H ₂₄ CaO ₁₉	0.00 k	0.00 k	0.00 k	0.00 k	0.00 k	0.00 k
Control	145.23 j	310.29 h	358.57 g	257.63 g	568.59 d	546.26 e

¹ Means within the same column and row followed by the same letter are not significantly different 95% level by LSD

สรุป

การใช้สารเคลือบ PTFE บนตัวดักแด้ใหม่สามารถบังคับให้เชื้อรา *C. militaris* ที่ความเข้มข้น 10⁶ สปอร์/มิลลิลิตร เจริญเติบโต และเข้าก่อโรคกับดักแด้ใหม่ได้สูงที่สุด ซึ่งการบ่มในที่มืดตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 14 วัน จึงนำออกมาให้แสง สามารถสร้างก้านดอกเห็ดได้ 99.50 เปอร์เซ็นต์ และมีก้านดอกเห็ด 1 ก้านต่อดักแด้ใหม่หนึ่งตัวเหมือนกับเห็ดถั่งเช่าทิเบต (*C. sinensis*) โดยมีความยาวของก้านดอกเห็ด เท่ากับ 1.30 เซนติเมตร ซึ่งเมื่ออบก้านดอกเห็ดด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง พบสารคอร์ไดซิปีน 948.32 มิลลิกรัม/100 กรัม และพบว่าการบ่มเชื้อรา *C. militaris* หลังจากฉีดเชื้อไว้ที่มี 7, 10 และ 14 วัน มีผลต่อปริมาณของสารออกฤทธิ์ โดยจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการบ่มเชื้อไว้ที่มี แต่การเคลือบด้วยพาราฟิล์ม และแคลเซียมอัลจิเนต ไม่สามารถทำให้เชื้อราสร้างก้านดอกเห็ดได้ ในขณะที่การไม่เคลือบดักแด้ใหม่ด้วยสารใดๆ เชื้อรายังคงสร้างก้านดอกเห็ด 2 ก้านต่อดักแด้ใหม่หนึ่งตัว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ เชียงใหม่ กรมหม่อนไหม กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนดักแด้ใหม่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ัญญา ทะพิงค์แก มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเชื้อรา

Cordyceps militaris (CMRU1) ในการทำงานวิจัย และทุนสนับสนุนงานวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ ลือดารา จิราพร กุลสาริน ไสว บุรณพานิชพันธุ์ และ ัญญา ทะพิงค์แก. 2559. การเจริญของเห็ดถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) บนดักแด้ใหม่ไทยพื้นบ้านพันธุ์นางลายและไหมป่าอีรี่. วารสารเกษตร 32(1): 95-102.
- ณิชาพันธ์ เกินอาษา และ วาสนา หวานชื่น. 2561. ความรุนแรงของเชื้อราขาว *Beauveria bassiana* และเชื้อราเขียว *Metarhizium anisopliae* ในการควบคุมเพลี้ยแป้งมันสำปะหลังสีชมพู *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero และเพลี้ยแป้งน้อยหน้า *Planococcus lilacinus* (Cockerell). วารสารเกษตร 34(3): 461-467.
- สิริภค สุระพร และ วันวิสาข์ ศิริวัฒนเมธานนท์. 2552. การเจริญของเชื้อรา *Cordyceps* spp. บนดักแด้ใหม่พันธุ์นางลาย × 108. วิทยาศาสตร์กำแพงแสน 7(1): 1-9.
- Cision PR Newswire. 2014. Research and investment prospect of China *Cordyceps militaris* market, 2013-2017. (Online) . Available: <https://www.prnewswire.com/news-releases/research-and-investment-prospect-of->

- china-cordyceps-militaris-market-2013-2017-255150541.html (October 30, 2017).
- Hiroki, S. and S. Mitsuaki. 2002. Stromata production for *Cordyceps militaris* (Clavicipitales: Clavicipitaceae) by injection of hyphal bodies to alternative host insects. Applied Entomology and Zoology 37(1): 85-92.
- Hong, I.P., S.H. Nam, G.B. Sung, K.G. Lee, S.M. Cho, S.J. Seok, H. Hur, M.W. Lee and S.X. Guo. 2009. Chemical composition of main *Cordyceps* species in Korea. International Journal of Industrial Entomology 18(1): 13-17.
- Hong, I.P., P.D. Kang, K.Y. Kim, S.H. Nam, M.Y. Lee, Y.S. Choi, N.S. Kim, H.K. Kim, K.G. Lee and R.A. Humber. 2010. Fruit body formation on silkworm by *Cordyceps militaris*. Mycobiology 38(2): 128-132.
- Huang, L., Q. Li, Y. Chen, X. Wang and X. Zhou. 2009. Determination and analysis of cordycepin and adenosine in the products of *Cordyceps* spp. African Journal of Microbiology Research 3(12): 957-961.
- Remawi, M.A. 2012. Sucrose as a crosslinking modifier for the preparation of calcium alginate films via external gelation. Journal of Applied Sciences 12(8): 727-735.
- Xu, H., Z. Hu, S. Wu and Y. Chen. 2003. Surface modification of polytetrafluoroethylene by microwave plasma treatment of H₂O/Ar mixture at low pressure. Materials Chemistry and Physics 80(1): 278-282.
-

การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ

Biogas Production by Co-digestion of Swiftlet Faeces with Aquatic Plants

โชติรัตน์ ศรีเกลื่อน¹ ปณัตตา จะแจ้ง¹ ชัยสิทธิ์ ทองจู² จำเนียร ชมภู³ และ วนิดา สืบสายพรหม^{4*}

Chotirat Srikluan¹, Panutda Jhajang¹, Chaisit Thongjoo², Jamnian Chompoo³
and Wanida Suebsaiprom^{4*}

¹สาขาวิจัยและพัฒนาการเกษตร คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

¹Research and Development Agriculture Program, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,
Nakhon Pathom 73140, Thailand

²ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

²Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140, Thailand

³ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

³Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140, Thailand

⁴ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

⁴Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140, Thailand

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

(Received: 13 July 2018; Accepted: 25 October 2018)

Abstract: The study aimed to improve the efficiency of biogas production by co-digestion of swiftlet faeces and aquatic plants with or without seed from poultry waste, by using 3x2 factorial in CRD with 5 replications. The experiment contained 2 factors: the first factor was co-digestion of swiftlet faeces and aquatic plants (azolla and water hyacinth) comparing it without aquatic plants (control). The seed from poultry waste was added and not added with co-digestion system was secondary factor. This study was consisted 6 treatments including digestion of swiftlet faeces and without seed from poultry waste (T1), co-digestion of swiftlet faeces and azolla without seed from poultry waste (T2), co-digestion of swiftlet faeces and water hyacinth without seed from poultry waste (T3), digestion of swiftlet faeces and with seed from poultry waste (T4), co-digestion of swiftlet faeces and azolla with seed from poultry waste (T5) and co-digestion of swiftlet faeces and water hyacinth with seed from poultry waste (T6). The biogas content was recorded daily for calculation of accumulated biogas in the system. After 40 days start-up running, CH₄ and CO₂ yields were analyzed. Moreover, pH value was measured and the removal efficiency of BOD, COD, TS and TVS were investigated in influent and effluent. The results showed that co-digestion of swiftlet faeces with water hyacinth and added seed from chicken manure are the factors to significantly increase the amount of biogas and methane content ($P<0.05$). For interaction effect of treatment, T3, T5, and T6 can increase the efficiency in biogas production. Their biogas products were 61.00, 62.40 and 75.60 mL/30 ml (initial volume), respectively. Moreover, T6 was the highest yield of methane at 67.87%. In case of removal of organic matter in the system, we found that T6 had the maximum

BOD removal efficiency at 88.16%. Whereas, T4, T5 and T6 showed high removal efficiency of COD at 90.17, 81.59 and 88.16%, respectively. The removal efficiency of TS and TVS, T2 was the highest removal rate at 81.44 and 82.79 %, respectively, with significant different comparing with the others ($P < 0.05$). Therefore, biogas production by co-digestion of swiftlet faeces with aquatic plants is another alternative for the management of waste from swiftlet houses in order to reduce the amount of waste and toxic gas buildup in bird houses. Moreover, it does not affect the swiftlets, entrepreneurs, consumers and the surrounding environment.

Keywords: Biogas, co-digestion, swiftlet faeces, water hyacinth azolla

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ ด้วยการใช้การเติมและไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ โดยวางแผนการทดลองแบบ 3x2 factorial in CRD ทำการทดลอง 5 ซ้ำ สิ่งทดลองมี 2 ปัจจัย ประกอบด้วย ปัจจัยที่ 1 คือ การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ ได้แก่ แหนแดง และผักตบชวา เปรียบเทียบกับการไม่ใส่พืชน้ำ (ชุดควบคุม) และปัจจัยที่ 2 คือ การเติมและไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ แบ่งออกเป็น 6 กลุ่มทดลอง ได้แก่ การหมักย่อยมูลนกแอ่นกินรัง โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (T1) การหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับแหนแดง โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (T2) การหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (T3) การหมักย่อยมูลนกแอ่นกินรัง ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (T4) การหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับแหนแดง ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (T5) และการหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (T6) บันทึกข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันเพื่อคำนวณหาปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมในระบบ วิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 40 วันหลังจากเริ่มระบบ นอกจากนี้วัดค่า เพื่อวัดค่าความเป็นกรดต่าง และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัด BOD, COD, TS และ TVS ในตัวอย่างน้ำก่อนเข้าและหลังออกจากระบบหมัก พบว่า ปัจจัยด้านการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา และปัจจัยด้านการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ทำให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพและปริมาณก๊าซมีเทนสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อพิจารณารายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยร่วมของ T3, T5 และ T6 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี ทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ เท่ากับ 61.00, 62.40 และ 75.60 มิลลิลิตรต่อปริมาตรเริ่มต้น 30 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการหมักย่อยร่วมของ T6 ทำให้ผลผลิตก๊าซมีเทนมากที่สุด เท่ากับ 67.87% สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด BOD สูงสุดใน T6 เท่ากับ 88.16% ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงสุดใน T4, T5 และ T6 เท่ากับ 90.17, 81.59 และ 88.16% ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัด TS และ TVS สูงสุดใน T2 เท่ากับ 81.44 และ 82.79% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับทุกกลุ่มทดลอง ดังนั้นการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการจัดการของเสียที่เกิดจากบ้านนกแอ่นกินรัง เพื่อลดปริมาณของเสียและการสะสมก๊าซพิษภายในบ้านนก อีกทั้งไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อตัวนกแอ่นกินรัง ผู้ประกอบการ ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อมรอบข้าง

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ การหมักย่อยร่วม ผักตบชวา มูลนกแอ่นกินรัง แหนแดง

คำนำ

จากงานวิจัยที่รายงานว่ารังนกแอ่นกินรังมีสรรพคุณช่วยเสริมสร้างสุขภาพ บรรเทาอาการหอบหืด ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน และบำรุงผิวพรรณ (นันทประภา, 2556; Norhayati *et al.*, 2010) ทำให้รังนกแอ่นกินรังเป็นสินค้าราคาแพงและมีผลประโยชน์อย่างสูง ในระหว่างปี พ.ศ.2550 ถึง 2555 ประเทศไทยมีการส่งออกรังนกแอ่นกินรัง ปริมาณ 14,075 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 15,737,174 บาท (กระทรวงพาณิชย์, 2556) เป็นผลให้การเก็บรังนกแอ่นกินรังตามธรรมชาติไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด จึงมีผู้สนใจทำธุรกิจบ้านนกแอ่นกินรังมากขึ้น โดยการสร้างบ้านหรืออาคารเลียนแบบที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของนกแอ่นกินรัง (swiftlet) ซึ่งบ้านนกแอ่นกินรังในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่เรียบชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะทางภาคใต้ โดยที่การสะสมของของเสียภายในบ้านนก เช่น มูลของนกแอ่นกินรัง (swiftlet faeces) จึงเป็นปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลต่อสุขภาพของผู้เลี้ยง ชุมชนรอบข้าง ตลอดจนคุณภาพของผลิตภัณฑ์รังนกที่ได้ (โชติรัตน์ และวนิดา, 2560) ดังนั้น การจัดการของเสียจึงเป็นส่วนหนึ่งในมาตรฐานการปฏิบัติที่ดีทางปศุสัตว์ มีผลต่อมูลค่าของผลิตภัณฑ์รังนก และโอกาสในการยกระดับเป็นสินค้าส่งออก วิธีการจัดการของเสียที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็น และสามารถช่วยลดปริมาณของเสียในบ้านนก รวมทั้งลดต้นทุนการผลิตรังนกและเพิ่มมูลค่ารังนกได้ วิธีการบำบัดของเสียแบบไร้ออกซิเจนหรือการผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) ซึ่งเป็นกระบวนการหมักย่อยสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic digestion) จัดเป็นวิธีการบำบัดของเสียที่สมบูรณ์แบบและเป็นมาตรการในการรักษาสภาพแวดล้อมที่ให้ผลดีที่สุด (นิรันดร์ และคณะ, 2545) โดยขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ การย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ (hydrolysis) การผลิตกรดอินทรีย์ (acidogenesis and acetogenesis) และการผลิตก๊าซมีเทน (methanogenesis) (วนิดา, 2553; Budiyo *et al.*, 2014) ได้เป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 45-65% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 35-45% ไนโตรเจน

(N_2) 0-3% ไฮโดรเจน (H_2) 0-1% และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 0-1% (Ogiehor and Ovueni, 2014) สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปหรือที่เรียกว่าการหมักย่อยร่วม (co-digestion) เป็นกระบวนการหมักย่อยร่วมระหว่างวัตถุดิบหลักซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกมูลสัตว์ และวัตถุดิบรองเป็นพวกที่มีเส้นใยในปริมาณสูง อาทิเช่น แหนแดง (azolla) ผักตบชวา (water hyacinth) ซึ่งจัดเป็นพืชน้ำที่เจริญเติบโตและขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักย่อยร่วม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้ (จำเนียร และคณะ, 2560; สุนัดดา และคณะ, 2558) การทดลองนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดปัญหามลพิษจากของเสียที่เกิดจากบ้านนกแอ่นกินรัง และเป็นแนวทางในการจัดการบ้านนกแอ่นกินรังตามมาตรฐานการปฏิบัติที่ดีสำหรับฟาร์มปศุสัตว์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น

การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น (seed) โดยใช้มูลสดของไก่จากฟาร์มไก่ไข่ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยเริ่มต้นใช้มูลไก่เข้มข้นปริมาณ 100 กรัม เติมน้ำปริมาตร 1 ลิตร ลงในขวดพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท และเติมมูลไก่เข้มข้นทุก ๆ 7 วัน รวมทั้งหมด 5 ครั้ง เป็นระยะเวลา 35 วัน เพิ่มปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพในการทดลอง จะได้หัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด ประมาณ 70%TS

1.2 การเตรียมวัตถุดิบ

การศึกษาผลของการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ 2 ชนิด ได้แก่ แหนแดง และผักตบชวา เปรียบเทียบกับการเติมและไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นจากมูลไก่ ทำการทดลอง 5 ซ้ำ โดยใช้มูลนกแอ่นกินรังจากสมาชิกชมรมนกแอ่นกระบี่ จังหวัดกระบี่ ส่วน

ผักตบชวาและแหนแดง เก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน นำตัวอย่างพืชน้ำจืดมาทำความสะอาดเพื่อเอาตะกอนสิ่งปนเปื้อนออก หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร นำไปใส่รวมกับมูลนกแอ่นกินรังและหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นตามอัตราส่วนของแข็งทั้งหมด (total solid; TS) ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 วิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลางหรือผนังเซลล์ (neutral detergent fiber; NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (acid detergent fiber; ADF) และปริมาณลิกนิน (acid detergent lignin; ADL) ตามวิธีของ Van Soest *et al.* (1991)

2. การดำเนินการระบบ

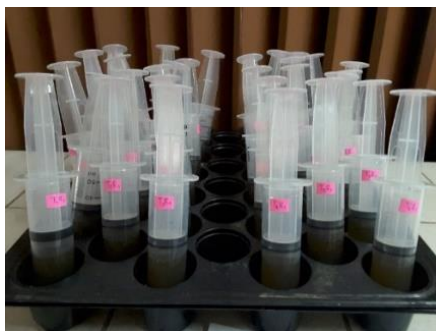
ทำการหมักกลุ่มตัวอย่างทดลองในถังหมักแบบกะ (batch) ดัดแปลงโดยใช้ระบบบ่อขี้ดียวขนาด 60 มิลลิลิตร ปริมาตรการใช้งานจริง 30 มิลลิลิตร ใส่วัตถุดิบตั้งต้นทั้งหมดและใส่อากาศออกจากระบบบ่อขี้ดียว

จนหมด (ไม่ให้มีพื้นที่ว่างในระบบบ่อ) ปิดปลายระบบบ่อด้วยพาราฟิล์มป้องกันอากาศเข้าออก (ภาพที่ 1A) เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพ มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร/วัน ที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจากพื้นที่ว่างภายในระบบบ่อขี้ดียว โดยใช้หลอดสูญญากาศ (venoject tube) เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่ 40 วันหลังจากเริ่มระบบ (ภาพที่ 1B) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเครื่อง gas chromatography (Shimadzu model GC-8A, Japan) นอกจากนี้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบหมัก (ที่ 0 วันหลังจากเริ่มระบบ) และหลังออกจากระบบหมัก (40 วันหลังจากเริ่มระบบ) วัดค่าความเป็นกรดด่างและวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (biochemical oxygen demand; BOD) ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ได้ออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (chemical oxygen demand; COD) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid; TS) และปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (total volatile solid; TVS) ด้วยวิธี standard methods (American Public Health Association, 1998)

Table 1. The ratio of swiftlet faeces, azolla, water hyacinth and seed of each treatment

Treatment	Swiftlet faeces	Azolla	Water hyacinth	Seed ¹
T1	8%TS ²	-	-	-
T2	4%TS	4%TS	-	-
T3	4%TS	-	4%TS	-
T4	8%TS	-	-	10%Vol ³
T5	4%TS	4%TS	-	10%Vol
T6	4%TS	-	4%TS	10%Vol

¹Seed = concentrated microorganism from chicken manure, ²TS = total solid, ³Vol = initial volum



(A)



(B)

Figure 1. Batch digestion system (A) and biogas collection method (B)

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ตามแผนการทดลอง 3x2 factorial in CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$)

ผลการทดลองและวิจารณ์

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบตั้งต้น

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบตั้งต้น ได้แก่ มูลนกแอ่นกินรัง แหนแดง และผักตบชวา (ตารางที่ 2) พบว่า มูลนกแอ่นกินรังมีปริมาณ NDF, ADF และ ADL ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับมูลสุกรที่มีค่า NDF, ADF และ ADL เท่ากับ 44, 14 และ 3%DM ตามลำดับ (Vardon *et al.*, 2011) ในขณะที่แหนแดงมีปริมาณ NDF, ADF และ ADL ใกล้เคียงกับรายงานของ Malik *et al.* (2014) ที่ระบุว่า NDF, ADF และ ADL ของแหนแดง เท่ากับ 36.88-57.06, 36.57-48.91 และ 24.05-27.87%DM ตามลำดับ ส่วนผักตบชวามีปริมาณ NDF, ADF และ ADL ใกล้เคียงกับรายงานของ Alalade and Iyayi (2006) ที่อ้างว่า NDF, ADF และ ADL เท่ากับ 63.54-68.97, 33.85-37.46 และ 12.86-15.31%DM ตามลำดับ

ผลผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นในระบบ (accumulate gas) (ตารางที่ 3) พบว่า ปัจจัยการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ และการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ มีผลต่อผลผลิตก๊าซชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือ การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวาให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพ

สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับแหนแดงและมูลนกแอ่นกินรังเพียงอย่างเดียว (กลุ่มควบคุม) ส่วนการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่จะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้ได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น และมีค่าแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับการไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ เมื่อพิจารณาแต่ละรายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T6) การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับแหนแดง ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T5) โดยการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา โดยไม่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T3) ให้ปริมาณก๊าซสะสมเฉลี่ยสูงสุด 75.60 62.40 และ 61.00 มิลลิลิตรตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับการหมักย่อยของมูลนกแอ่นกินรังอย่างเดียว โดยไม่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T1), การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับแหนแดง โดยไม่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T2) และการหมักย่อยของมูลนกแอ่นกินรังอย่างเดียว ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T4) ที่สามารถผลิตก๊าซได้เฉลี่ย 7.00, 26.80 และ 10.60 มิลลิลิตร ตามลำดับ

เนื่องจากการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่เป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบ ทำให้ระบบมีจุลินทรีย์มากพอต่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในการผลิตก๊าซชีวภาพ และผักตบชวามีองค์ประกอบของเซลลูโลสสูงกว่าแหนแดง เซลลูโลสเป็นสารอินทรีย์ที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวของกลูโคส ไม่ละลายน้ำ แต่แบคทีเรียสามารถย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้ (Perez *et al.*, 2002) ซึ่งก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่เกิดจากการหมักย่อยสารจำพวกเซลลูโลส และเอมิเซลลูโลสภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (อรุณี, 2555) ดังนั้น การผลิตก๊าซ

Table 2. Chemical composition of swiftlet faeces, azolla and water hyacinth

Matter	NDF ¹ (%DM)	ADF ² (%DM)	ADL ³ (%DM)
Swiftlet faeces	60.70	29.26	10.76
Azolla	44.95	37.17	27.91
Water hyacinth	67.63	35.54	15.81

¹NDF = neutral detergent fiber, ²ADF = acid detergent fiber, ³ADL = acid detergent lignin

Table 3. Biogas yield and composition of biogas

Treatment	Accumulate gas (ml)	Biogas composition (%)	
		CH ₄	CO ₂
Co-digestion (A)			
swiftlet faeces (control)	8.80 c ¹	15.11 c	10.13 c
swiftlet faeces+azolla	44.60 b	45.61 b	26.52 b
swiftlet faeces+water hyacinth	68.30 a	60.14 a	33.16 a
Seeding (B)			
without seed	31.60 b	32.07 b	17.80 b
with seed	49.53 a	48.50 a	28.74 a
A x B			
T1: 8%swiftlet faeces (without seed)	7.00 b	10.57 e	6.85 e
T2: 4%swiftlet faeces+4%azolla (without seed)	26.80 b	33.23 c	18.22 c
T3: 4%swiftlet faeces+4%water hyacinth (without seed)	61.00 a	52.41 b	28.32 b
T4: 8%swiftlet faeces (with seed)	10.60 b	19.65 d	13.40 d
T5: 4%swiftlet faeces+4%azolla (with seed)	62.40 a	57.98 b	34.83 a
T6: 4%swiftlet faeces+4%water hyacinth (with seed)	75.60 a	67.87 a	38.00 a
CV (%)	29.69	16.11	10.53

¹Means in the same column followed by a common latter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test

ชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมมูลสัตว์กับพืชน้ำ เป็นการเพิ่มปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ให้แก่ระบบ และส่งผลให้เกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Iyagba *et al.* (2009) ใช้มูลโคร่วมกับฟางข้าวในการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า การใช้มูลโคหมักย่อยร่วมกับฟางข้าวในสัดส่วน 50:50 ทำให้ได้มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงที่สุด และส่งผลให้มีปริมาณก๊าซมีเทนสูงที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้มูลโคหมักย่อยร่วมกับฟางข้าวในสัดส่วน 25:75 และ 0:100 ส่วนสับคั่ว และคณะ (2558) ได้ศึกษาการหมักย่อยร่วมของมูลสุกรกับพืชน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลสุกรกับพืชน้ำ พบว่า มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าการใช้มูลสุกรเพียงอย่างเดียว

สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ด้วยเครื่อง gas chromatography คำนวณปริมาณก๊าซมีเทน (CH₄) ในก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมด (ตารางที่ 3) พบว่า ชนิดของพืชน้ำ และการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ มีผลต่อปริมาณผลผลิตของก๊าซมีเทนอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือ การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกับพืชน้ำกับผักตบชวาให้ปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกับพืชน้ำกับหน่อแดงและมูลนกแอ่นกับพืชน้ำเพียงอย่างเดียว ในขณะที่การเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ให้ปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยสูงขึ้น เมื่อเทียบกับการไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ เมื่อพิจารณาจากรายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกับพืชน้ำกับผักตบชวา ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T6) ให้ปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยสูงสุด 67.87% ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยสอดคล้องกับผลผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ซึ่ง Xie *et al.* (2011) ได้ศึกษาผลของการหมักย่อยร่วมของมูลสุกรกับหญ้าหมักต่อปริมาณก๊าซมีเทนมีผลได้ พบว่า กลุ่มที่ใช้มูลสุกรต่อหญ้าหมักในสัดส่วน 3:1 และ 1:1 ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่ใช้มูลสุกรหรือหญ้าหมักเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการหมักย่อยร่วมของมูลสัตว์

และอินทรีย์วัตถุอื่น ๆ จะทำให้เกิดความสมดุลของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีผลทำให้ระบบการหมักย่อยมีประสิทธิภาพ และสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้สูงกว่าการใช้มูลสัตว์เพียงอย่างเดียว (Callaghan *et al.*, 2002) นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่าปัจจัยด้านชนิดพืชน้ำและปัจจัยการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่มีผลต่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวาให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับแหนแดงและมูลนกแอ่นกินรังเพียงอย่างเดียว ในขณะที่การเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น เมื่อเทียบกับการไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ เมื่อพิจารณาจากรายกลุ่ม พบว่า T5 และ T6 ให้ปริมาณ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง 34.83 และ 38.00% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น เนื่องจากมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำที่ใช้ เมื่อนำมาหมักย่อยร่วมกันทำให้แหล่งคาร์บอนใน

ระบบสูง ส่งผลให้ผลผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผลผลิตของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์แปรผันตามกันกับผลผลิตของก๊าซมีเทน เช่นเดียวกับรายงานของ Kavuma (2013) ในการศึกษาผลผลิตก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น โดยก๊าซชีวภาพที่ดีจะมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน ประมาณ 45-65 % และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 35-45% (Ogiehor and Ovueni, 2014)

ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ

จากการทดลอง ผลของปัจจัยการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพืชน้ำ และการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ BOD, COD, TS และ TVS ของระบบ (ตารางที่ 4) พบว่า ปัจจัยการหมักย่อยร่วมกับพืชน้ำ และปัจจัยการ

Table 4. The pH value from influent and effluent and the removal efficiency of organic matters in system

Treatment	pH		Removal efficiency (%)			
	Influent	Effluent	BOD ²	COD ³	TS ⁴	TVS ⁵
Co-digestion (A)						
non (control)	8.00 a ¹	7.31 a	55.77 c	67.41 a	38.96 c	66.50 b
with azolla	7.87 b	6.82 b	74.41 b	69.70 a	80.23 a	81.65 a
with water hyacinth	7.81 c	6.83 b	83.13 a	57.03 b	79.00 b	81.70 a
Seeding (B)						
without seed	8.04 a	7.16 a	67.25 b	43.61 b	66.39 a	77.00 a
with seed	7.75 b	6.82 b	74.96 a	85.82 a	65.74 a	76.24 b
A x B						
T1: 8%swiftlet faeces (without seed)	8.18 a	7.83 a	54.40 f	44.65 b	39.44 d	66.47 d
T2: 4%swiftlet faeces+4%azolla (without seed)	8.03 b	6.83 b	69.23 d	57.80 b	81.44 a	82.79 a
T3: 4%swiftlet faeces+4%water hyacinth (without seed)	7.91 c	6.83 b	78.10 c	28.38 c	78.28 c	81.74 b
T4: 8%swiftlet faeces (with seed)	7.82 d	6.80 b	57.13 e	90.17 a	38.49 d	66.52 d
T5: 4%swiftlet faeces+4%azolla (with seed)	7.72 e	6.82 b	79.59 b	81.59 a	79.01 bc	80.51 c
T6: 4%swiftlet faeces+4%water hyacinth (with seed)	7.71 e	6.83 b	88.16 a	85.68 a	79.71 b	81.67 b
CV (%)	0.27	0.21	0.08	8.92	0.82	0.05

¹Means in the same column followed by a common latter are not significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test

²BOD = biochemical oxygen demand, ³COD = chemical oxygen demand, ⁴TS = total solid, ⁵TVS = total volatile solid

เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือ การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวาทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด BOD สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักย่อยร่วมกับແຮນແດງและมูลนกแอ่นกินรังเพียงอย่างเดียว ส่วนการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบสูงกว่าการไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ เมื่อพิจารณาจากรายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T6) มีประสิทธิภาพการกำจัด BOD สูงที่สุดเฉลี่ย 88.16% ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มทดลองอื่น ในขณะที่ปัจจัยด้านการหมักย่อยมูลนกแอ่นกินรังเพียงอย่างเดียว และการหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับແຮນແດງ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD ในระบบสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการหมักย่อยร่วมกับผักตบชวา ส่วนปัจจัยด้านการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบสูงกว่าการไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ เมื่อพิจารณาผลในรายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยของมูลนกแอ่นกินรัง ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T4) การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับແຮນແດງ ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T5) และการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา ร่วมกับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T6) มีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงใกล้เคียงกันเฉลี่ย 90.17, 81.59 และ 85.68% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับการหมักย่อยของมูลนกแอ่นกินรังอย่างเดียว (T1) การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับແຮນແດງ โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T2) และการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวา โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T3)

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัด TS ของระบบ พบว่า ปัจจัยหลักด้านการหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับແຮນແດງทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด TS สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักย่อยร่วมกับผักตบชวาและมูลนกแอ่นกินรังเพียงอย่างเดียว ส่วนปัจจัยด้านการเติมและไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด

TS ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาจากรายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับແຮນແດງ โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T2) มีประสิทธิภาพการกำจัด TS สูงที่สุดเฉลี่ย 81.44% ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น นอกจากนี้ยังพบว่า การหมักย่อยร่วมมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวาและกับແຮນແດງทั้งแบบเติมและไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ มีประสิทธิภาพการกำจัด TVS ได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับการหมักย่อยมูลนกแอ่นกินรังเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณารายกลุ่ม พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับແຮນແດງ โดยไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่ (T2) มีประสิทธิภาพการกำจัด TVS สูงที่สุดเฉลี่ย 82.79% ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น โดยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ซึ่งค่า pH ของงานทดลองนี้ทั้งในรูปของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (influent) และน้ำเสียหลังออกจากระบบ (effluent) พบว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (pH 6.5-7.5) ทำให้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ผจสข และคณะ, 2554) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบเพิ่มขึ้น

สรุป

การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับพีชน้ำ พบว่า การหมักย่อยร่วมของมูลนกแอ่นกินรังกับผักตบชวาและกับແຮນແດງ โดยมีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลไก่เป็นจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบ ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ รวมทั้งสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในระบบได้ดี ดังนั้นการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักย่อยร่วมเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการจัดการมูลนกแอ่นกินรัง โดยอาจเลือกใช้พีชน้ำชนิดที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น และควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ประกอบการบ้านนกแอ่นกินรังจากชมรมนกแอ่นกระบี่ จังหวัดกระบี่ ที่เอื้อเฟื้อมูลนกแอ่นกินรัง และขอขอบคุณภาควิชาสัตวบาล ภาควิชาปฐพีวิทยา และศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพาณิชย์. 2556. การประชุมแก้ไขปัญหาการส่งออกจิ้งจกจากไทยไปจีน. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล : <http://www.acfs.go.th/news/docs/birdsnest.pdf> (7 เมษายน 2561).
- จำเนียร ชมภู สุนัดดา ไชยสิทธิ์ และ วนิดา สืบสายพรหม. 2560. การใช้ประโยชน์จากวัชพืชน้ำในการหมักย่อยร่วมกับมูลสุกรต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 35(3): 9-18.
- โชติรัตน์ ศรีเกลื่อน และ วนิดา สืบสายพรหม. 2560. การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลนกแอ่น. หน้า 94-102. ใน: รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 14. 7-8 ธันวาคม 2560. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- นันทประภา นันทิยะกุล. 2556. การประชุมแก้ไขปัญหาการส่งออกจิ้งจกจากไทยไปจีน. หน้า 1-26. ใน: รายงานการประชุมแก้ไขปัญหาการส่งออกจิ้งจกจากไทยไปจีน. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- นิรันดร์ โพธิกานนท์ วราภา คุณาพร และ โชค มิเกล็ด. 2545. ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและสถานภาพด้านสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรและโคนมทั่วประเทศไทย. วารสารเกษตร 18(1): 73-87.
- ผจสุข สุธาร์ตน์ เสาวนิตย์ ชอบบุญ นิศากร วิทจิต สมบูรณ์ และ อนุมิตี เดชนะ. 2554. การพัฒนาถึงผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์. สำนักคณะกรรมการอุดมศึกษา, สงขลา. 108 หน้า.
- วนิดา สืบสายพรหม. 2553. การจัดการส้วมภายในโรงเรียนเลี้ยงสุกรเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ระดับปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 107 หน้า.
- สุนัดดา ไชยสิทธิ์ จำเนียร ชมภู และ วนิดา สืบสายพรหม. 2558. การหมักย่อยร่วมของมูลสุกรกับพืชน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ. หน้า 263-272. ใน: รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11. 17-19 มิถุนายน 2558. โรงแรมบางแสน เฮอริเทจ,ชลบุรี.
- อรุณี ศุภสินสาริต. 2555. พลังงานจากชีวมวลที่มีลิกโนเซลลูโลสสูง. วารสารสิ่งแวดล้อม 16(2): 36-43.
- Alalade, O.A. and E.A. Iyayi. 2006. Chemical composition and the feeding value of azolla (*Azolla pinnata*) meal for egg-type chicks. International Journal of Poultry Science 5(2): 137-141.
- American Public Health Association. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. United Book Press, Inc., Baltimore.
- Budiyono, I. Syaichurrozi and S. Sumardiono. 2014. Effect of total solid content to biogas production rate from vinasse. International Journal of Engineering 27(2): 177-184.
- Callaghan, F.J., D.A. J. Wase, K. Thayanithy, C.F. Forster. 2002. Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure. Biomass Bioenergy 27: 71-77.
- Iyagba, E.T., I.A. Mangibo and Y.S. Mohammad. 2009. The study of cow dung as co-

- substrate with rice husk in biogas production. Scientific Research and Essay 4(9): 861-866.
- Kavuma, C. 2013. Variation of methane and carbon dioxide yield in a biogas plant. MSc. Thesis. Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Malik, A.A., A. Aremu, B.A. Ayanwale, A.T. Ijaiya, A.H.A. Badmos and A.H. Dikko. 2014. An evaluation of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach) meal as a feedstuff for pullet chicks as determined by carcass and haematological characteristics. International Journal of Advanced Biotechnology and Research 4(2): 114-121.
- Norhayati, M.K., O. Azman and W.M. Wan Nazaimoon. 2010. Preliminary study of the nutritional content of Malaysian edible bird's nest. Malaysian Journal of Nutrition 16(3): 389-396.
- Ogiehor, I.S. and U.J. Ovueni. 2014. Effect of temperature, pH and solid concentration on biogas production from poultry waste. International Journal of Scientific & Engineering Research 5(1): 62-69.
- Perez, J., Munoz-Dorado, T.D.L. Rubia and J. Martinez. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. International Microbiology 5(2): 53-63.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74(10): 3583-3597.
- Vardon, D.R., B.K. Sharma, J. Scott, G. Yu, Z. Wang, L. Schideman, Y. Zhang and T. Strathmann. 2011. Chemical properties of biocrude oil from the hydrothermal liquefaction of *Spirulina* algae, swine manure, and digested anaerobic sludge. Bioresource Technology 102: 8295-8303.
- Xie, S., P.G. Lawlor, J.P. Frost, Z. Hu and X. Zhan. 2011. Effect of pig manure to grass silage ratio on methane production in batch anaerobic co-digestion of concentrated pig manure and grass silage. Bioresource Technology 102: 5728-5733.
-

ผลของการใช้เนื้อในเมล็ดมะขามป่นในอาหารต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารในปลานิลแดง

Effects of Tamarind Seed Meal in Diets on Growth and Feed Efficiency in Red Tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*)

นาริรัตน์ สิงห์โต¹ มหัทธนี ภิญโญ^{1, 2} และ อนรรักษ์ เขียวขจรเขต^{1, 2*}

Nareerat Singto¹, Mhattanee Phinyo^{1, 2} and Anurak Khieokhajonkhet^{1, 2*}

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000

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

²ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000

²Center for Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment,
Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

*Corresponding author: Email: anurakk@nu.ac.th

(Received: 6 July 2018; Accepted: 5 November 2018)

Abstract: This study was investigated the usage of tamarind seed meal (TSM) from the industrial factories processing. TSM was formulated to replace corn meal for red Nile tilapia on growth performance, feed, and nutrient utilization. The test diets were formulated with different levels of TSM from 0, 20, 40, 60, 80, and 100%. The initial fish had an average weight of 4.55 ± 0.02 g/ fish and fed with experimental diets for 10 weeks. The results showed that the fish fed diet 100% TSM replacement had the highest weight gain, SGR, rate of feed intake, feed utilization, FCR, PER, PPV and protein retention, but no significant differences with TSM80 and 90%. The hepatosomatic index was not significantly different at all test diets, however, viscerosomatic index was decreased in the high level of TSM. Feed efficiency, protein-, and lipid efficiency ratio were increased with the high levels of TSM. In addition, TSM inclusion had higher protein utilization than control diet, but protein retention was not the significant difference. The results of the present study indicated that TSM is able to substitute corn meal for 100% replacement that is a potential feedstuff for aquatic animals and can reduce the cost of producing aquatic animals for a lower price.

Keywords: Tamarind seed meal, growth performance, nutrient utilization, red tilapia

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้เมล็ดมะขามซึ่งเป็นวัตถุดิบพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะขาม เพื่อทดแทนข้าวโพดป่นในอาหารปลานิลแดงที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และสารอาหาร โดยใช้เมล็ดมะขามป่น 6 ระดับ คือ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ปลานิลแดงมีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 4.55 ± 0.02 กรัม/ตัว ใช้ระยะเวลาเลี้ยง 10 สัปดาห์ จากการทดลองพบว่าอาหารผสมเมล็ดมะขามที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโต เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร ประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ การเก็บรักษาโปรตีนดีที่สุด โดยไม่แตกต่างกับระดับ 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับดัชนีที่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกชุดการทดลอง สำหรับดัชนีอวัยวะภายในพบว่าไม่มีแนวโน้มลดลงเมื่อมะขามป่นสูงขึ้น ค่าประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และไขมัน มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น โดยโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ พบว่าปลานิลแดงที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของเมล็ดมะขามป่นมีการนำโปรตีนไปใช้ได้ดีกว่าชุดการทดลองควบคุม ส่วนการเก็บรักษาโปรตีนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเนื้อในเมล็ดมะขามสามารถทดแทนข้าวโพดป่นได้ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำ และสามารถลดต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำให้มีความคุ้มค่าได้

คำสำคัญ: เนื้อในเมล็ดมะขาม การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้สารอาหาร ปลานิลแดง

คำนำ

มะขาม หรือ tamarind (*Tamarindus indica* L.) เป็นพืชยืนต้นที่สามารถพบได้ทั่วไปในประเทศไทย และเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เมล็ดมะขามเป็นวัสดุพลอยได้จากการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะขามที่มีศักยภาพสำหรับการผลิตเป็นอาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ และเป็นแหล่งของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต การสังเคราะห์โปรตีน และการสร้างมัดกล้ามเนื้อ (Zou *et al.*, 2018) เช่น ไลซีน และลิวซีน ซึ่งมีมากกว่าในเมล็ดเนื้อในข้าวโพด และข้าวโพดหมัก (Naves *et al.*, 2011; Makanjuola and Moses, 2011) นอกจากนี้เมล็ดมะขามยังมีคุณสมบัติเป็นสารเภสัชกรรมที่ช่วยป้องกันโรคที่เกี่ยวข้องกับทางเดินอาหาร (Bhadoriya *et al.*, 2011) ด้านมะเร็งในท่อไต และเซลล์ไต (Vargas-Olvera *et al.*, 2012) ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย รา พยาธิ และไวรัส (Nguta and Mbaria, 2013) ด้านทานการอักเสบ (Sole *et al.*, 2013) และอื่น ๆ มะขามจัดเป็นกลุ่มของพืชมีฝัก หรือ legumes ที่เป็นแหล่งของวัตถุดิบพืชที่มีสารต้านโภชนาการตัวอย่างเช่น แทนนิน ทริปซินอินฮิบิเตอร์ และซาโปนิน เป็นต้น (Achi, 2005) ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตเนื่องจากสารต้านโภชนาการเหล่านี้จะยับยั้งการทำงาน

เอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผนังเนื้อเยื่อในระบบทางเดินอาหาร ลดความอยากอาหาร อันนำไปสู่การลดลงของเจริญเติบโต เป็นต้น อย่างไรก็ตามหากนำวัตถุดิบเหล่านี้ผ่านกระบวนการเช่น การใช้ความร้อน การแช่น้ำ กระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น กระบวนการหมักด้วยเอนไซม์ หรือ ยีสต์ก็จะสามารถลดระดับของสารต้านโภชนาการลงได้ (Boonyaratpalin *et al.*, 1998; Romarheim *et al.*, 2005;)

ปลานิลแดง (red tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย โดยพบว่าพื้นที่ในเขตภาคเหนือตอนล่าง มีพื้นที่การเพาะเลี้ยงและผลผลิตในลำดับต้น ๆ ของประเทศ เนื่องจากปลานิลแดงเป็นสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงง่าย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีส่งผลทำให้ปลานิลแดงโตไว ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม (อนุรักษ์, 2561) มีเนื้อที่มีองค์ประกอบของไขมันสูงกว่าปลานิลดำ และอีกหลายชนิด จึงทำให้อปลานิลแดงมีคุณภาพสูงกว่า และให้ได้รับความนิยมต่อการบริโภคสูง Bashir and Suleiman (2018) ศึกษาการใช้เมล็ดมะขามทดแทนการใช้กากถั่วเหลืองในปลานิล ผลการศึกษาพบว่าสามารถทดแทนได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ แต่พรทิศา และคณะ (2560) ที่ทำการศึกษาการใช้เมล็ดมะขามในอาหารปลานิลวัยอ่อน โดยอาหารผสมด้วย

เมล็ดมะขามที่ระดับต่าง ๆ ผลจากการทดลองพบว่าปลานิลสามารถใช้เมล็ดมะขามเพื่อการเจริญเติบโตได้สูงสุดเพียง 5 เปอร์เซ็นต์

อุปกรณ์และวิธีการ

จรรยาบรรณสัตว์ทดลอง ปลานิลแดงเป็นสัตว์น้ำทดลองที่ใช้สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ทั้งนี้งานทดลองนี้ได้รับการพิจารณาและอนุมัติจากคณะกรรมการสัตว์ทดลองของมหาวิทยาลัยนเรศวร รหัสข้อเสนอโครงการเลขที่ NU-AQ600603 ออกให้ ณ วันที่ 22 ธันวาคม 2560 โดยสัตว์ทดลองในระหว่างการดำเนินการทดลองได้รับการดูแลตามขั้นตอนการใช้สัตว์ทดลอง และสิทธิขั้นพื้นฐานที่สัตว์ทดลองควรจะได้รับจนสิ้นสุดการทดลอง

การเตรียมสัตว์ทดลอง ปลานิลแดงขนาดประมาณ 2-3 กรัมหรือความยาวลำตัวประมาณ 1 เซนติเมตร จากฟาร์มเอกชนในจังหวัดพิษณุโลก นำมาเลี้ยงและอนุบาลในถังขนาด 500 ลิตรที่มีออกซิเจนตลอดเวลา อุณหภูมิ น้ำ และแสงตามธรรมชาติ ลูกปลาได้รับอาหารชนิดปลากินพืชขนาดเล็กที่มีโปรตีนสูงกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ไขมันไม่เกิน 7 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 เวลา คือ 9.00 และ 16.00 นาฬิกา กินจนอิ่ม (apparent satiation) ในระหว่างการเลี้ยงกำหนดให้มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวัน โดยใช้น้ำที่ปราศจากคลอรีนเพื่อเติมทดแทนให้ได้ระดับเดิม ปรับสภาพปลาทดลองเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์หรือเลี้ยงสัตว์น้ำทดลองจนได้ขนาดปลาเริ่มต้นที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 4.5 กรัมต่อตัว สุ่มปลาและปล่อยปลาจำนวน 20 ตัวต่อตู้ ที่มีขนาดความจุน้ำ 150 ลิตร ปิดด้วยพลาสติกสามด้านเพื่อป้องกันการรบกวน ติดตั้งหัวให้อากาศ โดยกำหนดชุดการทดลองแบบสุ่ม (random) จากนั้นสัตว์น้ำทดลองจะได้รับอาหารชุดควบคุมเพื่อให้เกิดความคุ้นเคยกับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 3 วัน

การเตรียมวัตถุดิบ และอาหารทดลอง รวบรวมวัตถุดิบอาหาร ได้แก่ ปลาป่น ปากกั่วเหลือง ข้าวโพด ปลายาว และแป้งสาลี จากนั้นร่อนวัตถุดิบอาหารทั้งหมดผ่านตะแกรงขนาดตา 30 เมช สำหรับเมล็ดมะขามได้รวบรวมจากกลุ่มแม่บ้านแปรรูปมะขามใน

จังหวัดเพชรบูรณ์ ทำความสะอาดเมล็ดมะขาม จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง กระเทาะเปลือก คัดเลือกเฉพาะเมล็ดเนื้อในเพื่อบดละเอียด ผ่านตะแกรงร่อนและเก็บวัตถุดิบอาหารที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส วัตถุดิบอาหารทดลองทั้งหมดนำมาผสมเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีการของ AOAC (1990) ประกอบด้วยความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใย ขณะที่ nitrogen free extract หรือ NFE ได้จากการคำนวณดังต่อไปนี้คือ 100 - (ความชื้น+โปรตีน+ไขมัน+เถ้า+เยื่อใย) นอกจากนี้เมล็ดเนื้อในมะขามนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโน (amino acid content) ด้วยเครื่อง HPLC-fluorescence detector (Agilent 1100 series, Germany)

อาหารผสมเนื้อในเมล็ดมะขามในการทดลองครั้งนี้เพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนเนื้อในเมล็ดมะขามด้วยโปรตีนจากข้าวโพด เนื่องจากมีองค์ประกอบของโปรตีนในระดับที่ใกล้เคียงกันซึ่งประกอบด้วยอาหารทดลองจำนวนทั้งหมด 6 สูตรอาหารดังต่อไปนี้ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (หรือ TSM20-100%ตามลำดับ) เพื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ไม่มีการผสมเมล็ดเนื้อในเมล็ดมะขาม (TSM0) วัตถุดิบอาหารทดลองถูกผสมตามสัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 1 ด้วยเครื่องผสมอาหาร และอัดเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง นอกจากนี้กำหนดให้อาหารทดลองมีระดับโปรตีนและระดับไขมัน (isoproteinous and isolipidic diets) ทุกสูตรอาหาร อาหารจำนวนทั้ง 6 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ขั้ว

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาการเจริญเติบโต และค่าดัชนีต่าง ๆ ในระหว่างการเลี้ยงปลาทดลองกำหนดให้มีการติดตามการเจริญเติบโตของปลานิลแดงทุก ๆ 2 สัปดาห์ ด้วยการชั่งน้ำหนักปลาทั้งหมด น้ำหนักอาหารที่ปลากิน และจำนวนปลาที่เหลือตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์เพื่อคำนวณค่าการเจริญเติบโต ประกอบด้วย

Table 1. Composition of experimental diets (g/100 g)

Feed ingredients	Graded levels of tamarind seed meal					
	TSM0	TSM20	TSM40	TSM60	TSM80	TSM100
Fishmeal	7	7	7	7	7	7
Soybean meal	45.15	45.15	45.15	45.15	45.15	45.15
Corn meal	30	24	18	12	6	0
Tamarind seed meal	0	6	12	18	24	30
Broken rice	5	5	5	5	5	5
Wheat flour	5	5	5	5	5	5
Vitamin mix ¹	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Mineral mix ²	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Fish oil	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
Lysine	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Methionine	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Total	100	100	100	100	100	100

Proximate composition (%)

Crude protein	30.14 ± 0.58	30.22 ± 0.61	30.09 ± 0.97	29.94 ± 0.30	29.95 ± 0.69	30.66 ± 0.11
Crude fat	8.23 ± 0.18	8.45 ± 0.18	8.56 ± 0.24	8.23 ± 0.11	8.61 ± 0.37	8.36 ± 0.22
Fiber	2.40 ± 0.07	2.34 ± 0.03	2.23 ± 0.06	2.65 ± 0.10	2.75 ± 0.21	2.47 ± 0.08
Ash	5.31 ± 0.12	5.32 ± 0.24	5.35 ± 0.07	5.07 ± 0.09	5.23 ± 0.11	5.58 ± 0.14
Moisture	6.12 ± 0.26	12.03 ± 0.34	5.81 ± 0.19	9.49 ± 0.11	8.50 ± 0.17	2.16 ± 0.12

¹ Vitamin mixture (mg or IU/kg diet): A, 5,000 IU; D3, 1,000 IU; E, 5,000 mg; K, 2,000; B1, 2,500 mg; B2, 1,000 mg; B6, 1,000 mg; B12, 10 mg; inositol, 1000 mg; pantothenic acid, 3,000 mg; niacin acid, 3,000 mg; C, 10,000 mg; folic acid, 300 mg; biotin, 10 mg

² Mineral mixture (g/kg feed); calcium phosphate, 80; calcium lactate, 100; ferrous sulphate, 1.24; potassium chloride, 0.23; potassium iodine, 0.23; copper sulphate, 1.2; manganese oxide, 1.2; cobalt carbonate, 0.2; zinc oxide, 1.6; Magnesium chloride, 2.16; sodium selenite, 0.10

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / น้ำหนักปลาเริ่มต้น (กรัม) \times 100}$$

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ} = \frac{\ln \text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น / ระยะเวลา (วัน) \times 100}$$

น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (average daily gain, กรัมต่อวัน)

$$\text{น้ำหนักตัวเฉลี่ย} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / ระยะเวลา (วัน)}$$

อัตราการรอดตาย (survival rate, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{อัตราการรอดตาย} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง / จำนวนปลาเมื่อเริ่มต้น} \times 100$$

การศึกษาค่าดัชนีน้ำหนักตัวต่อตับ อวัยวะภายใน และค่าปัจจัยของน้ำหนักต่อความยาวของปลาทดลอง เมื่อการทดลองดำเนินสู่สัปดาห์ที่ 10 สุ่มปลาจำนวน 2 ตัวต่อตู้ หรือ 6 ตัวต่อชุดการทดลองเพื่อชั่งน้ำหนัก วัดความยาว ชั่งน้ำหนักอวัยวะภายในทั้งหมด และน้ำหนักตับเพื่อคำนวณค่าดัชนีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ค่าปัจจัยของน้ำหนักต่อความยาว (condition factor, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ค่าปัจจัยของน้ำหนักต่อความยาว} = \frac{\text{น้ำหนักปลา (กรัม) / ความยาว (ลูกบาศก์เซนติเมตร)} \times 100$$

ดัชนีน้ำหนักปลาต่อน้ำหนักตับ (hepatosomatic index, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ดัชนีน้ำหนักปลาต่อ} = \frac{\text{น้ำหนักปลา (กรัม) / น้ำหนักตับ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตับ}} \times 100$$

ดัชนีน้ำหนักปลาต่อน้ำหนักอวัยวะภายใน (viscerosomatic index, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ดัชนีน้ำหนักปลาต่อ} = \frac{\text{น้ำหนักปลา (กรัม) / น้ำหนักอวัยวะภายใน (กรัม)}}{\text{อวัยวะภายใน}} \times 100$$

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้อาหาร

การศึกษากาใช้อาหารของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารผสมเนื้อในเมล็ดมะขามป่นที่ระดับต่าง ๆ ด้วยการคำนวณปริมาณน้ำหนักอาหารทดลองที่ปลาใช้ในแต่ละชุดการทดลอง ดังต่อไปนี้

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio, FCR)

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด (กรัม) / น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง (กรัม)}}$$

ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed efficiency, FE, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้อาหาร} = \frac{1}{\text{อัตราการเปลี่ยนเป็นเนื้อ}} \times 100$$

อัตราของประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed efficiency ratio, FER)

$$\text{อัตราของประสิทธิภาพการใช้อาหาร} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / โปรตีนน้ำหนักที่ปลากิน (กรัม)}}{\text{โปรตีนน้ำหนักที่ปลากิน (กรัม)}}$$

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion efficiency, FCE, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น / น้ำหนักอาหารแห้ง} \times 100$$

การศึกษาค่าประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัว และประสิทธิภาพการใช้อาหาร เมื่อการทดลองดำเนินถึงวันสิ้นสุดการทดลองให้สุ่มปลา (final fish) จำนวน 2 ตัวต่อตู้หรือ 6 ตัวต่อชุดการทดลองเพื่อศึกษาค่าประกอบทางเคมี (AOAC, 1990) ของซากปลาทั้งตัวเปรียบเทียบกับซากปลาก่อนเริ่มการทดลอง (initial fish) และคำนวณประสิทธิภาพการใช้อาหารด้วยสูตรคำนวณดังต่อไปนี้

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)}} \times 100$$

ประสิทธิภาพการใช้ไขมัน (lipid efficiency ratio, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม) / น้ำหนักไขมันที่ปลากิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักไขมันที่ปลากิน (กรัม)}} \times 100$$

โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (protein productive value)

$$\text{โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์} = \frac{\text{โปรตีนปลาสุดท้าย (กรัม) - โปรตีนเริ่มต้น (กรัม)}}{\text{โปรตีนปลาสุดท้าย (กรัม) - โปรตีนเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

การสะสมโปรตีน (protein retention, เปอร์เซ็นต์)

$$\text{การสะสมโปรตีน} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น (กรัม) / ปริมาณโปรตีนเริ่มต้น (กรัม)} \times 100$$

การคำนวณราคาอาหาร เพื่อทราบราคาต้นทุนอาหารที่ใช้สำหรับการทดลองในทุกชุดการทดลองสัดส่วนของอาหาร (ตารางที่ 1) จึงนำมาคำนวณกับราคาของวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิด และเพื่อศึกษาราคาอาหารต่อการทำให้ปลามีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม (incident cost หรือ feeding cost)

ราคาอาหาร (total cost, บาทต่อกิโลกรัม)

ราคาอาหาร = ราคาวัตถุดิบอาหารต่อน้ำหนักวัตถุดิบอาหารที่กำหนดในสูตรอาหาร

ราคาอาหารต่อน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (feeding cost)

$$\text{ราคาอาหารต่อน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น} = [\text{ราคาอาหาร} / \text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน}] / \text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น} \times 1,000$$

การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และโปรตีน เพื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ANOVA ด้วย CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษา

การศึกษากการทดแทนข้าวโพดป่นด้วยเมล็ดมะขามป่นที่ระดับต่าง ๆ คือ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยเลี้ยงทดสอบในปลานิลแดงที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยประมาณ 4.5 กรัมต่อตัว เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ จากการทดลองพบว่า น้ำหนักที่เพิ่ม น้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะพบว่ามีแนวโน้มที่สอดคล้องกับน้ำหนักสุดท้าย (ตารางที่ 2) โดยปลาที่ได้อาหารทดลอง TSM100 มีค่าดังกล่าวสูงที่สุดคือ 227.63 ± 54.19 เปอร์เซ็นต์ 0.15 ± 0.03 กรัมต่อตัว และ 1.68 ± 0.23 เปอร์เซ็นต์ต่อวันตามลำดับ ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารทดลองชุดควบคุมมีค่าดังกล่าวต่ำที่สุด

(69.84 ± 21.64 เปอร์เซ็นต์ 0.04 ± 0.01 กรัมต่อตัว และ 0.04 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ต่อวันตามลำดับ) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้อาหารผสมเมล็ดเนื้อในมะขามที่ระดับต่าง ๆ ในขณะที่ปัจจัยของน้ำหนักต่อความยาว และดัชนีน้ำหนักปลาต่อน้ำหนักตับพบว่าการผสมเนื้อในมะขามป่นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนดัชนีน้ำหนักต่ออวัยวะภายในพบว่าปลาที่ได้รับอาหาร TSM100 ค่าต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกับ TSM80 (7.07 ± 1.7 และ 7.73 ± 1.1 เปอร์เซ็นต์) อัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารผสมเมล็ดเนื้อในมะขามพบว่าไม่มีความแตกต่างกันสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นจึงไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต (ตารางที่ 2)

ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลแดงที่ได้รับอาหารผสมเนื้อในเมล็ดมะขามตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์พบว่าปลาที่ได้รับอาหาร TSM60 เปอร์เซ็นต์มีการกินอาหารสูงที่สุด (18.28 ± 0.51 กรัมต่อตัว) และมีแนวโน้มลดลงที่ TSM80 และ 100 มีค่าเท่ากับ 17.77 ± 1.59 และ 17.46 ± 1.68 กรัมต่อตัวตามลำดับ (ตารางที่ 3) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาที่ได้รับอาหาร TSM100 เปอร์เซ็นต์มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุดคือ 1.59 ± 0.24 เมื่อระดับของเนื้อในเมล็ดมะขามลดลงส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อที่เพิ่มขึ้นโดยปลาที่ได้รับอาหาร TSM0 มีค่าสูงที่สุด 3.66 ± 1.06 (ตารางที่ 3) โดยมีแนวโน้มที่ผกผันกับประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราของประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ โดยปลาที่ได้รับอาหาร TSM100 เปอร์เซ็นต์มีค่าสูงสุด (46.32 ± 9.90 , 0.45 ± 0.00 และ 2.53 ± 0.54 ตามลำดับ) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม ($P < 0.05$) ประสิทธิภาพการใช้สารอาหารของปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยเนื้อในเมล็ดมะขามป่น พบว่าปลาที่ได้รับอาหารผสมเนื้อในเมล็ดมะขาม TSM100 มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ไขมัน โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ และการเก็บรักษาโปรตีนสูงกว่าทุกชุดการทดลองอื่น ๆ (6.10 ± 0.08 , 22.53 ± 0.28 , 53.57 ± 0.06 และ 28.78 ± 0.02 ตามลำดับ) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม ($P < 0.05$)

Table 2. Growth parameters of red tilapia fed diet containing graded levels of tamarind seed meal¹

Growth parameters	Graded levels of tamarind seed meal (%)					
	TSM0	TSM20	TSM40	TSM60	TSM80	TSM100
Initial weight	4.55±0.05	4.55±0.05	4.57±0.03	4.53±0.06	4.53±0.03	4.57±0.06
Final weight	7.73±1.01 ^a	10.09±1.99 ^b	10.72±1.02 ^b	10.64±0.62 ^b	12.55±1.28 ^{bc}	14.94±2.28 ^d
Weight gain	69.84±21.64 ^a	122.14±46.22 ^b	134.81±2.4 ^b	134.73±11.87 ^b	176.53±27.62 ^{bc}	227.63±54.19 ^c
Average daily gain	0.04±0.01 ^a	0.08±0.03 ^b	0.09±0.01 ^{bc}	0.09±0.01 ^{bc}	0.11±0.02 ^{cd}	0.15±0.03 ^d
Specific growth rate	0.04±0.01 ^a	1.12±0.29 ^b	1.21±0.14 ^{bc}	1.22±0.07 ^{bc}	1.45±0.15 ^{cd}	1.68±0.23 ^d
Condition factor	2.31±0.33	2.44±0.59	2.11±0.25	1.84±0.43	2.51±0.58	2.13±0.03
Hepatosomatic index	0.72±0.3	0.79±0.2	0.74±0.3	0.77±0.1	0.82±0.2	0.72±0.1
Viscerosomatic index	8.95±0.8 ^b	8.95±0.9 ^b	8.98±0.7 ^b	8.91±1.8 ^b	7.73±1.1 ^{ab}	7.07±1.7 ^a
Survival rate	90±13.23	83.33±7.64	98.33±2.86	95±5.00	98.33±2.89	93.33±11.55

¹ Values are means ± S.D. of three replicates and values within the same row with different letters are significant difference ($P<0.05$, $n=3$)

Table 3. Feed and nutrients utilization of red tilapia fed varying levels of tamarind seed meal¹

Feed utilization	Graded levels of tamarind seed meal (%)					
	TSM0	TSM20	TSM40	TSM60	TSM80	TSM100
Total feed intake	12.28±1.65 ^a	17.09±0.52 ^{bc}	15.63±1.53 ^b	18.28±0.51 ^{bc}	17.77±1.59 ^{bc}	17.46±1.68 ^c
Feed conversion ratio	3.66±1.06 ^c	2.73±0.65 ^b	2.51±0.15 ^{ab}	2.86±0.33 ^{bc}	2.23±0.49 ^{ab}	1.59±0.24 ^a
Feed efficiency	29.32±10.18 ^a	38.22±1.00 ^{ab}	39.87±2.47 ^{ab}	35.27±4.11 ^{ab}	46.32±9.90 ^b	63.60±8.77 ^c
Feed efficiency ratio	0.21±0.01 ^a	0.27±0.01 ^{ab}	0.39±0.00 ^{bc}	0.32±0.00 ^{bc}	0.45±0.00 ^{cd}	0.58±0.00 ^d
Feed conversion efficiency	1.56±0.54 ^a	2.17±0.57 ^{ab}	2.11±0.13 ^{ab}	1.94±0.23 ^{ab}	2.53±0.54 ^{bc}	3.25±0.45 ^c
Nutrient utilization						
Protein efficiency ratio	1.52±0.03 ^a	2.58±0.07 ^{ab}	3.90±0.03 ^{bc}	3.71±0.02 ^{bc}	5.08±0.04 ^{cd}	6.10±0.08 ^d
Lipid efficiency ratio	5.67±0.12 ^a	9.35±0.24 ^{ab}	13.98±0.12 ^{bc}	13.56±0.07 ^{bc}	18.10±0.15 ^{cd}	22.53±0.28 ^d
Protein productive value	33.21±0.09 ^a	47.49±0.12 ^b	45.83±0.05 ^b	49.53±0.11 ^b	49.75±0.08 ^b	53.57±0.06 ^b
Protein retention	17.65±0.05 ^a	25.32±0.15 ^b	24.48±0.11 ^b	25.98±0.09 ^b	26.60±0.07 ^b	28.78±0.02 ^b

¹ Values are means ± S.D. of three replicates and values within the same row with different letters are significant difference ($P<0.05$, $n=3$)

ราคาอาหารที่ผสมด้วยเนื้อในเมล็ดมะขามที่ระดับต่าง ๆ พบว่ามีแนวโน้มราคาลดลงเมื่อระดับเนื้อในเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้นจากราคา กิโลกรัมละ 16.02 บาทต่อกิโลกรัมในอาหาร TSM100 เปอร์เซ็นต์ ถึง 18.72 บาทต่อกิโลกรัมในอาหาร TSM0 เปอร์เซ็นต์ ราคาอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นพบว่าแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน ปลาที่

ได้รับอาหารสูตรควบคุมมีราคาอาหารต่อน้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมสูงที่สุดคือ 87.85 บาทต่อน้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม และต่ำสุดในสูตร TSM100 เปอร์เซ็นต์ มีราคา 27.70 บาทต่อน้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม (ตารางที่ 4)

Table 4. Economic analysis of red tilapia fed varying levels of tamarind seed

Experimental diets	Feeding cost	
	Total cost (Baht/kg diet)	Feeding cost (Baht/kg fish gain)
TSM0	18.72	87.85
TSM20	18.18	65.58
TSM40	17.64	45.30
TSM60	17.1	53.15
TSM80	16.56	37.75
TSM100	16.02	27.70

วิจารณ์

เมล็ดมะขามเป็นวัตถุดิบพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะขามเพื่อการค้าและการส่งออก โดยเฉพาะในเขตจังหวัดเพชรบูรณ์ที่มีการเพาะปลูกและการแปรรูปในปริมาณที่มากที่สุดของประเทศ โดยวัตถุดิบพลอยได้นี้ยังคงสารอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ วัตถุดิบพืชโดยเฉพาะกลุ่มของพืชมีฝัก หรือ legumes ส่วนใหญ่พบว่ามีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (non-digestible carbohydrate) เช่น อะราบีโนกาแลคแทน (arabinogalactan) สตาคโคไอโซส (stachyose) ซูโครส (sucrose) และราฟฟิโนส (raffinose) (Achi, 2005) โดยพบว่าแหล่งของคาร์โบไฮเดรตเหล่านี้มีผลต่อความเครียดของทางเดินอาหาร ก่อให้เกิดอาการท้องอืด เพ้อ และลมในระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารต้านโภชนาการ (anti-nutritional factors) อื่น ๆ อีก เช่น ซาโปนิน (saponin) ทริปซินอินฮิบิเตอร์ (trypsin inhibitor) และแทนนิน (tannin) ที่ก่อให้เกิดความอยากอาหารลดลง อันนำไปสู่การเจริญเติบโตลดลง อย่างไรก็ตามหากนำวัตถุดิบไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนเช่น การต้ม คั่ว หรือแช่น้ำก็จะสามารถลดสารต้านโภชนาการลงได้ (Romarheim *et al.*, 2005; Boonyaratpalin *et al.*, 1998)

การศึกษาองค์ประกอบของเคมีของเนื้อในเมล็ดมะขามที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ พบว่ามีองค์ประกอบของโปรตีนถึง 16.18 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 9.48 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโนยังพบว่าเนื้อในเมล็ดมะขามยังมีองค์ประกอบของ

กรดอะมิโนทุกชนิดในปริมาณที่มากกว่าในเมล็ดเนื้อในข้าวโพด และข้าวโพดหมัก (ตารางที่ 5) จากการทดลองพบว่ากรดอะมิโนไลซีน และลิวซีนมีองค์ประกอบถึง 1,093 และ 1,184 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับซึ่งมีมากกว่าข้าวโพดทั้งสองชนิดถึง 22-28 และ 10-131 เท่าตามลำดับ กรดอะมิโนไลซีนถือเป็นกรดอะมิโนที่เป็นข้อจำกัดที่สำคัญลำดับต้น ๆ หรือ first limiting essential amino acid ของการผลิตอาหารสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอาหารที่มีองค์ประกอบของวัตถุดิบพืชในระดับสูง พบว่ามีไลซีนต่ำ (Hauler and Carter, 2001; NRC, 2011) เมื่อกล่าวถึงแนวความคิดของ ideal protein concept พบว่าระดับของไลซีนสามารถใช้เพื่อการทำนายความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นชนิดอื่น ๆ ได้ในปลา ระดับไลซีนที่เหมาะสมสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ ที่มีต่อการใช้กรดอะมิโนจำเป็นเพื่อการสังเคราะห์ และเผาผลาญเพิ่มขึ้น (Adesola *et al.*, 2017; Kerr and Easter, 1995) จึงมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ การสะสมไนโตรเจนในตัวปลาเพิ่มขึ้น แต่ระดับของไขมันในตัวปลาลดลง (Furuya *et al.*, 2012; Marcouli *et al.*, 2006) ส่วนกรดอะมิโนลิวซีนพบว่าช่วยกระตุ้น mTOR pathway ที่ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนในตับและกล้ามเนื้อในปลาเรนโบว์ เทราท์ ที่มี 4E-BP family (Anand and Gruppuso, 2006), S6K1 (Miao *et al.*, 2017) และ eIF4E (Anthony *et al.*, 2000) เป็นกลุ่มยีนที่เป็น transcription factors ของ mTOR Lansard *et al.* (2011) พบว่ากรดอะมิโนลิวซีนสามารถฟอสฟอริเลตไลโอโซมอลโปรตีนชนิด S6 ที่ทำหน้าที่กระตุ้น target of

Table 5. Proximate composition and amino acid content of tamarind seed meal

Proximate composition ¹		Essential amino acids (mg/100g)				Non-essential amino acids (mg/100g)			
	Percent		Tamarind	Corn ²	Ogi meal ³		Tamarind	Corn ²	Ogi meal ³
Crude protein	16.18 ± 0.96	Lysine	1,093	37.9	47.97	Aspartic acid	1,516	70.7	77.37
Crude lipid	9.48 ± 0.33	Valine	432	51.6	57.63	Glycine	821	41.7	39.80
Moisture	1.47 ± 0.32	Leucine	1,184	113	8.72	Alanine	905	79.2	36.38
Ash	1.47 ± 0.32	Isoleucine	692	36.3	22.32	Proline	801	99.4	93.25
Fiber	1.47 ± 0.16	Threonine	501	39.5	24.93	Tyrosine	550	ND	38.52
		Phenylalanine	705	81.1	46.40	Serine	814	44.6	33.75
		Arginine	675	79.4	31.88	Glutamic acid	2,303	79.2	138.08
		Histidine	386	38.1	14.59	Cysteine	481	ND	10.64
		Methionine	189	34.7	7.10				
		Tryptophan	130	15.8	3.20				

¹Values are means ± S.D. of three replicates

²whole kernel of corn which determined by Naves *et al.* (2011)

³Ogi is fermented powder producing from corn meal (Makanjoula and Moses, 2011)

ND is not determined

rapamycin (TOR) pathway ในตับของปลาเรนโบว์เทราท์ และในตับอ่อนของปลาคาร์พ จีเบล (Zou *et al.*, 2018) นอกจากนี้การเสริมลิซีนที่ระดับ 1.74 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการกระตุ้นการแสดงออกของยีน TOR ในตับปลา blunt snout bream (Ren *et al.*, 2015)

อาหารผสมเนื้อในเมล็ดมะขามป่นที่ระดับเพิ่มขึ้นพบว่าส่งผลทำให้ปลานิลแดงมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นดังเห็นได้จากน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่มีระดับที่สูง (ตารางที่ 2) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประกอบด้วย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตรา ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (ตารางที่ 3) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม การทดลองนี้จึงแสดงให้เห็นว่าระดับของเนื้อในเมล็ดมะขามป่นมีผลต่อการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นในเนื้อในเมล็ดมะขามป่นในระดับที่สูง และสามารถตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของปลานิลแดงได้เป็นอย่างดี โดยการศึกษาของ Bashir and Suleiman (2018) พบว่าเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการหมักสามารถทดแทนการใช้กากถั่วเหลืองได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตามพบว่าไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ พรทิศา และคณะ (2560) ที่ทำการศึกษากการใช้เมล็ดมะขามในอาหารปลานิลวัยอ่อนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.6 กรัม ต่อตัว โดยอาหารผสมด้วยเมล็ดมะขามที่ระดับต่าง ๆ ประกอบด้วยระดับ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการทดลองพบว่าปลานิลสามารถใช้เมล็ดมะขามเพื่อการเจริญเติบโตได้สูงสุดเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าเมล็ดมะขามที่ยังคงมีเปลือกหุ้มเมล็ดพบว่ามีองค์ประกอบของเยื่อใย (Ochowu *et al.*, 2014) และแทนนินในระดับที่สูง โดยการศึกษาที่ใช้เมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่สามารถช่วยลดความเป็นพิษของแทนนินลดลงได้ (นฤมล, 2557)

สรุป

การศึกษากการใช้เนื้อในเมล็ดมะขามที่ระดับต่าง ๆ จำนวน 6 ระดับประกอบด้วย 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ในอาหารปลานิลแดงเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์พบว่าปลานิลแดงที่ได้รับอาหารผสมเนื้อในเมล็ดมะขามที่ระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ (TSM100) มีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และโปรตีนสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม (TSM0) นอกจากนี้ยัง

เป็นระดับที่มีราคาอาหารและราคาอาหารต่อน้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมต่ำที่สุด ดังนั้นเนื้อในเมล็ดมะขามจึงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสำหรับการผลิตอาหารปลาได้เป็นอย่างดี และสามารถลดต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่อง “การศึกษาการใช้ประโยชน์จากเมล็ดมะขามป่นในอาหารปลานิลแดง” ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประเภททุนสร้างสถานภาพนักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2560 เลขที่โครงการ 2560-วช(อ)(ทบ)/79/2560 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกงานทดลองเสร็จสิ้นสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

นฤมล อัครเทศมณี. 2557. โภชนศาสตร์และการให้อาหารปลา. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 206 หน้า.

พรทิตา ทองสนธิกาญจน์ ธนภัทร วรปัสสุ และ ณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์. 2560. การเสริมเมล็ดมะขามในอาหารปลานิล. รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 10 วันที่ 29-31 พฤษภาคม 2560. พัทยา ชลบุรี.

อนุรักษ์ เขียวจระเขต. 2561. ผลของเศษปลาหมักต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและสารอาหารของปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*). วารสารเกษตร 34(2): 287-296.

Achi, O.K. 2005. Traditional fermented protein condiments in Nigeria. African Journal of Biotechnology 4(13): 1612-1621.

Adesola, A.A., C.L.W. Jones and T.A. Shipton. 2017. Dietary lysine requirement of juvenile dusky

kob, *Argyrosomus japonicus*. Aquaculture Nutrition 24: 674-680.

Anand, P. and P.A. Gruppuso. 2006. Rapamycin inhibits liver growth during refeeding in rats via control of ribosomal protein translation but not cap-dependent translation initiation. Journal of Nutrition 136: 27-33.

Anthony, J.C., T.G. Anthony, S.R. Kimball, T.C. Vary and L. S. Jefferson. 2000. Orally administered leucine stimulates protein synthesis inskeletal muscle of postabsorptive rats in association with increased eIF4F formation. Journal of Nutrition 130: 139-145.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. AOAC, Washington, D.C.

Bashir, A.Y. and B. Suleiman. 2018. Growth and feed utilization value of fermented *Tamarindus indica* L. seed in the diet of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 18: 905-911.

Bhadoriya, S.S., A. Ganeshpurkar, J. Narwaria, G. Rai and A.P. Jain. 2011. *Tamarindus indica*: extent of explored potential. Pharmacognosy Review 5(9): 73-81.

Boonyaratpalin, M., P. Suraneiranat and T. Tunpibal. 1998. Replacement of fish meal with various types of soybean products in diets for the Asian seabass, *Lates calcarifer*. Aquaculture 161: 67-78.

Furuya, W.M., T.S. Graciano, L.V.O. Vidal, T.O. Xavier, L.D. Gongora, J.S. Righetti and V.R.B. Furuya. 2012. Digestible lysine requirement of Nile tilapia fingerlings fed arginine-to-lysine-balanced diets. Revista Brasileira de Zootecnia 41: 485-490.

- Hauler, R.C. and C.G. Carter. 2001. Reevaluation of the quantitative dietary lysine requirements of fish. *Reviews in Fisheries Science* 9: 133-163.
- Kerr, B.J. and R.A. Easter. 1995. Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs. *Journal of Animal Science* 73: 3000-3008.
- Lansard, M., S. Panserat, E. Plagnes-Juan, K. Dias, I. Seilliez and S. Skiba-Cassy. 2011. L-leucine, L-methionine, and L-lysine are involved in the regulation of intermediary metabolism-related gene expression in rainbow trout hepatocytes. *Journal of Nutrition* 141: 75-80.
- Makanjuola, and O. Moses. 2011. Amino acid profile of powdered fermented maize meal (Ogi) fortified with powdered unfermented locust bean seeds (*Pakia biglobosa*). *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology* 11: 28-32.
- Marcouli, P. A., M.N. Alexis, A. Andriopoulou and J. Iliopoulou-Georgudak. 2006. Dietary lysine requirement of juvenile gilthead seabream, *Sparus aurata* L. *Aquaculture Nutrition* 12: 25-33.
- Miao, L. P., C. Yuan, X. Y. Dong, X. Y. Zhang, M. Y. Zhou and X. T. Zou. 2017. Effects of dietary L-arginine levels on small intestine protein turnover and the expression of genes related to protein synthesis and proteolysis of layers. *Poultry Science* 96: 1800-1808.
- Naves, M.M.V., M.V.L.de Castro, A.L. de Mendonca, G.G. Santos and M.S. Silva. 2011. Corn germ with pericarp in relation to whole corn: nutrient contents, food and protein efficiency, and protein digestibility-corrected amino acid score. *Food Science and Technology* 31: 264-269.
- Nguta, J.M. and J.M. Mbaria. 2013. Brine shrimp toxicity and antimalarial activity of some plants traditionally used in treatment of malaria in Msambweni district of Kenya. *Journal of Ethnopharmacology* 148: 988-992.
- NRC (National Research Council) 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. The National Academies Press, Washington, D.C.
- Ochokwu I. J., L. U. Onyia and K. O. Ajjola. 2014. Effect of *Azanza garckeana* (Goron Tula) pulp meal inclusion on growth performance of *Clarias gariepinus* Broodstock (Burchell, 1822). *Nigeria Journal of Tropical Agriculture* 14: 134-146.
- Ren, M., Habte-Tsion, H.-M., B. Liu, L., Miao, X. Ge, J. Xie, H. Liang, Q. Zhou and L. Pan. 2015. Dietary leucine level affects growth performance, whole body composition, plasma parameters and relative expression of TOR and TNF- α in juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*. *Aquaculture* 448: 162-168.
- Romarheim, O.H., M.A. Aslaksen, T. Storebakken, A. Krogdahl and A. Skrede. 2005. Effect of extrusion on trypsin inhibitor activity and nutrient digestibility of diets based on fish meal, soybean meal and white flakes. *Archives of Animal Nutrition* 59: 365-375.
- Sole, S. S., B. P. Srinivasan and A. S. Akarte. 2013. Anti-inflammatory action of tamarind seeds reduces hyperglycemic excursion by repressing pancreatic β -cell damage and normalizing SREBP-1c concentration. *Pharmaceutical Biology* 51: 350-360.

- Vargas-Olvera, C.Y., D.J. Sanchez-Gonzalez, J.D. Solano, F.A. Aguilar-Alonso, F. Montalvo-Munoz, C. M. Martinez-Martinez, O. N. Medina-Campos and M. E. Ibarra-Rubio. 2012. Characterization of N-diethylnitrosamine-initiated and ferric nitrilotriacetate-promoted renal cell carcinoma experimental model and effect of a tamarind seed extract against acute nephrotoxicity and carcinogenesis. *Molecular and Cellular Biochemistry* 369: 105-117.
- Zou, T., S.P. Cao, W.J. Xu, D. Han, H.K. Liu, Y.X. Yang, J.Y. Jin, X.M. Zhu and S.Q. Xie. 2018. Effects of dietary leucine levels on growth, tissue protein content and relative expression of genes related to protein synthesis in juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III) . *Aquaculture Research* 49: 2240-2248.
-

ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในสวัสดิการของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

Factor Affecting Satisfaction on Fringe Benefits of Agricultural Extension Officers in Upper North of Thailand

อารุณี ลอยมา¹ จุฑาทิพย์ เฉลิมผล^{1*} รุจ ศิริสัญญาลักษณ์¹ และ พัทย์รัตน์ ภาสน์พิพัฒน์กุล²
Arunee Loyma¹, Juthathip Chalermphol^{1*}, Ruth Sirisunyaluk¹ and Pathairat Pastpipatkul²

¹ภาควิชาพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

²คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Faculty of Economics, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: Jutha073@gmail.com

(Received: 14 August 2018; Accepted: 28 January 2019)

Abstract: The purpose of this research is to study: 1) conditions of agricultural extension officers under agency welfare support; 2) factors affecting the level of satisfaction of agricultural extension officers regarding agency welfare support; 3) issues, obstacles and limitations of agency welfare support for agricultural extension officers. The sample consists of 238 agricultural extension officers from 8 provinces in the upper north of Thailand, including Chiang Mai, Chiang Rai, Lamphun, Lampang, Phrae, Nan, Phayao, and Mae Hong Son. Most agricultural extension officers have knowledge in mind about fringe benefits of agricultural extension officers. In the right to disburse medical expenses as well from the research results found that 95.38 percent of the agricultural extension officers have knowledge about the right to disburse medical expenses. Fringe benefits eligibility for disbursement of medical expenses is the basic of fringe benefits that all officers set up. But there are also agricultural extension officers representing 5.56 percent who are unsure of receiving various benefits from the officer. Data analysis is conducted using STATA statistical software and probit models. Regarding the level of satisfaction of agricultural extension officers with respect to officers fringe benefits support, it was found that those who participated in credit quality improvement projects for civil servants with the Government Savings Bank were overall more satisfied with the welfare support they received, at 18.03%, than those indebted to the Department of Agricultural Extension Savings and Credit Cooperative, while the level of satisfaction regarding agency welfare support of agricultural extension officers specializing in food science and technology was 27.46% higher than that of agricultural extension officers specializing in other fields. Regarding issues, obstacles and limitations of agency welfare support for agricultural extension officers, it was found that budget support for projects provided insufficient allowances for agricultural extension officers, hindering their performance. Suggestions made by agricultural extension officers included increasing budgets in order to support wider areas, and increasing the number of available transport vehicles in order to facilitate more seamless and efficient operations.

Keywords: Factor, satisfaction, benefit, agricultural extension officers, upper north of Thailand

บทคัดย่อ: การศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) สภาพการได้รับสวัสดิการของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร 2) ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรต่อสวัสดิการของหน่วยงาน 3) ปัญหา อุปสรรค และข้อจำกัดในการทำงานภายใต้การสนับสนุนสวัสดิการของหน่วยงาน ประชากรเป้าหมาย คือ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร 8 จังหวัดในภาคเหนือตอนบน ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปางแพร่ น่าน พะเยา แม่ฮ่องสอน จำนวนทั้งหมด 589 คน ซึ่งทำการสุ่มตัวอย่างมาจำนวน 238 ราย ผลการศึกษา พบว่า สภาพการได้รับสวัสดิการของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรส่วนใหญ่มีความรู้ความเข้าใจ ในสิทธิการเบิกจ่ายค่ารักษาพยาบาลเป็นอย่างดี จากผลการวิจัยพบว่า คิดเป็นร้อยละ 95.38 เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมีความรู้ในเรื่องสิทธิการเบิกจ่ายค่ารักษาพยาบาล สวัสดิการสิทธิการเบิกจ่ายค่ารักษาพยาบาลเป็นสวัสดิการพื้นฐานที่ทุกหน่วยงานกำหนดขึ้น แต่ยังมีเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร คิดเป็นร้อยละ 5.56 ที่ไม่แน่ใจในการได้รับสวัสดิการด้านต่าง ๆ จากหน่วยงาน การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่ พบว่าเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่เข้าร่วมโครงการสินเชื่อเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตข้าราชการพลเรือนสามัญกับธนาคารออมสินมีแนวโน้มพึงพอใจต่อสวัสดิการมากขึ้น ร้อยละ 18.03 เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่มีภาระหนี้สินกับสหกรณ์ออมทรัพย์กรมส่งเสริมการเกษตร เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่จบสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารมีแนวโน้มมีความพึงพอใจในสวัสดิการมากขึ้น ร้อยละ 27.46 เมื่อเทียบกับ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่จบในด้านสาขาวิชาอื่น ๆ ด้านปัญหาและอุปสรรคของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในการสนับสนุนสวัสดิการจากหน่วยงาน พบว่า งบประมาณสนับสนุนในการดำเนินงานแต่ละโครงการ เช่น ค่าเบี้ยเลี้ยงเดินทางไปปฏิบัติราชการไม่เพียงพอต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ซึ่งเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรได้เสนอว่าควรมีการเพิ่มงบประมาณในการออกพื้นที่และเพิ่มยานพาหนะที่ใช้ในการเดินทางที่มีอย่างจำกัด เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างคล่องตัวและมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ปัจจัย ความพึงพอใจ สวัสดิการ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ภาคเหนือตอนบน

คำนำ

งานส่งเสริมการเกษตร เป็นงานที่เกี่ยวกับการให้คำปรึกษา เป็นหน่วยงานที่สนับสนุนและอำนวยความสะดวกให้กับผู้ที่มีส่วนร่วมในการผลิตทางการเกษตร เพื่อแก้ไขปัญหาด้านการได้รับข้อมูล ทักษะ และเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาวิถีชีวิตของเกษตรกร งานส่งเสริมการเกษตรสามารถจัดการและส่งเสริมได้หลากหลายรูปแบบ แต่เป้าหมายสูงสุดคือ การเพิ่มผลผลิตและรายได้ของเกษตรกร การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพอย่างแท้จริง และมีศักยภาพ (Anderson and Feder, 2003) นักส่งเสริมการเกษตรมีบทบาทหน้าที่สำคัญในการพัฒนาภาคการเกษตร การทำโครงการส่งเสริมการผลิตสินค้าด้านการเกษตรเพื่อให้เพียงพอต่อการบริโภค ปัญหาในการปฏิบัติงานด้านการส่งเสริมการเกษตรของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร คือ รัฐบาลมีงบประมาณไม่เพียงพอในการสนับสนุนการดำเนินงาน

ด้านการส่งเสริมการเกษตร ในการจัดทำเอกสารที่ทันสมัยเพื่อใช้ในการถ่ายทอดความรู้ให้แก่เกษตรกร (ต่อพันธ์, 2544) ภายใต้ พ.ร.บ. ข้าราชการพลเรือน ปี พ.ศ. 2551 ตำแหน่งนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรระดับปฏิบัติการ นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรระดับชำนาญการ นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรระดับชำนาญการพิเศษ และนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรระดับเชี่ยวชาญ สายงานนี้ยังครอบคลุมไปถึงตำแหน่งต่าง ๆ ที่ปฏิบัติงานวิชาการส่งเสริมการเกษตร ซึ่งมีลักษณะงานที่ปฏิบัติเกี่ยวกับการศึกษา วิเคราะห์ และวิจัยทางด้านส่งเสริมการเกษตร เช่น การศึกษาข้อมูลการผลิต การพัฒนาระบบและวิธีการส่งเสริมการเกษตร การถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร การจัดกระบวนการเรียนรู้และกระบวนการกลุ่มของเกษตรกร การให้บริการวิชาการ ด้านการจัดการการผลิตในพื้นที่ ให้คำปรึกษา แนะนำและบริการข้อมูลด้านการเกษตร การพัฒนากลุ่มส่งเสริมอาชีพการเกษตร และพัฒนาคอร์สเพื่อสร้างความ

เข้มแข็งของชุมชนเกษตร และปฏิบัติหน้าที่อื่นที่เกี่ยวข้อง (สำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน, 2551)

จากสำนักงานสถิติแห่งชาติ พบว่าข้าราชการมีแนวโน้มความสามารถในการชำระหนี้ถดถอยลง คือ จากที่มีหนี้สินมากกว่ารายได้เฉลี่ยต่อเดือน 16.8 เท่า ในปี พ.ศ. 2547 ปริมาณหนี้สินปรับตัวเพิ่มขึ้นเป็น 20 เท่าของรายได้เฉลี่ยต่อเดือน ในปี พ.ศ. 2553 เมื่อเปรียบเทียบรายได้ และค่าใช้จ่ายของข้าราชการในแต่ละตำแหน่ง จะเห็นได้ว่า ครอบครัวข้าราชการระดับปฏิบัติงานเป็นกลุ่มที่เสี่ยงต่อการที่มีรายได้ไม่เพียงพอต่อการดำรงชีพมากที่สุด คือ มีสัดส่วนค่าใช้จ่ายต่อรายได้สูงถึงร้อยละ 91.5 รองลงมาเป็นกลุ่มประเภทวิชาการ ระดับปฏิบัติการ ร้อยละ 88.7 เพื่อให้สามารถดำรงชีพอยู่ได้ข้าราชการกลุ่มนี้จำเป็นต้องนำเงินในอนาคตมาใช้จ่าย หรือมีการก่อหนี้ตั้งแต่อายุน้อย ในขณะที่ยังต้องชำระหนี้ข้าราชการประเภทวิชาการ ระดับชำนาญการพิเศษขึ้นไป ผู้อำนวยการ ผู้บริหารมีสัดส่วนของค่าใช้จ่ายต่อรายได้ไม่เกินร้อยละ 65 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2553) ปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจก็มีผลกระทบกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร และท้ายที่สุดจะส่งผลกระทบต่อ ฐานส่งเสริมการเกษตร ซึ่งปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจรวมไปถึง ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และ ค่าเบี้ยเลี้ยงประจำวัน (Nafees et al., 2014)

ในเขตภาคเหนือตอนบนซึ่งประกอบด้วย จังหวัด เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน พะเยาแพร่ น่าน และ แม่ฮ่องสอน มีเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรรวมแปด จังหวัดเป็นจำนวน 589 คน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556ก) มีภารกิจเกี่ยวกับการส่งเสริมและพัฒนาเกษตรกร ครอบครัวยุทธศาสตร์ องค์การเกษตรกร และ วิสาหกิจชุมชน การส่งเสริมและพัฒนาเพิ่มศักยภาพการผลิต การแปรรูป การเพิ่มมูลค่า การพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์ โดยการศึกษา วิจัย พัฒนา กำหนดมาตรการและแนวทางในการส่งเสริมการเกษตร ตลอดจน การถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร และการให้บริการทางการเกษตร เพื่อให้เกษตรกรมีอาชีพและรายได้ที่มั่นคง มีคุณภาพชีวิตที่ดีและพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556ข) ลักษณะการทำงานที่ต้องพบปะเกษตรกร มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางและค่าเบี้ย

เลี้ยงในระหว่างวัน ที่จะสามารถสนับสนุนให้เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ได้ทำงานให้สะดวกและง่ายขึ้น และในพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึง ยานพาหนะถือเป็นสิ่งสำคัญต่อเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ในแต่ละพื้นที่ หน่วยงานที่เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรสังกัด มีนโยบายการสนับสนุนค่าเดินทางและเบี้ยเลี้ยงที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจว่า เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมีความรู้ความเข้าใจในสวัสดิการเหล่านี้จากหน่วยงาน รวมถึงมีความพึงพอใจต่อสวัสดิการเหล่านี้เพียงใด ซึ่งปัจจัยทางเศรษฐกิจเหล่านี้อาจมีผลกระทบต่อการดำเนินงานของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร

ดังนั้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในสวัสดิการของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เพื่อเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยไปปรับใช้ในการวางแผนการจัดสวัสดิการให้กับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร เพื่อเป็นขวัญและกำลังใจในการทำงานต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นครั้งนี้ คือ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ตามรายชื่อในทะเบียน ปี 2559 จำนวน 589 ราย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556ข) กำหนดขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตรของ Taro Yamane (Yamane, 1973) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยยอมให้ความคลาดเคลื่อนในการสุ่มได้ร้อยละ 5 ได้ขนาดตัวอย่าง 238 ราย ทำการสุ่มตัวอย่างโดย วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (sample random sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นครั้งนี้เป็นแบบสอบถาม (questionnaire) ผู้วิจัยสร้างขึ้นจากการค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และวัตถุประสงค์ของการวิจัย ที่ผู้วิจัยต้องการศึกษา เป็นคำถามแบบปลายปิดและปลายเปิด (close end and open ended questions)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูปเพื่อการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (STATA) สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลคือสถิติพรรณนาและใช้สถิติอ้างอิงคือแบบจำลองโพรบิต (ordered-probit model) ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตามที่มีลักษณะแบบสองทางเลือก (binary choice dependent variable)

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรร้อยละ 52.52 เป็นเพศหญิง มีอายุเฉลี่ย 42.46 ปี ร้อยละ 69.33 จบการศึกษาในระดับปริญญาตรี ร้อยละ 55.88 มีตำแหน่งนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรชำนาญการ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรรายได้รวมต่อเดือน อยู่ระหว่าง 20,001-25,000 และส่วนใหญ่ จำนวนร้อยละ 81.09 มีภาระหนี้สิน โดยร้อยละ 42.44 มีการกู้ยืมจากสหกรณ์ออมทรัพย์กรมส่งเสริมการเกษตร ในด้านสาขาที่สำเร็จการศึกษา ร้อยละ 44.96 จบสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องเฉพาะคือ พืชไร่ พืชสวน และโรคพืช

จากการศึกษาสภาพการได้รับสวัสดิการ พบว่า เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรส่วนใหญ่อ้อยละ 58.30 มีความรู้ความเข้าใจ ในสวัสดิการที่ได้รับจากหน่วยงานเป็นอย่างดี จากผลการวิจัยพบว่า 5 อันดับแรกของสวัสดิการที่เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรตอบว่าได้รับมากที่สุดได้แก่ อันดับที่ 1 สิทธิการเบิกจ่ายค่ารักษาพยาบาลทั่วไปร้อยละ 95.38 อันดับที่ 2 สวัสดิการค่าเบี้ยเลี้ยงในการเดินทาง ร้อยละ 92.02 อันดับที่ 3 เป็นสวัสดิการค่ารักษาพยาบาล กรณีผู้ป่วยในสถานพยาบาลของราชการ ร้อยละ 89.08 อันดับที่ 4 สวัสดิการด้านการตรวจสุขภาพประจำปี ร้อยละ 82.77 อันดับที่ 5 สวัสดิการเกี่ยวกับการศึกษาของบุตรร้อยละ 78.57 ดังแสดงในตารางที่ 1

ในด้านความรู้ของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรเกี่ยวกับสวัสดิการณข้าราชการ กพ. ในสังกัดกรมส่งเสริมการเกษตรพบว่าเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรจำนวนร้อยละ 58.30 มีความรู้เรื่องสวัสดิการต่าง ๆ ที่ตนได้รับจากหน่วยงานเป็นอย่างดี มีเพียงร้อยละ 5.56 ที่ไม่มีความรู้ และตอบคำถามเรื่องการได้รับสวัสดิการจากหน่วยงาน ว่าตนไม่ได้รับสวัสดิการต่าง ๆ และมีเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ร้อยละ 36.14 ที่ตอบคำถามว่าตนไม่แน่ใจว่าได้รับสวัสดิการต่าง ๆ เหล่านี้หรือไม่ ดังแสดงในตารางที่ 2

Table 1. Receiving on fringe benefits of agricultural extension officers

Fringe benefits	Receiving on fringe benefits		
	Receiving (Percent)	Non-receiving (Percent)	Uncertain (Percent)
1. General medical expenses	95.38	2.521	2.101
2. Travel allowance	92.02	5.882	2.101
3. Medical fee eligibility in-patient cases in the government hospital	89.08	4.202	6.723
4. Annual health examination	82.77	6.303	10.50
5. Fringe benefits of child education	78.57	9.664	11.76

Table 2. Knowledge in fringe benefits received of agricultural extension officers

Knowledge in fringe benefits	(Percent)
Knowledgeable	58.30
Unknowledgeable	5.56
Uncertain	36.14

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในสวัสดิการที่ได้รับจากหน่วยงาน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ STATA โดยใช้ Probit model เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ในตารางที่ 3 พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในสวัสดิการของเจ้าหน้าที่ส่งเสริม ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานทางด้านบุคคล เศรษฐกิจ และ สังคมที่มีระดับนัยสำคัญและมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวก หรือตัวแปรเชิงบวก ได้แก่ รายได้รวมต่อเดือนซึ่งน้อยกว่า 15,000 บาท ภาระหนี้สินกับ ธนาคารไทยพาณิชย์ ธนาคารกรุงไทย ธนาคารออมสิน สาขาวิชาที่สำเร็จการศึกษา ซึ่งเมื่อปัจจัยดังกล่าว มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อระดับความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรเพิ่มสูงขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่มีรายได้น้อยกว่า 15,000 บาท จะมีความพึงพอใจมากกว่าผู้ที่มีเงินเดือนมากกว่านี้ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่มีภาระหนี้สินกับธนาคารออมสินจะมีความพึงพอใจมากกว่า เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่มีภาระหนี้สินกับธนาคารออมทรัพย์กรมส่งเสริมการเกษตร เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่สำเร็จการศึกษา สาขาวิชา พืชไร่พืชสวน โรคพืช ปศุสัตว์และอนุรักษ์ศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สัตว์บาลและกีฏวิทยา ส่งเสริมการเกษตรเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่สำเร็จการศึกษาด้านนี้ จะมีแนวโน้มที่จะพึงพอใจมากกว่าผู้ที่สำเร็จการศึกษาสาขาอื่น ๆ เช่น เศรษฐศาสตร์ สังคมศาสตร์ และ วิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ ดังแสดงในตารางที่ 3

การพิจารณาผลกระทบส่วนเพิ่ม (marginal effect) ในตารางที่ 4 โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของปัจจัยพื้นฐานทางด้านบุคคล เศรษฐกิจ และ สังคมที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรเมื่อปัจจัยของพื้นฐานทางด้านบุคคล เศรษฐกิจ และ สังคมเปลี่ยนแปลงไป พบว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบต่อระดับความพึงพอใจดังนี้

1) เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่มีภาระหนี้สินกับธนาคารออมสิน มีแนวโน้มพึงพอใจมากขึ้น ร้อยละ 18.03 เมื่อเทียบกับ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่มีภาระหนี้สินกับสหกรณ์ออมทรัพย์กรมส่งเสริมการเกษตร

2) เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรจบด้านสาขาวิชาเชี่ยวชาญเฉพาะ พืชไร่ พืชสวน โรคพืชมีแนวโน้มพึงพอใจมากขึ้น ร้อยละ 24.63 เมื่อเทียบกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรจบด้านสาขาวิชาเชี่ยวชาญเฉพาะอื่น ๆ เศรษฐศาสตร์ สังคมศาสตร์ และ วิทยาศาสตร์บริสุทธิ์

3) เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรจบด้านสาขาวิชาเชี่ยวชาญเฉพาะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารมีแนวโน้มพึงพอใจมากขึ้น ร้อยละ 27.46 เมื่อเทียบกับ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรจบด้านสาขาวิชาเชี่ยวชาญเฉพาะอื่น ๆ แสดงในตารางที่ 4

ในด้านปัญหาในการรับสวัสดิการของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรพบว่าปัญหาสำคัญ 3 อันดับแรก คือ

1. งบประมาณสนับสนุนในการดำเนินงานแต่ละโครงการ แต่ละกิจกรรมมีน้อยไม่เพียงพอต่อจำนวนโครงการที่มีอยู่จริง การจัดสรรงบประมาณ ไม่กระจายอย่างทั่วถึง

2. ค่าเบี้ยเลี้ยงเดินทางไปปฏิบัติราชการ มีน้อยไม่เพียงพอ

3. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ไม่ได้รับการสนับสนุนตามความเป็นจริงในการออกไปปฏิบัติราชการ พาหนะในการเดินทางออกไปปฏิบัติหน้าที่มีไม่เพียงพอ

Table 3. Probit model estimation of the satisfaction of agricultural extension officers on the fringe benefits

Independent variables	Maximum likelihood estimates		
	Coefficient	Standard error	$P > Z$
Female	-0.216	0.201	0.282
Age	-0.003	0.011	0.784
Education bachelor degree	-0.411	0.571	0.472
Education master degree	-0.378	0.586	0.518
Agricultural extension specialist	-4.530	213.645	0.983
Agricultural extension agent	-4.315	213.646	0.984
Agricultural extension officer	-4.533	231.645	0.983
Part time job as sale	-0.146	0.377	0.698
Part time job as other service	-0.526	0.487	0.281
Part time job as farm owner	-0.627	0.385	0.104
Part time job as business owner or lecturer	-0.100	0.384	0.793
Income per month less than 15,000 Baht	0.029	0.879	0.973
Income per month between 15,000 - 20,000 Baht	-0.654	0.419	0.118
Income per month between 20,000 - 25,000 Baht	-0.155	0.310	0.617
Income per month between 25,001 - 30,000 Baht	-0.010	0.468	0.982
Have to pay monthly liability bill	-0.380	0.334	0.256
Siam Commercial Bank	0.233	0.732	0.751
Kasikorn Bank	-0.297	0.545	0.585
Krungthai Bank	0.347	0.232	0.135
Department of Agricultural Extension Savings and Credit Cooperative	-0.407	0.444	0.359
Government Housing Bank	-0.190	0.254	0.841
Government Savings Bank	0.530	0.312	0.090*
Specialization in agronomy, horticulture and plant pathology	0.675	0.319	0.034**
Specialization in soil science and conservation	0.920	0.734	0.210
Specialization in food science and technology	0.942	0.519	0.070*
Specialization in animal, aquatic sciences and entomology	0.170	0.484	0.725
Specialization in agricultural extension	0.172	0.320	0.591
Specialization in agricultural economics and management	-0.530	0.781	0.497

Remarks: * Significant at 0.05

** Significant at 0.01

Log Likelihood Function -138.614

Table 4. The results of marginal effect from probability analysis (Probit)

Independent variables	Maximum likelihood estimates		
	Coefficient	Standard error	$P > Z$
Bank debt of Government Savings Bank	0.180	0.198	0.090*
Specialization in agronomy, horticulture and plant pathology	0.246	0.319	0.034**
Specialized in food science and technology	0.274	0.519	0.070*

Remarks: * Significant at 0.05

** Significant at 0.01

Log Likelihood Function -138.614

วิจารณ์

จากการศึกษาลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล ของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร พบว่าส่วนใหญ่มีอาชีพเสริมแตกต่างกันไป เช่น ร้อยละ 57.14 รับจ้างทั่วไป ธุรกิจส่วนตัว เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรร้อยละ 51.68 มีรายได้อยู่ที่ 20,001-25,000 บาท และร้อยละ 42.44 มีภาระหนี้สิน โดยร้อยละ 81.09 มีภาระหนี้สินกับธนาคารสหกรณ์ออมทรัพย์กรมส่งเสริมการเกษตร ผลที่ได้ในด้านหนี้สินสอดคล้องกับงานวิจัยของ อติสรณ์ (2557) เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ร้อยละ 83.33 มีภาระหนี้สินกับธนาคารสหกรณ์ออมทรัพย์กรมส่งเสริมการเกษตร ทั้งนี้เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ร้อยละ 30.00 ให้เหตุผลในการกู้ยืมเพื่อการศึกษา รองลงมาคือเพื่อซื้อหรือต่อเติมที่อยู่อาศัย อันดับที่สามกู้เพื่อใช้จ่ายในครอบครัว อันดับสี่กู้เพื่อชำระหนี้สินเดิม และอันดับสุดท้ายกู้เพื่อซื้อยานพาหนะรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์

ในด้านสภาพการได้รับสวัสดิการของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร พบว่าเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรส่วนใหญ่มีความรู้ความเข้าใจ ในสิทธิการเบิกจ่ายค่ารักษาพยาบาลเป็นอย่างดี จากผลการวิจัยพบว่า ร้อยละ 95.38 ของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมีความรู้ในเรื่องสิทธิการเบิกจ่ายค่ารักษาพยาบาล สวัสดิการสิทธิการเบิกจ่ายค่ารักษาพยาบาลเป็นสวัสดิการพื้นฐานที่ทุกหน่วยงานกำหนดขึ้น เจ้าหน้าที่ส่งเสริมส่วนใหญ่ มีการใช้สวัสดิการสิทธิการเบิกจ่ายค่ารักษาพยาบาล จึงมีความรู้ความเข้าใจในเงื่อนไขการรับสิทธิ และขั้นตอนในการเข้ารับบริการเป็นอย่างดี สวัสดิการรองลงมาเป็นสวัสดิการใน

เรื่องของค่าเดินทาง ร้อยละ 92.02 ของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมีความรู้ในสวัสดิการค่าเบี้ยเลี้ยงในการเดินทาง เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร มีหน้าที่ในการออกพื้นที่เพื่อส่งเสริมเกษตรกร ดังนั้นการเบิกจ่ายเบี้ยเลี้ยงค่าเดินทางจึงเป็นสวัสดิการที่ถูกใช้บ่อยในเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร และมีความรู้ความเข้าใจในขั้นตอนการเบิกจ่ายเป็นอย่างดี แต่ยังมีตัวเลขเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ร้อยละ 4.20 ที่ไม่ได้รับสวัสดิการการเดินทาง และร้อยละ 6.72 ไม่แน่ใจว่ามีความรู้ในด้านสวัสดิการการเดินทาง และไม่ทราบว่าตนเองนั้นได้รับสวัสดิการจากหน่วยงาน จากการศึกษาการได้รับสวัสดิการเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรได้รับการสนับสนุนคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ในการทำงาน และการบำรุงรักษาน้อยที่สุด ร้อยละ 63.03 เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ไม่ได้รับสวัสดิการการสนับสนุนคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการทำงาน รวมถึงค่าบำรุงรักษาจากการศึกษา พบว่า ทางสำนักงานส่งเสริมการเกษตรไม่มีงบประมาณในการจัดสรรคอมพิวเตอร์ให้แก่เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์สำคัญในการเข้าไปปฏิบัติงาน ใช้ในการเก็บข้อมูล นำเสนอข้อมูล และค้นหาข้อมูล จากการเก็บข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ส่วนใหญ่ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนตัว สอดคล้องกับการศึกษาของพนัส และรุจ (2560) พบว่าเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรขาดการสนับสนุนการปฏิบัติงานตามระบบ MRCF จากหน่วยงานต้นสังกัด เช่น การสนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือในการปฏิบัติงาน และ บุคลากร โดยเฉพาะการจัดกิจกรรมเวทีชุมชน และพันธกิจดี และคณะ (2557) พบว่า ระบบส่งเสริม การเกษตร มีจุดอ่อนใน

ด้านทรัพยากรที่สนับสนุน เช่น งบประมาณน้อย งบประมาณค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภค ไม่เพียงพอ เทคโนโลยีที่ใช้ในหน่วยงานมีจำกัดและเก่ามาก ไม่ทันสมัยใช้ประโยชน์ได้น้อย วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือในการปฏิบัติงานขาดแคลน

จากการศึกษาปัจจัยที่ผลต่อระดับความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ในสวัสดิการที่ได้รับจากหน่วยงานพบว่าเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่มีภาระหนี้สินกับอาคารออมสิน มีแนวโน้ม พึงพอใจมากขึ้น ร้อยละ 18.03 เมื่อเทียบกับ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่มีภาระหนี้สินกับธนาคารสหกรณ์ออมทรัพย์กรมส่งเสริมการเกษตร ทั้งนี้เนื่องจากกรมส่งเสริมการเกษตรมีโครงการร่วมมือกับธนาคารออมสินโดย การกู้ยืมเงิน เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของข้าราชการพลเรือนให้ดีขึ้น ซึ่งคุณภาพชีวิตนั้นถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ เกี่ยวกับสวัสดิการและความสุขของมนุษย์ (ศิรินันท์ และคณะ, 2557) โครงการดังกล่าวให้กู้ได้ไม่เกิน 1.5 ล้านบาท ในระยะเวลาการผ่อนใช้คือ 60 ปี ซึ่งเป็นโครงการที่มีดอกเบี้ยต่ำ และระยะเวลาในการใช้คืนที่ขยายเวลาค่อนข้างนาน จึงอาจทำให้เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมีความพึงพอใจในการได้รับสวัสดิการนี้ มากกว่าโครงการให้กู้ยืมกับธนาคารอื่น ๆ นอกจากนี้การวิเคราะห์พบว่าเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรจบด้านสาขาวิชาเชี่ยวชาญเฉพาะ พืชไร่ พืชสวน โรคพืชมีแนวโน้ม มีความพึงพอใจมากขึ้น ร้อยละ 24.63 และ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรจบด้านสาขาวิชาเชี่ยวชาญเฉพาะ วิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีการอาหาร มีแนวโน้ม พึงพอใจมากขึ้น ร้อยละ 27.46 เมื่อเทียบกับ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรจบด้านสาขาวิชาเชี่ยวชาญเฉพาะอื่น ๆ อาจเกิดจากมีความรู้ความเข้าใจในเนื้องาน และ สถานที่ ที่ตนเองต้องไปทำงาน มีประสบการณ์จากการศึกษา และ การทำกิจกรรม ทำให้เจ้าหน้าที่การเกษตรที่จบจากสาขาวิชาเหล่านี้มีความเข้าใจ และ มีความพึงพอใจในสวัสดิการที่ได้รับมีแนวโน้มที่มากกว่าสาขาวิชาอื่น ๆ

สรุป

เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมีความรู้ความเข้าใจ ในเรื่องการได้รับสวัสดิการในระดับดี ร้อยละ 58.03 ส่วนมากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรจะมีความพึงพอใจในสวัสดิการโครงการเงินกู้ยืมจากสถาบันการเงิน การกู้ยืมเพื่อที่อยู่อาศัย และการกู้ยืมเพื่อใช้ในครัวเรือน เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมีความต้องการคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น จากการศึกษา ปัญหา และอุปสรรค พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการขาดงบประมาณในการสนับสนุนทั้งในเรื่องของอุปกรณ์ และ สวัสดิการพื้นฐาน ในการลงพื้นที่ของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร

ข้อเสนอแนะ

ผลจากการศึกษาความพึงพอใจต่อสวัสดิการที่ได้รับของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมีความพึงพอใจในสวัสดิการ ด้านการสนับสนุนเงินกู้จากสถาบันการเงิน ซึ่งเป็นโครงการร่วมมือของกรมส่งเสริมการเกษตร และสถาบันการเงินในโครงการกู้ยืมเงินดอกเบี้ยต่ำให้กับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร ควรมีการจัดทำโครงการสนับสนุนเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำอย่างต่อเนื่อง และมีการกำหนดเงื่อนไขในการกู้ยืมเงิน เพื่อไม่ให้เกิดภาระหนี้เสียในกลุ่มผู้กู้ยืม (เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร) และเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรต้องการให้มีการเพิ่มงบประมาณในการออกพื้นที่ และเพิ่มยานพาหนะที่ใช้ในการเดินทาง ซึ่งปัจจุบันมีอย่างจำกัดเพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างคล่องตัวและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรพิจารณาเพิ่มการสนับสนุนงบประมาณในด้านนี้ รวมทั้งวัสดุอุปกรณ์ในการปฏิบัติงานในทุกภารกิจอย่างต่อเนื่องทุกปี ตลอดจนเพิ่มการสนับสนุนงบประมาณและปัจจัยการผลิตตามแบบแผนปฏิบัติอย่างเพียงพอเพื่อทำให้เกิดการถ่ายทอดเทคโนโลยีอย่างมีคุณภาพกับเกษตรกร

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานวิจัยมีอาจสำเร็จลุล่วงไปได้หากปราศจากความร่วมมือของคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ในคณะเกษตรศาสตร์ สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตร กราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร และเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องทั้ง 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม น้อง ๆ รวมชั้นนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2557 ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการลงพื้นที่เก็บข้อมูล ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2556ก. กลุ่มพัฒนาระบบงานและอัตรากำลังกองการเจ้าหน้าที่. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.person.doe.go.th/person2011/node/191> (12 มีนาคม 2561).
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2556ข. กลุ่มสวัสดิการและเจ้าหน้าที่สัมพันธ์. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.person.doe.go.th/person2011/node/135> (12 มีนาคม 2561).
- พนัส คำนันท์ และ รุจ ศิริสัญลักษณ์. 2560. ความคิดเห็นของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรต่อการอนุวัติระบบส่งเสริมการเกษตรแบบ MRCF ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย. วารสารการพัฒนารวมชนและคุณภาพชีวิต 5(3): 544-552.
- พันธิจิตต์ สีเหนียง โชตินา ลิ้มสอน เสาวลักษณ์ ฤทธิ์อนันต์ชัย และ ชัยกร สีเหนียง. 2557. การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT Analysis) ระบบส่งเสริมการเกษตรในประเทศไทย กรณีศึกษาพื้นที่ภาคกลาง. วารสารวิชาการ Veridian E-Journal 7(3): 601-612.
- ศิรินันท์ กิตติสุขสถิต เฉลิมพล แจ่มจันทร์ กาญจนา ตั้งชลทิพย์ และ จรัมพร ให้ลายอง. 2557. คุณภาพชีวิต การทำงาน และความสุข. เอกสารทางวิชาการ. สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม. 89 หน้า.
- สมยศ นาวิการ. 2553. การบริหารเพื่อความเป็นเลิศ. บรรณกิจเทรตติ้ง, กรุงเทพฯ. 759 หน้า.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2553. รายงานสถิติประชากรและเคหะ. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/themes/population.html> (12 มีนาคม 2561).
- สำนักงานสำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน. 2551. วิชาการส่งเสริมการเกษตร. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล <http://www.ocsc.go.th/job/วิชาการส่งเสริมการเกษตร> (12 มีนาคม 2561).
- อดิสรณ์ ลาภพระแก้ว. 2557. ความพึงพอใจในการปฏิบัติงานส่งเสริมการเกษตรของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 124 หน้า.
- Anderson, J.R. and G. Feder. 2003. Agriculture and Rural Development Department World Bank. (Online). Available: http://documents.worldbank.org/curated/en/254531468741366218/120520322_20041117164046/additional/multi0page.pdf (March 12, 2018).
- Nafees, A., M. Israr, K. Nawab and B.U. Khan. 2014. Economic incentives and satisfaction of the Agricultural extension agents. International Journal of Agricultural Extension 2(1): 13-19.
- Yamane, T. 1973. Statistics: An Introductory Analysis. 3rd ed. Harper and Row, New York.

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ (ต่อ)

2. การเขียนเอกสารอ้างอิง มีรูปแบบการเขียนมีดังนี้

วารสาร (Journals)

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

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

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.

ในกรณีที่เป็นการวารสารออนไลน์ไม่สามารถระบุเลขหน้าเริ่มต้นและเลขหน้าสิ้นสุดได้ ให้ระบุ doi แทน

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.

Ek-amnuay, P. 2016. Diseases and Pests of Economic Importance. 5th ed. Amarin Printing and Publishing PCL, Bangkok. 704 p. (in Thai)

Gullan, P.J. and P.S. Cranston. 2005. The Insects: An Outline of Entomology. 3rd ed. Blackwell Publishing, Malden. 505 p.

เรื่องย่อในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องเขียน และมีบรรณาธิการ

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

Krairiksh, S. and W. Namruangsi. 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)

Kubo, T. 2003. Molecular analysis of the honeybee sociality. pp. 3-20. In: T. Kikuchi, N. Azuma and S. Higashi (eds.). Gene, Behaviors and Evolution of Social Insects. Hokkaido University Press, Sapporo.

รายงานการประชุม สัมมนา (Reports and Proceedings)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องย่อ. หน้า เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด. ใน: รายงานการประชุม สัมมนา. สถานที่จัดประชุม.

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)

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.

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)

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.

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)

Siriphontangmun, S., U. Nounart, S. Rourmchaiapikun and S. Srijuntra. 2016. Insect Pests of Vegetable, Mushroom and Cut Flower. Technical Document. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. 74 p. (in Thai)

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: ที่อยู่ของไฟล์หรือเว็บไซต์ (URL) (เดือน วันที่, ปีที่ สืบค้นข้อมูล).

(ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลปีที่ตีพิมพ์ ให้ระบุเป็นปีที่เข้าไปสืบค้นข้อมูล)

Department of Agricultural Extension. 2005. Hydroponics. (Online). Available: <http://www.doae.go.th/proster/nondin/htm> (April 21, 2005). (in Thai)

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

ให้ส่งบทความทาง online เท่านั้น ได้ที่ <http://web.agri.cmu.ac.th/agjournal/submission/>

การพิจารณาบทความ

1) ต้นฉบับที่ไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับของวารสารเกษตร จะไม่ได้รับการพิจารณา

2) ทุบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารเกษตร ต้องผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่น้อยกว่า 2 ท่าน

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

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 <http://journal.agri.cmu.ac.th/Document/49030001.pdf>)

JOURNAL OF AGRICULTURE

A Technical Journal of Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

Volume 35, Issue 2 May - August 2019

Effects of Calcium Compounds and Plant Growth Regulators on Fruit Qualities of Strawberry cv. Praratchatan 80 Chitaphorn Peawdang and Daruni Naphrom.....	183
Population Structure and Genetic Diversity of Highland Rice Landraces in Chiang Rai Province Tanya Wiriya, Sansanee Jamjod and Tonapha Pusadee.....	193
Seasonal Effects on Seed Yield and Quality of Sacha Inchi Kanokwan Laororng, Supaporn Yamuangmorn, Suchada Jumrus, Jeeraporn Veeradittakit and Chanakan Thebault Prom-u-thai.....	205
Optimum Rate of Nitrogen Fertilizer for Garlic Production in Khun Yuam District, Mae Hong Son Province Anusara Innoi, Kaewalin Kunasakdakul and Choochad Santasup.....	215
Phosphate Solubilization and Detoxification Mechanism of Arsenic-resistant Bacteria Yupa Chromkaew and Arawan Shutsrirung.....	227
Soil Characteristics Derived from Limestone Between Agricultural and Forest Lands in Mae Tao Watershed, Mae Sot District, Tak Province Benjaporn Phomsenwong, Soontorn Khamyong, Niwat Anongrak and Panlop Huttagosol.....	239
Use of Formaldehyde Incorporated with Propionic Acid to Control Lesser Mealworm, <i>Alphitobius diaperinus</i> (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) Rattanaporn Maimun, Yaowaluk Chanbang, Sawai Buranapanichpan and Weerathep Pongprasert.....	253
Biology of <i>Tyrophagus pacificus</i> Fan & Zhang (Acari: Acaridae) Infesting Gold Cordyceps Yupaporn Ounhanan, Jiraporn Kulsarin, Sawai Buranapanichpan and Ploychompoo Konvipasruang.....	263
Biotic Potential and Life Table of Lady Beetle <i>Micraspis discolors</i> when Fed on Brown Planthopper and Green Leafhopper Chartchai Pronsoapon, Weerathep Pongprasert, Panisara Thepkusol, Sawai Buranapanichpan and Jiraporn Kulsarin.....	271
Efficacy of Carbaryl, Fipronil and Cypermethrin Against Flat-back Millipede, <i>Antheromorpha uncinata</i> Jeekel Natdanai Likhitrakarn, Jakarpong Supawan, Wongphan Promwong, Chatsuda Phuakjaiphaeo, Teeraporn Khampliew, Pisit Poolprasert, Piyawan Suttiiprapan and Warut Siriwtut.....	283
Population Dynamics and Control of Lesser Grain Borer (<i>Rhyzopertha dominica</i> (F.)) in Rice Seed Storehouse Napat Yimkung, Weerathep Pongprasert, Panisara Thepkusol, Sawai Buranapanichpan and Yaowaluk Chanbang.....	295
Effects of Some Silkworm Pupa Coating Substances on Development and Quality of Gold Cordyceps, <i>Cordyceps militaris</i> (L.) Link Kittima Jeenjanya, Jiraporn Kulsarin, Tanya Tapingkae and Sawai Buranapanichpan.....	303
Biogas Production by Co-digestion of Swiftlet Faeces with Aquatic Plants Chotirat Srikluan, Panutda Jhajang, Chaisit Thongjoo, Jamnian Chompoo and Wanida Suebsaiprom.....	311
Effects of Tamarind Seed Meal in Diets on Growth and Feed Efficiency in Red Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i> x <i>O. mossambicus</i>) Nareerat Singto, Mhattanee Phinyo and Anurak Khieokhajonkhet.....	321
Factor Affecting Satisfaction on Fringe Benefits of Agricultural Extension Officers in Upper North of Thailand Arunee Loyma, Juthathip Chalermphol, Ruth Sirisunyaluk and Pathairat Pastpipatkul.....	333

วารสารเกษตร ปีที่ 35 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2562 หน้า 183-341 Journal of Agriculture Volume 35, Issue 2 May-August 2019 pp. 183-341