วารสารเกษตร
JOURNAL OF AGRICULTURE

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 36 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2563

ผลของ Zeatin และ IAA ต่อการชักนำให้เกิดเอมบริโอของพริกโดยการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์แบบปล่อยลอย
สมสมัย ใยอุ่น จุฑามาส คุ้มชัย ยืนหยัด ธีระวัฒน์สกุล และ วีณัน บัณฑิตย์.....291

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของผิวหนังของดอกวัชพืชในวงศ์ Asteraceae บางชนิด
จำเนียร ชมพู ธนพงศ์ ไกรพุฒ สุนิสา อุยะตุง และ ทศพล พรพรหม.....301

ผลของการตัดแต่งกิ่งและจัดการธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะม่วงหิมพานต์
พจนีย์ แสงมณี.....313

การจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเบบี้คอสในโรงเรือนบนพื้นที่สูง จังหวัดเชียงใหม่
รัตนาภรณ์ ใจมา ฟ้าไพลิน ไชยวรรณ และ ชูชาติ สันธทรัพย์.....321

ผลของวิธีการปลูกข้าวต่อประชากรเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นในนาข้าวชลประทานในเขตภาคเหนือตอนล่าง
ศศิประภา พุฒกำพร้า วิภา หอมหวล วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ เยาวลักษณ์ จันทร์บาง และ จิราพร กุลสาริน.....333

อัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตหอมแดงในอำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน
วราภรณ์ เตวา เกวลิน คุณาศักดากุล และ ชูชาติ สันธทรัพย์.....345

ผลของสารสกัดจากพืชบางชนิดต่อการเติบโตของเห็ดถั่งเช่าหิมะ
ปรียา มะโนรัตน์ จิราพร กุลสาริน ไสว บูรณพานิชพันธุ์ และ ธัญญา ทะพิงค์แก.....357

การใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรเป็นพลังงานทดแทนผลิตกระแสไฟฟ้าในชุมชนของโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง
สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์ องอาจ ส่องสี บุญล้อม ชีวะอิสระกุล กัญญารัตน์ พวกเจริญ.....365

การใช้สารช่วยหมักร่วมกับเครื่องเทศในขาแกะรมควันและสารช่วยย่อยในสตูเนื้อแกะ
สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์ ภัทวรา ปฐมรังษิยังกุล บุญล้อม ชีวะอิสระกุล วิไลพร ทัณฑะรักษ์ ณัฐกานต์ มณีทอง เอื้องพลอย ใจลังกา และ วุฒิชัย ลัดเครือ.....377

ความรู้และกลยุทธ์ของเกษตรกรในการจัดการโรคปลานิลที่เลี้ยงในกระชังในแม่น้ำสงคราม
พัชราวลัย ศรียะศักดิ์ สุพันธ์ณี สุวรรณภักดี และ พรพิมล พิมลรัตน์.....387

การพัฒนาตำรับชีวภัณฑ์หัวเชื้อ Metarhizium anisopliae (มน 048) ควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล
สุขนิชชา รักแจ้ง วิภา หอมหวล วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ ปาณิสรา เทพกุศล เยาวลักษณ์ จันทร์บาง และ จิราพร กุลสาริน.....397

ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการปลูกองุ่นของเกษตรกรชาวทิเบตในเขตเต๋อจิงมณฑลยูนนาน ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน
เซน รุย ปรารถนา ยศสุข เฉลิมชัย ปัญญาดี และ บงกชมาศ เอกเอี่ยม.....409

ISSN 0857-0841

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

เรื่องที่ตีพิมพ์

1. เป็นบทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการ ทางด้านเกษตรศาสตร์และสาขาที่เกี่ยวข้อง

2. ต้องไม่เคยได้รับตีพิมพ์มาก่อน (ต้นฉบับ หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นฉบับ) และต้นฉบับต้องไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

การเตรียมต้นฉบับ

1. **ภาษา** เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ

2. **การพิมพ์**

1) พิมพ์หน้าเดียวบนกระดาษขนาด A4 พิมพ์แนวตั้ง (portrait orientation) ด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์ เวิร์ด (Microsoft Word for Windows) ตัวอักษรใช้ Cordia New โดยทั่วไปใช้ระยะบรรทัดปกติคือ 1 เท่า หรือ Single ความยาวต้นฉบับไม่เกิน 10 หน้า

2) ชื่อเรื่องให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 18 points พิมพ์ตัวหนา (bold) และจัดกึ่งกลางหน้า กระดาษ สำหรับชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ กำหนดให้อักษรตัวแรกของคำให้พิมพ์ด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ (capital letter)

3) ชื่อผู้เขียนให้พิมพ์ด้วยตัวอักษร Cordia New ขนาด 15 points พิมพ์ตัวหนา และจัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

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

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

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

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

8) หัวข้อย่อย ให้พิมพ์ตัวหนาและจัดชิดซ้าย

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

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

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

ข้อแนะนำการใช้ภาษา

1) ใช้คำศัพท์ตามพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน และประกาศของราชบัณฑิตยสภา

2) การเขียนชื่อเฉพาะหรือคำแปลจากภาษาต่างประเทศ ควรพิมพ์ภาษาเดิมของชื่อนั้น ๆ ไว้ในวงเล็บในครั้งแรกที่ปรากฏในบทความ โดยพิมพ์เป็นอักษรตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะให้พิมพ์เฉพาะอักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่

3) ไม่ควรใช้ภาษาต่างประเทศถ้ามีภาษาไทยใช้อยู่แล้ว

4) รักษาความสม่ำเสมอในการใช้คำ คำศัพท์ และตัวย่อ โดยตลอดทั้งบทความ

การเรียงลำดับหัวข้อ ให้เรียงตามลำดับดังนี้

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

2. **ชื่อผู้เขียน** ให้ใช้ชื่อเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หากผู้เขียนมีหลายคนและมีที่อยู่หรือสังกัดแตกต่างกัน ให้ใช้เลขตัวยก (superscript) ที่ต่างกัน กำกับไว้ท้ายนามสกุลของผู้เขียนที่มีที่อยู่ต่างกันนั้น หากมีผู้เขียนคนเดียว หรือหลายคนที่มีที่อยู่เดียวกัน ไม่ต้องใช้เลขตัวยกกำกับท้ายนามสกุลของผู้เขียน นอกจากนี้ ให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับไว้ที่ท้ายนามสกุลของผู้เขียนที่ให้ติดต่อ (corresponding author) ด้วย

3. **ที่อยู่ หรือสังกัด** ให้ระบุเฉพาะที่อยู่หรือสังกัดของผู้เขียนเท่านั้น มีทั้งที่เป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หากที่อยู่มีหลายแห่ง ให้พิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่แห่งแรกก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ จากนั้นพิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่แห่งที่สองแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ สลับกันในลักษณะนี้เรื่อยไปหากมีมากกว่าสองแห่ง 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 ให้พิมพ์บทภาษาไทยก่อนบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

5. **เนื้อหา** (Text) ประกอบด้วย

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

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

5.3 **ผลการทดลองและวิจารณ์ หรือ ผลการศึกษาและวิจารณ์** (Results and Discussion) ให้บรรยายผลการศึกษาวิจัย พร้อมเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางหรือภาพประกอบได้ โดยตารางหรือภาพรวมทั้งคำอธิบายให้จัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ถ้ามีตารางหรือภาพในบทความให้อ้างตารางหรือภาพนั้นในเนื้อหาด้วย สำหรับการวิจารณ์ ควรเชื่อมโยงกับผลการศึกษาว่าสอดคล้องกับสมมุติฐาน หรือแตกต่างไปจากผลงานวิจัยที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่อย่างไรและด้วยเหตุใด โดยมีพื้นฐานการอ้างอิงที่เชื่อถือได้

5.4 **สรุป** (Conclusion) เป็นการสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย อาจมีข้อเสนอแนะหรือระบุอุปสรรคและแผนงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป

5.5 **กิตติกรรมประกาศ** (Acknowledgement) อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ที่ช่วยเหลือในงานวิจัย 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 ระบบที่ใช้อ้างอิงคือ ระบบชื่อและปี (Name-and-year System) ให้ใช้ชื่อสกุลและปี ค.ศ. เช่น Kubo (2003).....หรือ.....(Kubo, 2003) ถ้าผู้เขียนมี 2 คน ให้ใช้เป็น Muthita and Kuanprasert (2004) .....หรือ.....(Muthita and Kuanprasert, 2004) หากมีมากกว่า 3 คน ให้ใช้เป็น Bukhari *et al.* (2011).....หรือ.....(Bukhari *et al.*, 2015) สำหรับในบัญชีเอกสารอ้างอิง ให้ระบุชื่อผู้เขียนทุกคน ห้ามใช้คำว่า 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	Consultants	Dean, Faculty of Agriculture; Associate Dean for Research and Academic Services
บรรณาธิการ	รศ.ดร. ณัฐา โพธาภรณ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editor	Nuttha Potapohn, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
รองบรรณาธิการ	ผศ.ดร. ชูชาติ สันธทรัพย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Vice Editor	Choochad Santasup, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
กองบรรณาธิการ ฝ่ายวิชาการ	รศ.ดร. รุจ ศิริสัญลักษณ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editorial Board (Academic)	Ruth Sirisunyaluck, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
	รศ.ดร. ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Chanakan Prom-u-thai, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
	รศ.ดร.พิชญา พูลลาภ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Pichaya Poonlarp, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. เยาวลักษณ์ จันทร์บาง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Yaowaluk Chanbang, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร.อรอุมา เรืองวงษ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		On-Uma Ruangwong, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. ฉันทลักษณ์ ติยายน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Chantalak Tiyayon, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. พิมพ์ใจ สีหะนาม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Pimjai Seehanam, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. จิรวรรณ กิจชัยเจริญ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Jirawan Kitchaicharoen, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ผศ.ดร. เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		Saowaluck Yammuen-art, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
	ศ.ดร. จรัญ จันทลักขณา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		Charan Chantalakhana, Ph.D., Prof. Kasetsart University
	ศ. ญาณวิทย์ ดร. เมธา วรรณพัฒน์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น		Metha Wanapat, Ph.D., Prof. Khon Kaen University

บทบรรณาธิการ

วารสารเกษตร ฉบับนี้เป็นปีที่ 36 ฉบับที่ 3 ประจำเดือนกันยายน-ธันวาคม 2563 ประกอบด้วยบทความทางวิชาการที่มีทั้งต้นฉบับเป็นภาษาไทย จำนวน 10 เรื่อง ประกอบด้วย สาขาพืชสวน 3 เรื่อง สาขาปฐพีศาสตร์ 2 เรื่อง สาขากีฏวิทยา 3 เรื่อง สาขาสัตวศาสตร์ 2 เรื่อง และเป็นภาษาอังกฤษ จำนวน 2 เรื่อง ประกอบด้วย สาขาสัตวศาสตร์ 1 เรื่อง และ ส่งเสริมการเกษตร 1 เรื่อง

ขอให้ผู้ที่สนใจส่งบทความทางวิชาการมาตีพิมพ์ในวารสารเกษตร โปรดทำความเข้าใจและปฏิบัติตาม “คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับ” ได้ทาง http://www.agri.cmu.ac.th/2017/files/download/Instructions_manuscrip.pdf

วารสารเกษตรฉบับนี้เป็นฉบับแรกของทีมบรรณาธิการทีมใหม่ ทางทีมงานหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความสนใจ มีบทความทางวิชาการมาลงตีพิมพ์อย่างสม่ำเสมอ หากมีข้อเสนอแนะ สามารถติดต่อมาที่กองบรรณาธิการได้

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐา โพธาภรณ์
บรรณาธิการวารสารเกษตร

ผลของ Zeatin และ IAA ต่อการชักนำให้เกิดเอมบริโอของพริก โดยการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์แบบปล่อยลอย

Effects of Zeatin and IAA on Pepper Embryogenesis by Shed-microspore Culture

สมสมัย ใยอุ่น[1*] จุฑามาส คุ้มชัย[1] ยืนหยัด ธีระวัฒน์สกุล[2] และ วีณัน บัณฑิตย์[1*]

Somsamai Yaioon[1*], Jutamas Kumchai[1], Yuenyad Teerawatsakul[2] and Weenun Bundithya[1]

[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

[2]บริษัท ฮอทิเจนเนติคส์ รีเสิร์ช (เอส.อี. เอเชีย) จำกัด (อีสท์ เวสท์ ซีด) จ. เชียงใหม่ 50290

[2]Hortigenetics Research (S.E. Asia) Limited (East-West Seed), Chiang Mai 50290, Thailand

**Corresponding author: Email: somsamai.y@gmail.com*

(Received: 11 November 2019; Accepted: 30 June 2020)

Abstract: Effects of zeatin and IAA on embryogenesis by shed-microspore culture was carried out on pepper genotype 17212 using anthers with 10% purple tip containing a mixed population of mid to uninucleate microspores. Plant growth regulators supplemented in the double layer media were 0.0, 0.1, 0.5, 1.0 mg/L zeatin with 0.0, 0.5, 0.8, 1.8 mg/L IAA. It was found that 0.1 mg/L zeatin and 0.5 mg/L IAA induced significantly highest 40.8% embryo and 35.9% regenerated plants. Ploidy levels of regenerated plants were determined by flow cytometry. It was found that 62% were haploid and 38% were spontaneous doubled haploid. Transferred shed microspore culture can be used efficiently for double haploid production in pepper.

Keywords: pepper regemeration, plant growth regulators, double haploid

บทคัดย่อ: ผลของ zeatin และ IAA ต่อการชักนำให้เกิดเอมบริโอโดยการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์แบบปล่อยลอยดำเนินการในพริกสายพันธุ์ 17212 โดยใช้อับเรณูที่ส่วนปลายมีสีม่วง 10% ซึ่งมีไมโครสปอร์ในระยะระหว่าง mid และ uninucleate การเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตในอาหารเพาะเลี้ยงแบบ 2 ชั้น คือ zeatin 0.0, 0.1, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IAA 0.0, 0.5, 0.8 และ 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า zeatin 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IAA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ชักนำให้เกิดเอมบริโอสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ 40.8% และพัฒนาเป็นต้นได้ 35.9% นอกจากนี้การตรวจสอบชุดโครโมโซมด้วยวิธีโฟลไซโทเมทรีในต้นที่พัฒนาจากการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์ พบว่า เป็นแฮพลอยด์ 62% และดับเบิลแฮพลอยด์ 38% ดังนั้นการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์แบบปล่อยลอยสามารถใช้ในการสร้างพริกดับเบิลแฮพลอยด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์แบบปล่อยลอย การเกิดเอมบริโอ ดับเบิลแฮพลอยด์ พริก

คำนำ

พริก (*Capsicum* spp.) จัดอยู่ในวงศ์ Solanaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกาใต้ พริกมีโครโมโซม 2n = 24 เป็นไม้พุ่มล้มลุกเนื้ออ่อน มีทั้งพันธุ์หลายฤดูและฤดูเดียว มีความผันแปรค่อนข้างมากทั้งลักษณะสี กลีบดอก ลำต้น ใบ และผล โดยผลพริกมีความผันแปรของรูปร่าง ขนาด และความเผ็ด พริกเป็นพืชที่มีดอกสมบูรณ์เพศ และสามารถผสมตัวเองได้ แต่มีโอกาสผสมข้ามดอกและก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ 9-36% (Rasmeethamwong, 1995) นอกเหนือจากการใช้ปรุงอาหารในรูปสดและแห้งแล้ว มีการนำพริกมาใช้ประโยชน์เพื่ออุตสาหกรรมอาหารและยา ในประเทศไทยพริกเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มีปริมาณการผลิต การส่งออก และนำเข้าทั้งในรูปพริกสด พริกแปรรูปเพื่ออุตสาหกรรม และมีการใช้เมล็ดพันธุ์ในแต่ละปีเป็นมูลค่าที่สูงอย่างต่อเนื่อง (Techawongstien, 1994) ปัจจุบันเกษตรกรนิยมใช้เมล็ดพันธุ์ลูกผสม (hybrid variety) ซึ่งมีลักษณะที่ดีกว่าลูกผสมเปิด (open-pollination variety) เช่น มีความสม่ำเสมอของพันธุ์และให้ผลผลิตสูง อย่างไรก็ตามการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อสร้างสายพันธุ์แท้ลูกผสมจำเป็นต้องทำการผสมตัวเองหลายชั่วและใช้เวลานานมาก

การเพาะเลี้ยงอับเรณู (anther culture) หมายถึงการนำอับเรณูที่มีเรณูอ่อน (young pollen) หรือ ไมโครสปอร์ (microspore) มาเพาะเลี้ยงเพื่อยับยั้งการพัฒนา male gametophyte ที่จะผสมกับไข่ แต่บังคับให้พัฒนาเป็นแคลลัสหรือเอมบริโอ การเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์แบบปล่อยลอย (shed microspore culture) ใช้อาหาร 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นอาหารกึ่งแข็งและชั้นบนเป็นอาหารเหลวเพื่อกระตุ้นให้อับเรณูแตกและปล่อยไมโครสปอร์หลุดลอยอยู่ในอาหารเหลวภายใต้ความดันออสโมซิสสูง เพื่อลดการเกิดต้นจากเซลล์ร่างกาย ทำให้ง่ายต่อการพัฒนาไปเป็นแคลลัสหรือเอมบริโอ และพัฒนาเป็นต้นพืชที่มีโครโมโซมชุดเดียว (Johansson *et al.,* 1982)

ต้นพืชที่ได้จากการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์แบบปล่อยลอย มีโครโมโซมเพียงชุดเดียว เมื่อใช้โคลชิซิน (colchicine) เพิ่มชุดโครโมโซมจะได้ต้นพืชที่มีโครโมโซมเหมือนกันสองชุด (double haploid plant หรือ dihaploid plant) เป็นพืชสายพันธุ์แท้ที่มียีนเหมือนกันทุกยีน (homozygous line) สามารถย่นระยะเวลาในการสร้างพืชสายพันธุ์แท้ได้ในชั่วเดียว เช่น การใช้เชื้อพันธุกรรมที่ผ่านการประเมินความต้านทานโรคมาผสมกับสายพันธุ์ดีที่อ่อนแอต่อโรค จากนั้นเพาะเลี้ยงลูกผสมชั่วที่ 1 เพื่อสร้างดับเบิลแฮพลอยด์แล้วนำไปประเมินในแปลงทดสอบของนักปรับปรุงพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว (Smitamana, 1999)

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulators) คือ สารที่พืชสังเคราะห์เพื่อใช้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยไซโทไคนินมีบทบาทในการควบคุมการสร้างอวัยวะ และกระตุ้นการแตกตาข้าง โดยช่วยกระตุ้นให้เซลล์แบ่งตัวได้อย่างรวดเร็ว เร่งให้เนื้อเยื่อพืชเจริญไปเป็นยอดและต้น แต่ยับยั้งการเกิดราก ส่วนออกซินมีคุณสมบัติกระตุ้นการขยายขนาดของเซลล์ข่มตาข้างไม่ให้เจริญและเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีความสามารถในการชักนำการเกิดรากได้ (Kaveeta, 1998) จากการศึกษาของ Supena *et al.* (2006) พบว่า การใช้

ไซโทไคนิน (zeatin 2.5 ไมโครโมลาร์) ร่วมกับออกซิน (IAA 5 ไมโครโมลาร์) ในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถชักนำไมโครสปอร์ให้เกิดเอมบริโอได้ 40.8% โดยเป็นเอมบริโอปกติ 22.6% และจากการนำแคลลัสของพิทูเนียมาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งที่ใช้ทำ feeder cells พบว่าสามารถเกิดเป็นยอดได้ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสัดส่วนของไซโทไคนินต่อออกซินสูง (zeatin:IAA เท่ากับ 20:1) ที่มีอยู่ในอาหารจะกระตุ้นการแบ่งเซลล์และชักนำให้เกิดยอดได้ (Kaveeta, 1998) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของ zeatin และ IAA ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์ของพริกแบบปล่อยลอยในสภาพปลอดเชื้อ

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมต้นพริก

เพาะกล้าพริกสายพันธุ์ 17212 อายุ 1 เดือน แล้วย้ายลงปลูกในกระถางพลาสติกขนาด 8 นิ้ว x 12 นิ้ว บรรจุวัสดุปลูกพีทมอส:ขุยมะพร้าว (1:1) ที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้ว และดูแลรักษาในห้อง phytotron ควบคุมอุณหภูมิ 25 °C ให้แสงสว่าง 16 ชั่วโมงต่อวัน ความเข้มแสง 9000 ลักซ์ และความชื้นสัมพัทธ์ 80% ให้น้ำทุก 2 วัน หลังจากย้ายปลูก 30-45 วัน จึงเริ่มเก็บดอกเพื่อใช้ในงานทดลอง

การเตรียมอาหาร 2 ชั้น

อาหารชักนำไมโครสปอร์ 2 ชั้น สูตร Nitsch and Nitsch (1969) หรือ NN ชั้นล่างเป็นอาหารกึ่งแข็งที่เติมผงวุ้น 6 กรัมต่อลิตร และผงถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัมต่อลิตร ชั้นบนเป็นอาหารเหลว 1 มิลลิลิตร ที่เติม zeatin ร่วมกับ IAA โดยใช้น้ำตาลมอลโตส 20 กรัมต่อลิตร pH 5.8

การเตรียมอับเรณู

เลือกดอกพริกที่มีปลายอับเรณูสีม่วง 10% โดยเก็บดอกในตอนเช้าจากห้อง phytotron บ่มที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และย้อมอับเรณูด้วยสี DAPI (Kim and Jang, 2000) เพื่อตรวจสอบระยะของไมโครสปอร์ ล้างดอกพริกด้วยน้ำยาล้างจาน ล้างฟองออกให้สะอาด ล้างด้วยแอลกอฮอล์ 70% นาน 30 วินาที และฟอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายโซเดียมไฮโพคลอไรท์ 1% โดยปริมาตร เป็นเวลา 10 นาที ผึ่งดอกพริก 45-60 นาที ในตู้ปลอดเชื้อ บนกระดาษทิชชูที่นึ่งฆ่าเชื้อ

การเพาะเลี้ยงอับเรณู

แกะอับเรณูจากกลีบเลี้ยงเพื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร NN 2 ชั้น บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิ 9 °C นาน 7 วัน ย้ายไปบ่มในที่มืดในห้องที่ควบคุมสภาพแวดล้อม อุณหภูมิ 28 ± 2 °C ความเข้มแสง 3000 ลักซ์ จากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน นาน 2 เดือน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 16 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ดอก ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 0.0 mg/L zeatin + 0.0 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 2 0.0 mg/L zeatin + 0.5 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 3 0.0 mg/L zeatin + 0.8 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 4 0.0 mg/L zeatin + 1.8 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 5 0.1 mg/L zeatin + 0.0 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 6 0.1 mg/L zeatin + 0.5 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 7 0.1 mg/L zeatin + 0.8 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 8 0.1 mg/L zeatin + 1.8 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 9 0.5 mg/L zeatin + 0.0 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 10 0.5 mg/L zeatin + 0.5 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 11 0.5 mg/L zeatin + 0.8 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 12 0.5 mg/L zeatin + 1.8 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 13 1.0 mg/L zeatin + 0.0 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 14 1.0 mg/L zeatin + 0.5 mg/L IAA กรรมวิธีที่ 15 1.0 mg/L zeatin + 0.8 mg/L IAA และ กรรมวิธีที่ 16 1.0 mg/L zeatin + 1.8 mg/L IAA เมื่อสังเกตเห็นการพัฒนาของเอมบริโอจึงย้ายเอมบริโอมาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรชักนำให้เกิดต้นสมบูรณ์ (Supena *et al*., 2006) และบันทึกเปอร์เซ็นต์การเกิดเอมบริโอ เมื่อเอมบริโอพัฒนาเป็นต้นอ่อน จึงบันทึกเปอร์เซ็นต์การพัฒนาเป็นต้นสมบูรณ์ โดยบันทึกข้อมูลทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 2 เดือน เปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows Version 23 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การตรวจสอบปริมาณดีเอ็นเอ

นำต้นพริกจากการชักนำ 100 ต้น มาตรวจสอบหาปริมาณดีเอ็นเอตามวิธีของ Galbraith *et al.* (1983) ด้วยเครื่องโฟลไซโทมิเตอร์ Attune NxT ทำการบันทึกจำนวนโครโมโซม โดยใช้ปริมาณดีเอ็นเอ (DNA content) จากใบอ่อนพริกดิพลอยด์ (2n) เทียบเป็นดีเอ็นเอมาตรฐาน

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาการชักนำให้ไมโครสปอร์พัฒนาเป็นเอมบริโอและการชักนำให้เอมบริโอพัฒนาเป็นต้นสมบูรณ์ของพริก ด้วยอาหารเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์แบบปล่อยลอย พบว่า กรรมวิธีที่เติม zeatin ร่วมกับ IAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ในอาหาร NN สามารถชักนำให้เกิดเอมบริโอและพัฒนาเป็นต้นได้ในทุกกรรมวิธี แต่มีประสิทธิภาพการชักนำให้เกิดเอมบริโอและต้นสมบูรณ์แตกต่างกัน (Table 1) โดยจากการทดลองนี้พบว่า สูตรอาหารที่มีความเหมาะสมสูงสุด คือ สูตรอาหารที่เติม zeatin 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IAA 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรรมวิธีที่ 6) ซึ่งสามารถชักนำให้ไมโครสปอร์พัฒนาเป็นเอมบริโอมากที่สุดและชักนำให้เอมบริโอพัฒนาเป็นต้นสมบูรณ์ได้มากที่สุด คือ 40.8 และ 35.9% ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ สูตรอาหารที่เติม zeatin 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IAA 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรรมวิธีที่ 7) ซึ่งสามารถชักนำเอมบริโอได้ 31.2% แต่ยังชักนำต้นสมบูรณ์ได้ 29% โดยพบว่าความเข้มข้นของ zeatin 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อการชักนำการเกิดเอมบริโอและการพัฒนาไปเป็นต้นสมบูรณ์ได้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ IAA จาก 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรรมวิธีที่ 5) เป็น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรรมวิธีที่ 6) พบว่า เปอร์เซ็นต์การเกิดเอมบริโอเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการพัฒนาไปเป็นต้นสมบูรณ์ ส่วนการใช้ IAA เพียงอย่างเดียว (กรรมวิธีที่ 2-กรรมวิธีที่ 4) ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพการชักนำเอมบริโอและการพัฒนาเป็นต้นสมบูรณ์ลดลง เทียบเท่ากับการที่ไม่เติม zeatin ร่วมกับ IAA เลย (กรรมวิธีที่ 1) และการใช้ zeatin 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียว (กรรมวิธีที่ 5) ก็มีประสิทธิภาพการเกิดเอมบริโอและการพัฒนาเป็นต้นสมบูรณ์ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Supena *et al.* (2006) ในพริก พบว่า ไซโทไคนิน (zeatin) 2.5 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับออกซิน (IAA) 5 ไมโครโมลาร์ สามารถชักนำไมโครสปอร์ให้เกิดเอมบริโอ 40.8% และเป็นเอมบริโอปกติ 22.6% ส่วนพิทูเนียที่นำแคลลัสมาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็ง ซึ่งเป็นอาหารที่ใช้ทำ feeder cells พบว่า แคลลัสพิทูเนียสามารถเกิด

Table 1. Effects on zeatin and IAA concentrations on embryogenesis and plant regeneration by shed-microspore culture of pepper

	Treatments	Embryogenesis[1] (%)	Plant regeneration[1] (%)
1	0.0 mg/L zeatin + 0.0 mg/L IAA	0.0^{e}	0.0^{e}
2	0.0 mg/L zeatin + 0.5 mg/L IAA	0.9^{e}	0.9^{e}
3	0.0 mg/L zeatin + 0.8 mg/L IAA	1.4^{e}	1.4^{e}
4	0.0 mg/L zeatin + 1.8 mg/L IAA	1.0^{e}	1.0^{e}
5	0.1 mg/L zeatin + 0.0 mg/L IAA	0.5^{e}	0.5^{e}
6	0.1 mg/L zeatin + 0.5 mg/L IAA	40.8^{a}	35.9^{a}
7	0.1 mg/L zeatin + 0.8 mg/L IAA	31.2^{b}	29.0^{ab}
8	0.1 mg/L zeatin + 1.8 mg/L IAA	11.2^{d}	10.6^{d}
9	0.5 mg/L zeatin + 0.0 mg/L IAA	4.4^{de}	4.4^{de}
10	0.5 mg/L zeatin + 0.5 mg/L IAA	20.8^{c}	19.2^{c}
11	0.5 mg/L zeatin + 0.8 mg/L IAA	30.0^{b}	27.0^{b}
12	0.5 mg/L zeatin + 1.8 mg/L IAA	7.6^{de}	7.6^{de}
13	1.0 mg/L zeatin + 0.0 mg/L IAA	2.8^{de}	2.8^{de}
14	1.0 mg/L zeatin + 0.5 mg/L IAA	6.8^{de}	6.5^{de}
15	1.0 mg/L zeatin + 0.8 mg/L IAA	6.8^{de}	6.6^{de}
16	1.0 mg/L zeatin + 1.8 mg/L IAA	7.6^{de}	7.6^{de}

[1] Data are expressed as mean values. Mean values with different letters in the same column differ significantly at $P \leq 0.05$

เป็นยอดได้ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสัดส่วนของไซโทไคนินสูงและออกซินต่ำ (zeatin:IAA เท่ากับ 20:1) ที่มีอยู่ในอาหารกระตุ้นการแบ่งเซลล์และชักนำให้เกิดยอดได้ (Kaveeta, 1998) การศึกษาของ Zhang *et al.* (2009) ที่รายงานว่า ออกซินสามารถยับยั้งการเกิดเอมบริโอจากการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์ส่วนการใช้ไซโทไคนิน เช่น BA หรือ zeatin ในปริมาณต่ำช่วยชักนำให้เกิดเอมบริโอ แต่หากใช้ในปริมาณสูงไปยับยั้งการเกิดเอมบริโอและทำให้เอมบริโอมีลักษณะผิดปกติ นอกจากนี้ Nowaczyk and Kisiala (2006) รายงานว่า ไซโทไคนินและออกซินมีผลต่อการชักนำให้เกิดเอมบริโอ โดยความสามารถในการชักนำให้เกิดเอมบริโอขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไซโท-ไคนินที่นำมาใช้ เช่น BA, kinetin, TDZ และ zeatin การใช้ zeatin ในปริมาณที่พอเหมาะมีประสิทธิภาพในการชักนำให้เกิดเอมบริโอจากอับเรณูที่เพาะเลี้ยงได้ดีกว่า TDZ และ kinetin ทั้งนี้ zeatin มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ ควบคุมการสร้างอวัยวะ และกระตุ้นการแตกตาข้าง โดยช่วยกระตุ้นให้เซลล์แบ่งตัวได้อย่างรวดเร็ว เร่งให้เนื้อเยื่อพืชเจริญไปเป็นยอดและต้น แต่ยับยั้งการเกิดราก ใช้ได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับออกซิน ส่วน IAA เป็นสารกลุ่มออกซินมีคุณสมบัติกระตุ้นการยืดยาวของเซลล์ และเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีความสามารถในการชักนำการเกิดยอดและรากได้ (Kaveeta, 1998)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไมโครสปอร์ที่พัฒนาเป็นเอมบริโอและพัฒนาไปเป็นต้นสมบูรณ์ พบว่า เมื่อเลือกดอกพริกที่มีอับเรณูที่มีปลายสีม่วงประมาณ 10% ของอับเรณู (Figure 1A) และเป็นระยะไมโครสปอร์ที่เหมาะสม คือ ระยะ uninucleate (Figure 1B) มาเพาะเลี้ยง เมื่อผ่านไป 14 วัน พบว่า ไมโครสปอร์แตกออกจากอับเรณูและไมโครสปอร์กำลังพัฒนาเป็น

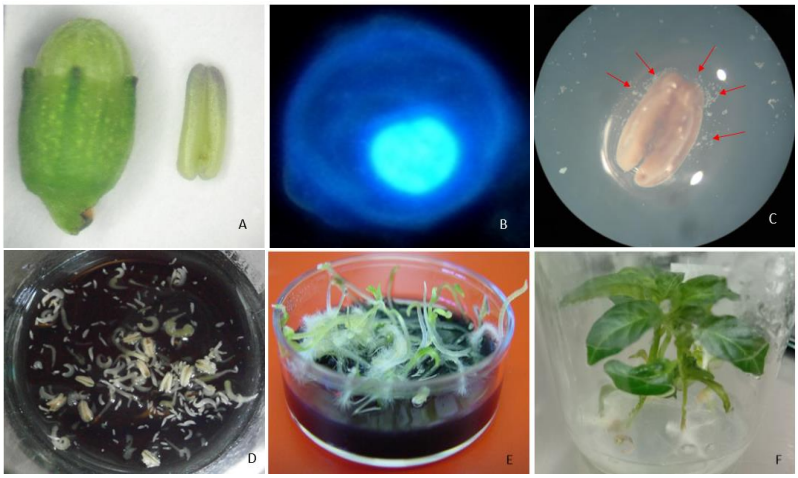


Figure 1. Effects on zeatin and IAA on embryo and plant responding by shed-microspore culture of pepper genotype 17212

A) Pepper bud and anther with 10% purple tip containing a mixed population of mid to uninucleate microspores, which is at the optimal stage for shed microspore culture

B) Microspore at the optimal stage with development at mid uninucleate

C) Separated microspore after shed microspore culture for 14 days

D) Developing microspore to embryo via shed microspore culture

E) Developing embryo to regenerated plant from haploid plants

F) Regenerated pepper plant prepared for flow cytometry assay

เอมบริโอ (Figure 1C-D) ต่อมาเอมบริโอพัฒนาเป็นใบเลี้ยง (Figure 1E) ที่พัฒนาเป็นต้นสมบูรณ์ (Figure 1F) โดยใบอ่อนนี้สามารถใช้ตรวจสอบจำนวนโครโมโซมด้วยวิธีโฟลไซโทมิเตอร์ต่อไป

จากการศึกษาระยะเวลาการชักนำเอมบริโอให้พัฒนาเป็นต้นสมบูรณ์ด้วยสูตรอาหาร NN ที่เติม zeatin ร่วมกับ IAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่า การใช้ zeatin ร่วมกับ IAA ที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของไมโครสปอร์ให้พัฒนาเป็นเอมบริโอและพัฒนาไปเป็นต้นสมบูรณ์อย่างชัดเจน โดยที่สูตรอาหารที่เติม zeatin 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IAA 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรรมวิธีที่ 6) ซึ่งประสิทธิภาพในการชักนำให้เอมบริโอพัฒนาเป็นต้นสมบูรณ์ได้มากที่สุด (Table 2) และพบการเจริญของเอมบริโอหลังการเพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารชักนำเป็นเวลา 14 วัน และ มีจำนวนต้นสมบูรณ์เกิดใหม่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอในทุก 2 สัปดาห์ที่บันทึกผลการทดลอง (14-56 วัน) นอกจากนี้การเกิดต้นสมบูรณ์มากที่สุดพบในวันที่ 28 ของการทดลอง ทั้งนี้เกิดจาก ในช่วงเวลา14-28 วันแรกของการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์พริกลงในอาหารเหลวสองชั้นไมโครสปอร์ที่ถูกปล่อยลอยในความลึกของอาหารและระยะของไมโครสปอร์ที่เหมาะสมจะได้รับสภาพเครียดที่มีผลต่อการชักนำให้เกิดเอมบริโอ ซึ่งทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์ต้นสมบูรณ์สูงสุดในช่วงระยะเวลา 28 วัน หลังการเพาะเลี้ยง

จากผลการทดลองการชักนำให้เกิดเอมบริโอของพริกโดยการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์แบบปล่อยลอยเป็นวิธีที่ดีกว่าการเพาะเลี้ยงอับเรณูแบบดั้งเดิม (ตามวิธีการของบริษัทฮอทิเจนเนติคส์ รีเสิร์ช (เอส.อี.เอเชีย)) ที่ชักนำให้เกิดเอมบริโอได้ดีที่สุดเพียง 1-2% เพราะการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์แบบปล่อยลอย สามารถชักนำยอดและรากได้ในช่วงเวลาเดียวกัน ทำให้ลดขั้นตอนและระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงอับเรณูเพื่อให้ได้เอมบริโอและต้นสมบูรณ์ในระยะเวลาสั้น (Supena *et al*., 2006)

การตรวจสอบปริมาณดีเอ็นเอด้วยเครื่องโฟลไซโทมิเตอร์

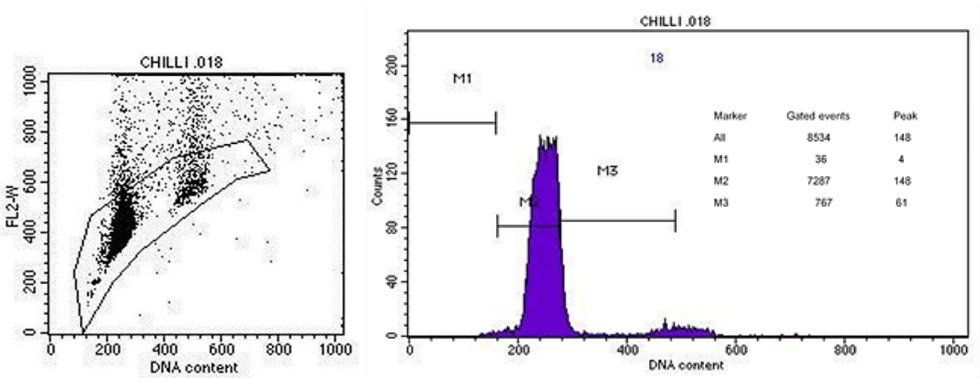
เทคนิคโฟลไซโทเมทรีเป็นเทคนิคหนึ่งที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณดีเอ็นเอ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ง่ายและรวดเร็ว และในการทดลองนี้พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นดิพลอยด์ (diploid) ที่ได้จากการเพาะ

Table 2. Evaluation of plant regeneration with different concentrations of zeatin and IAA by shed-microspore

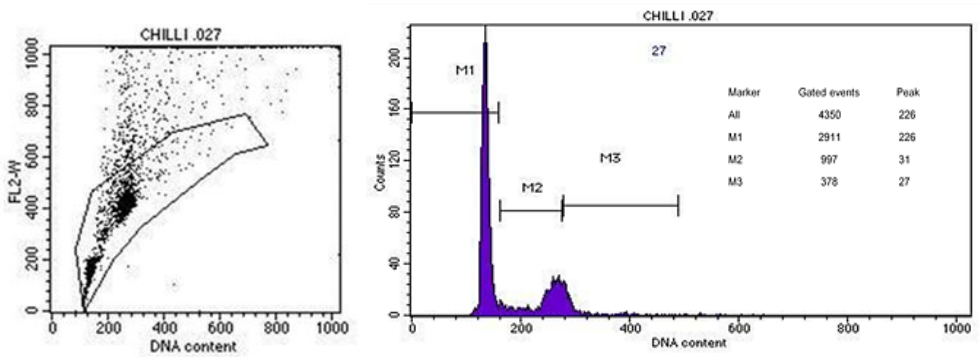
	Treatments	Regenerated plants[1] (%)				Total of regenerated plants[1] (%)
		14 days	28 days	42 days	56 days	
1	0.0 mg/L zeatin + 0.0 mg/L IAA	0 ± 0[a]	0 ± 0[a]	0 ± 0[a]	0 ± 0[a]	0.0 ± 0.000[a]
2	0.0 mg/L zeatin + 0.5 mg/L IAA	0 ± 0[a]	0.3 ± 0.153[a]	0.3 ± 0.153[a]	0.3 ± 0.153[a]	0.9 ± 0.458[a]
3	0.0 mg/L zeatin + 0.8 mg/L IAA	0.2 ± 0.133[a]	0.4 ± 0.163[a]	0.4 ± 0.163[a]	0.4 ± 0.163[a]	1.4 ± 0.521[a]
4	0.0 mg/L zeatin + 1.8 mg/L IAA	0.2 ± 0.133[a]	0.4 ± 0.163[a]	0.2 ± 0.133[a]	0.2 ± 0.133[a]	1.0 ± 0.365[a]
5	0.1 mg/L zeatin + 0.0 mg/L IAA	0.1 ± 0.1[a]	0.2 ± 0.133[a]	0.1 ± 0.1[a]	0.1 ± 0.1[a]	0.5 ± 0.401[a]
6	0.1 mg/L zeatin + 0.5 mg/L IAA	8 ± 1.202[d]	11.7 ± 1.359[e]	8 ± 1.095[d]	8.2 ± 1.095[d]	35.9 ± 4.175[e]
7	0.1 mg/L zeatin + 0.8 mg/L IAA	6.9 ± 1.169[d]	7.5 ± 1.108[d]	7.7 ± 1.174[d]	6.9 ± 1.174[d]	29.0 ± 4.320[de]
8	0.1 mg/L zeatin + 1.8 mg/L IAA	2.5 ± 0.734[b]	2.8 ± 0.917[bc]	2.8 ± 0.917[b]	2.5 ± 0.917[b]	10.6 ± 3.222[b]
9	0.5 mg/L zeatin + 0.0 mg/L IAA	1.1 ± 0.433[ab]	1.1 ± 0.433[ab]	1.1 ± 0.433[ab]	1.1 ± 0.433[ab]	4.4 ± 1.733[ab]
10	0.5 mg/L zeatin + 0.5 mg/L IAA	4.5 ± 1.222[c]	4.6 ± 1.108[c]	5.1 ± 1.251[c]	5 ± 1.251[c]	19.2 ± 4.699[c]
11	0.5 mg/L zeatin + 0.8 mg/L IAA	6.8 ± 1.428[d]	6.9 ± 1.402[d]	6.8 ± 1.373[cd]	6.5 ± 1.373[cd]	27.0 ± 5.487[d]
12	0.5 mg/L zeatin + 1.8 mg/L IAA	1.9 ± 0.277[ab]	1.9 ± 0.277[ab]	1.9 ± 0.277[ab]	1.9 ± 0.277[ab]	7.6 ± 1.108[ab]
13	1.0 mg/L zeatin + 0.0 mg/L IAA	0.7 ± 0.26[ab]	0.7 ± 0.260[ab]	0.7 ± 0.26[ab]	0.7 ± 0.26[ab]	2.8 ± 1.041[ab]
14	1.0 mg/L zeatin + 0.5 mg/L IAA	1.4 ± 0.34[ab]	1.7 ± 0.367[ab]	1.7 ± 0.367[ab]	1.7 ± 0.367[ab]	6.5 ± 1.392[ab]
15	1.0 mg/L zeatin + 0.8 mg/L IAA	1.5 ± 0.477[ab]	1.7 ± 0.448[ab]	1.7 ± 0.44[ab]	1.7 ± 0.448[ab]	6.6 ± 1.790[ab]
16	1.0 mg/L zeatin + 1.8 mg/L IAA	1.9 ± 0.407[ab]	1.9 ± 0.407[ab]	1.9 ± 0.407[ab]	1.9 ± 0.407[ab]	7.6 ± 1.628[ab]

[1] Data are expressed as mean value ± SD. Mean values with different letters in the same column differ significantly at $P \leq 0.05$

เมล็ดจากโรงเรือน พบว่า ต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์เป็นแฮพลอยด์ 62% (1C=n=12) ที่ฮิสโทแกรมของนิวเคลียสพริกมีค่าปริมาณดีเอ็นเอน้อยกว่า 200 และเป็นดับเบิ้ลแฮพลอยด์ 38% (2C=2n=24) ที่ฮิสโทแกรมของนิวเคลียสพริกมีค่าปริมาณดีเอ็นเอมากกว่า 200 (Figure 2) ซึ่งผลสอดคล้องกับการศึกษาการใช้เทคนิคโฟลไซโทเมทรีในพริก *Capsicum annuum* L. ในการตรวจสอบชุดโครโมโซมของการสร้างต้นดับเบิลแฮพลอยด์ โดย Gyulai *et al.* (2000) พบว่า ต้นพริกที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงอับเรณูเป็นแฮพลอยด์ 64.5 % (1C=n=12) ดับเบิลแฮพลอยด์ 32.6% (2C=2n=24) เททราพลอยด์ 0.6% (4C=4n=48) และอนูพลอยด์ 3.2% Dumas de Vaulx *et al.* (1981) ตรวจสอบจำนวนชุดโครโมโซมของพริกจากการเลี้ยงอับเรณูด้วยโฟลไซโทมิเตอร์ พบว่า เกิดแฮพลอยด์สูงที่สุด 64.5% (1C=n=12) ส่วนการศึกษาของ Gemesne *et al.* (2001) ศึกษาการเลี้ยงอับเรณูของพริกหวานโดยไม่ผ่านแคลลัส (direct embryogenesis) พบแฮพลอยด์สูงสุด 68.5% ดับเบิลแฮพลอยด์ 29.8% เททราพลอยด์ 0.7% และอนูพลอยด์ 1%



A) Diploid plant



B) Haploid plant

Figure 2. Flow cytometric analyses of (A) diploid plants and (B) haploid plant

สรุป

ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตไซโทไคนิน (zeatin) และออกซิน (IAA) สามารถชักนำให้ไมโครสปอร์ของพริก 17212 เกิดเอมบริโอและพัฒนาเป็นต้นได้ดีที่สุดในอาหาร NN 2 ชั้น ที่เติม zeatin เข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IAA เข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีเปอร์เซ็นต์การเกิดเอมบริโอ 40.8% และ 35.9% เป็นต้นที่สมบูรณ์สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากการตรวจสอบปริมาณดีเอ็นเอด้วยเครื่องโฟลไซโทมิเตอร์ พบว่า ต้นพริกที่ได้จากการเพาะเลี้ยงไมโครสปอร์แบบปล่อยลอย เป็นแฮพลอยด์ 62% (1C=n=12) และดับเบิลแฮพลอยด์ 38% (2C=2n=24)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ฮอทิเจนเนติคส์ รีเสิร์ช (เอส.อี. เอเชีย) จำกัด (กลุ่มบริษัท อีสท์ เวสท์ ซีด) ฝ่ายปฏิบัติการชีววิทยาของเซลล์และการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ จ. เชียงใหม่ ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Dumas de Vaulx, R., D. Chambonnet and E. Pochard. 1981. *In vitro* of pepper (*Capsicum annuum* L.) anthers: High rate plant production from different genotypes by + 35 °C treatments. Agronomie 1(10): 859-864.

Galbraith, D.W., K.R. Harkins, J.M. Maddox, N.M. Ayres, D.P. Sharma and E. Firoozabady. 1983. Rapid flow cytometric analysis of the cell cycle in intact plant tissues. Science 220(4601): 1049-1051.

Gemesne, J., A.M. Petus, G. Venczel, L. Zatyko, G. Gyulai and M. Cseplo. 2001. Genetic variability of anther donor versus spontaneous doubled haploid descendants and colchicine induced doubled haploid sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) lines. Acta Horticulturae 560: 149-152.

Gyulai, G., J.A. Gemesne, Z. Sagi, G. Venczel, P. Pinter, Z. Kristof, O. Torjek, L. Heszky, S. Bottka, J. Kiss and L. Zatyko. 2000. Doubled haploid development and PCR-analysis of F1 hybrid derived DH-R2 paprika (*Capsicum annuum* L.) lines. Journal of Plant Physiology 156(2): 168-174.

Johansson, L., B. Andersson and T. Eriksson. 1982. Improvement of anther culture technique: activated charcoal bound in agar medium in combination with liquid medium and elevated CO_2 concentration. Physiologia Plantarum 54(1): 24-30.

Kaveeta, R. 1998. Tissue Culture. Kasetsart University Press, Bangkok. 219 p. (in Thai)

Kim, M.Z. and I.C. Jang. 2000. Rapid assessment of microspore development stage in pepper using DAPI and ferric chloride. Journal of Plant Biotechnology 2(3): 129-134.

Nitsch, J.P. and C. Nitsch. 1969. Haploid plants from pollen grain. Science 163(3862): 85-87.

Nowaczyk, P. and A. Kisiala. 2006. Effect of selected factors on the effectiveness of *Capsicum annuum* L. anther culture. Journal of Applied Genetics 47(2): 113-117.

Rasmeethamwong, P. 1995. How to Grow and Propagate Pepper. 3rd ed. Petchkarat Publishing, Bangkok. 104 p. (in Thai)

Smitamana, P. 1999. Plant Tissue Culture: Technique and Application. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 141 p. (in Thai)

Supena, E.D.J., S. Suharsono., E. Jacobsen and J.B.M. Clusters. 2006. Successful development of a shed-microspore culture protocol for doubled haploid production in

Indonesian hot pepper (*Capsicum annuum* L.). Plant Cell Reports 25(1): 1-10.

Techawongstien, S. 1994. Pepper Breeding and Production. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 57 p. (in Thai)

Zhang, Y.L., L.G. Zhang, H.M. Zhang and L.Z. Zhang. 2009. Studies on embryoid induction of isolated microspore and plantlet formation in precocious chinese cabbage. Journal of Gansu Agricultural University 44(3): 45-49.

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของผิวหนังของดอกวัชพืชในวงศ์ Asteraceae บางชนิด

Antioxidants and Inhibition of Skin Aging-related Enzyme Activities of the Flowers of Some Asteraceous Weeds

จำเนียร ชมภู[*] ธนพงศ์ ไกรพุฒ สุนิสา อุยะตุง และ ทศพล พรพรหม

Jamnian Chompoo[*], Tanapong Kaiput, Sunisa U-yatung and Tosapon Pornprom

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

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

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

(Received: 19 May 2020; Accepted: 26 August 2020)

Abstract: Protection and nourish the skin using natural extracts are alternate ways to solve skin problems.The natural product is one of the alternative ways to protect and nourish the skin/ or solve skin problems. The aims of this study were to analyze the quantity of phytochemicals (viz. total flavonoids and total phenolics) of ethanol flower extracts from fresh and dried samples of 6 weed species, including *Bidens pilosa* L., *Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski, *Eclipta prostrata* (L.), *Tridax procumbens* L., *Synedrella nodiflora* (L.) Gaertn. and *Vernonia cinerea* Less. In addition, the extracts at a concentration of 100 µg/mL were investigated antioxidant properties (viz. DPPH and ABTS radical scavenging) and the inhibitory activities on skin aging-related enzymes (viz. collagenase, elastase, hyaluronidase and tyrosinase). The results showed that ethanol extracts of dried samples from *S. trilobata* and *B. pilosa* contained high amount of total flavonoids and total phenolics. The extracts of dried flowers had better antioxidant properties on DPPH and ABTS scavenging reactions than other weed extracts. In the case of the performance of ethanol flower extracts from weeds, they showed a mild efficacies on inhibition of skin-aging related enzymes. Ethanol extracts of fresh sample from *S. nodiflora* presented inhibitory activities on collagenase, elastase, hyaluronidase and tyrosinase. However, identification of active compounds from ethanol flower extracts of *S. trilobata*, *B. pilosa* and *S. nodiflora* should be conducted.

Keywords: Phytochemicals, *Sphagneticola trilobata*, *Bidens pilosa*, *Synedrella nodiflora*

บทคัดย่อ: การป้องกันหรือบำรุงผิวด้วยการใช้สารสกัดจากธรรมชาติเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ปัญหาผิวหนังได้ การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์และฟีนอลิกของสารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างดอกวัชพืชสดและแห้ง จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ก้นจ้ำขาว กระดุมทอง กะเม็ง ตีนตุ๊กแก ผักแครด และผักละออง นอกจากนี้ยังทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยปฏิกิริยา DPPH และ ABTS radical scavenging และทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับความเสื่อมของผิวหนัง ได้แก่ collagenase, elastase, hyaluronidase และ tyrosinase ผลการทดลองพบว่าสารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างแห้งของดอกกระดุมทอง และก้นจ้ำขาว มีปริมาณของสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์และกลุ่มฟีนอลิกสูง จึงเป็นผลให้สารสกัดจากตัวอย่างแห้งของดอกวัชพืชนี้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในปฏิกิริยา DPPH และ ABTS radical scavenging ได้ดีกว่าสารสกัดจากดอกวัชพืชอื่น สำหรับผลของสารสกัดในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์นั้นมีประสิทธิภาพไม่สูงมากนัก โดยสารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดของดอกผักแครด มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ collagenase, elastase, hyaluronidase และ tyrosinase ได้ อย่างไรก็ตามควรทำการศึกษาการจำแนกชนิดของสารพฤกษเคมีในสารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกของกระดุมทอง ก้นจ้ำขาว และผักแครด ในขั้นตอนต่อไป

คำสำคัญ: สารพฤกษเคมี กระดุมทอง ก้นจ้ำขาว ผักแครด

คำนำ

ผิวหนังเป็นอวัยวะส่วนหนึ่งของร่างกายมนุษย์ที่มีพื้นที่มากที่สุด มีบทบาทสำคัญต่อร่างกายในการป้องกันเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมเข้าร่างกาย ป้องกันแสงอัลตร้าไวโอเลต รับความรู้สึก รวมทั้งมีผลต่อสภาพจิตใจในส่วนของภาพลักษณ์และความสวยงาม (Sangmala, 2017) การเสื่อมสภาพของผิวหนัง (skin aging) จะเกิดขึ้นช้าหรือเร็วก่อนวัย มีทั้งปัจจัยภายนอกและภายในร่างกายเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งปัจจัยภายนอกที่มีผลเร่งการเสื่อมสภาพให้เร็วขึ้น เช่น แสงแดด มลภาวะ การสูบบุหรี่ และความเครียด ปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการเสื่อมสลายของ collagen และ elastin ทำให้ผิวหนังเกิดริ้วรอย เหี่ยวย่น หย่อนคล้อย และสีผิวเกิดความหมองคล้ำ (Vierkötter and Krutmann, 2012) ส่วนอนุมูลอิสระ (reactive oxygen species; ROS) ในร่างกายมนุษย์สามารถเกิดขึ้นได้จากการสันดาปพลังงาน โดยที่ Kim *et al*. (2011) รายงานว่า ROS เป็นสาเหตุกระตุ้นการชราของผิวหนังได้ ด้วยเกิดกระบวนการต่าง ๆ ทำลายเมทริกซ์ที่อยู่นอกเซลล์ เกิดริ้วรอย เหี่ยวย่น (de Araújo *et al*., 2019) การใช้สารต้านอนุมูลอิสระจึงเป็นการต้านหรือช่วยชะลอความแก่ของผิวหนังได้ นอกจากนี้กระบวนการเสื่อมของผิวหนังซึ่งเป็นผลจากการลดลงของ collagen, elastin และ hyaluronic acid ทำให้เกิดการสูญเสียความแข็งแรงและความยืดหยุ่นในผิวหนัง เกิดเป็นริ้วรอยให้เห็นนั้น มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ collagenase, elastase และ hyaluronidase ที่เพิ่มมากขึ้น โดยที่เอนไซม์ collagenase เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลาย collagen ซึ่งเป็นโครงสร้างหลัก 70-80 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักผิวหนังทั้งหมด (Demina and Lysenko, 1996) ส่วน hyaluronic acid เป็นองค์ประกอบสำคัญของเนื้อเยื่อเมทริกซ์ มีบทบาทในการพัฒนาการเจริญเติบโตและซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่เสียหาย (Pogrel *et al*., 2003) ในขณะที่ elastin เป็นส่วนสำคัญของผิวหนังในการรักษาความยืดหยุ่น ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ elastase ทำให้เกิดริ้วรอย (Thring *et al*., 2009) นอกจากนี้รังสีอัลตร้าไวโอเลตจากแสงแดดยังสามารถกระตุ้นการสร้างเม็ดสี melanin ด้วยการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ tyrosinase ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการสร้างเม็ดสี จนทำให้มีการสร้าง melanin มากจนเกินไป เกิดเป็นจุดด่างดำหรือกระที่ผิวหนัง (Zaidi *et al*., 2016) ดังนั้นการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้มีความสำคัญในการป้องกันการเสื่อมสภาพของผิวหนัง

วัชพืช (weeds) โดยทั่วไปมักเป็นพืชที่ส่งผลกระทบด้านลบต่อระบบนิเวศ และมีผลในการแก่งแย่ง

ปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของพืชปลูก ทำให้ปริมาณและคุณภาพของผลิตผลลดลง ควรมีการจัดการและกำจัดออกจากพื้นที่ปลูกพืช แต่วัชพืชส่วนหนึ่งมีการนำมาใช้ประโยชน์ในทางยา มีรายงานการวิจัยมากมายเกี่ยวกับสรรพคุณทางยาของวัชพืช (Hassan, 2020) พืชวงศ์ Asteraceae เป็นพืชดอกวงศ์ใหญ่มากกว่า 23,600 ชนิด ที่มีการกระจายอย่างแพร่หลาย และมีหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องเทศและยาสมุนไพรรักษาโรค (Tamokou *et al*., 2017) จากการสำรวจวัชพืชในแปลงผักในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางของประเทศไทย Zungsontiporn *et al*. (2015) พบว่า วัชพืชวงศ์หญ้าหรือ Poaceae มีความถี่ในการพบมากที่สุด รองลงมาคือ วงศ์ Asteraceae ซึ่งวัชพืชวงศ์นี้หลายชนิดมีรายงานการใช้ประโยชน์เป็นยาสมุนไพร ตัวอย่างเช่น ก้นจ้ำขาวมีส่วนประกอบของสารพฤกษเคมีมากกว่า 301 ชนิด และพบมีสรรพคุณทางยาในการป้องกันและรักษาโรคได้หลายชนิด ได้แก่ โรคมาลาเรีย เบาหวาน ภูมิแพ้ ลดความดันโลหิต ลดไข้ และต้านอนุมูลอิสระ (Tran and Tran, 2016) ส่วน Udayashankar *et al*. (2019) รายงานว่า กะเม็งเป็นพืชที่มีการนำมาใช้เป็นอาหารและยาอย่างแพร่หลาย สามารถใช้เป็นยาแก้ปวด ต้านอนุมูลอิสระและแบคทีเรีย และป้องกันโรคเบาหวาน สำหรับ Sonibare *et al*. (2016) รายงานว่า ผักละอองมีสรรพคุณทางยาในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและต้านแบคทีเรียสาเหตุโรคของมนุษย์ เช่น *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* และ *Pseudomonas aeruginosa* นอกจากนี้ไม้ดอกบางชนิดในวงศ์ Asteraceae ตัวอย่างเช่น ดาวเรือง มีรายงานว่า สารสกัดด้วยเมทานอลจากดอกดาวเรืองสามารถช่วยป้องกันผิวของมนุษย์จากการเกิดริ้วรอยก่อนวัย โดยการลดความเสียหายของเซลล์ผิวหนังจากอนุมูลอิสระ ยับยั้งการแสดงออกของเอนไซม์ matrix metalloproteinase-2 (MMP) และ/หรือกระตุ้นการสังเคราะห์คอลลาเจน (Kang *et al*., 2018) งานวิจัยนี้จึงสนใจวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมี ทดสอบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของผิวหนังของวัชพืช 6 ชนิด ในวงศ์ Asteraceae ซึ่งพบขึ้นทั่วไปเป็นจำนวนมากในแปลงปลูกพืชและที่รกร้าง ได้แก่ ก้นจ้ำขาว กระดุมทอง กะเม็ง ตีนตุ๊กแก ผักแครด และผักละออง เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนในการนำวัชพืชมาใช้ประโยชน์ในกลุ่มเครื่องสำอาง ช่วยชะลอการชราของผิวหนัง และเป็นการเพิ่มมูลค่าวัชพืชแทนการกำจัดทิ้งโดยเปล่าประโยชน์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. เตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างดอกวัชพืช Family: Asteraceae บริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ก้นจ้ำขาว (*Bidens pilosa* L.) กระดุมทอง (*Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski) กะเม็ง (*Eclipta prostrata* (L.)) ตีนตุ๊กแก (*Tridax procumbens* L.) ผักแครด (*Synedrella nodiflora* (L.) Gaertn.) และผักละออง (*Vernonia cinerea* Less.) (Figure 1)

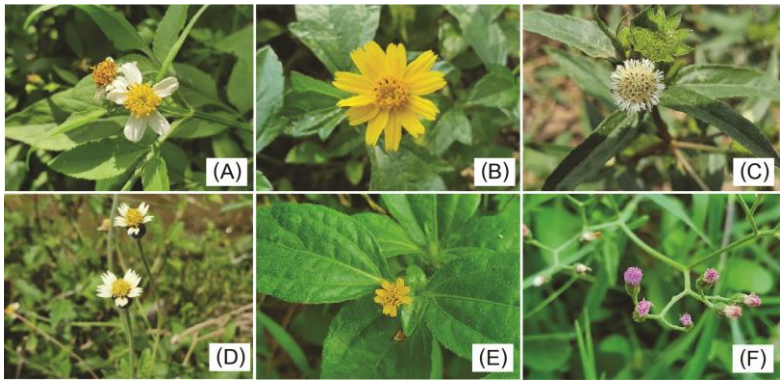


Figure 1. Characteristic of weed flowers in this study including *Bidens pilosa* (A), *Sphagneticola trilobata* (B), *Eclipta prostrata* (C), *Tridax procumbens* (D), *Synedrella nodiflora* (E) and *Vernonia cinerea* (F)

นำพืชตัวอย่างมาตรวจพิสูจน์ชนิดพืชเปรียบเทียบกับหนังสือวัชพืชในประเทศไทย (Suwanagul and Suwanketnikom, 2002) และ Major Weeds in Thailand (Noda *et al*., 1994) และคัดเลือกส่วนที่ใช้ ทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า ใส่ตะกร้าตั้งไว้ให้แห้งหมาดประมาณ 2 ชั่วโมง ได้เป็นตัวอย่างสด ส่วนตัวอย่างแห้งนำไปตากไว้ในที่ร่ม อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งแห้ง

นำตัวอย่างสดและแห้งของดอกวัชพืช 1 กรัม แช่ลงในเอทานอล (ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ได้เป็นสารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกของวัชพืช ทำการเจือจางตัวอย่างสารสกัดด้วยเอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ให้ได้สารสกัดจากดอกของวัชพืชความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมี ทดสอบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับความเสื่อมของผิวหนัง

2. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบพฤกษเคมี

2.1 วิเคราะห์ปริมาณสาร total flavonoids

นำตัวอย่างสารสกัด ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงใน 96-well plate หลังจากนั้นใส่สารละลาย aluminium chloride (ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร (Jia *et al*.,1999) ด้วยเครื่อง microplate reader (รุ่น Multiskan Go, Thermo Scientific, MA, USA) คำนวณปริมาณสาร total flavonoids จากกราฟมาตรฐานของ rutin equivalent (RUE) (Sigma-Aldrich, Inc., USA) เมื่อ $Y=0.0314x + 0.0031$ ($R^2=0.997$) มีหน่วยเป็น mg RUE/ g sample

2.2 วิเคราะห์ปริมาณสาร total phenolics

นำตัวอย่างสารสกัด 20 ไมโครลิตร ใส่ลงใน 96-well plate ที่มีน้ำปริมาตร 50 ไมโครลิตร หลังจากนั้นเติม Folins-phenol reagent (อัตราส่วน 1:1; reagent: water) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร และ sodium carbonate (7.5 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 80 ไมโครลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน นำไปวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร (Siddhuraju and Becker, 2003) ด้วยเครื่อง microplate reader คำนวณปริมาณสาร total phenolics จากกราฟมาตรฐานของ gallic acid equivalent (GAE) (Sigma-Aldrich, Inc., USA) เมื่อ $Y=0.0079x + 0.055$ ($R^2=0.997$) มีหน่วยเป็น mg GAE/ g sample

3. ทดสอบประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

3.1 ปฏิกิริยา DPPH radical scavenging

นำตัวอย่างสารสกัด ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในสารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma-Aldrich, Inc., USA) (ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์) ปริมาตร 40 ไมโครลิตร หลังจากนั้นเติมสารละลาย sodium acetate buffer (ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ มีค่า pH เท่ากับ 5.5) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร นำไปไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (Boskou *et al*., 2006) ด้วยเครื่อง microplate reader เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกวัชพืชในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระของ DPPH กับสาร tert-butylhydroxytoluene (BHT) (Sigma-Aldrich, Inc., USA)

3.2 ปฏิกิริยา ABTS radical scavenging

เตรียมสารผสมของ 2,2′-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammoniumsalte (ABTS) (Sigma-Aldrich, Inc., USA) (ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์) กับ potassium persulfate (ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์) นำไปไว้ที่มืด อุณหภูมิห้อง นาน 12-16 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา oxidation อย่างสมบูรณ์ ได้เป็นอนุมูลอิสระของ ABTS ก่อนทำการทดลองนำสารละลายมาเจือจางด้วย potassium phosphate buffer (ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ มีค่า pH เท่ากับ 7.4) และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสง 0.700 ± 0.050 ด้วยเครื่อง microplate reader นำตัวอย่างสารสกัด 20 ไมโครลิตร ใส่ลงสารผสมที่เตรียมไว้ วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสง (Hsu *et al*., 2011) โดยมี BHT เป็น positive control

4. ทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์

4.1 ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ collagenase

ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ collagenase จาก *Clostridium histolyticum* (Sigma-Aldrich, Inc., USA) โดยมี *N*-[3-(2-furyl)acryloyl]-Leu-Gly-Pro-Ala (FALGPA) (Sigma-Aldrich, Inc., USA) เป็นสาร substrate นำตัวอย่างสารสกัด 20 มิลลิลิตร ใส่ลงใน 96-well plate ที่มีเอนไซม์ collagenase ความเข้มข้น 0.1 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ที่ละลายใน Tricine buffer ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ (ที่มีส่วนผสมของ NaCl ความเข้มข้น 400 มิลลิโมลาร์ และ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปรับค่า pH ให้ได้ 7.5) บ่มสารผสมตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นใส่สาร FALGPA (ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อีกครั้ง เป็นเวลา 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร (Van Wart and Steinbrink, 1981) ด้วยเครื่อง microplate reader เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ collagenase ของสารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกของวัชพืชกับสาร oleanolic acid (Sigma-Aldrich, Inc., USA)

4.2 ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ elastase

ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ elastase โดยมี *N*-succ-(Ala)3-nitroanilide (SANA) (Sigma-Aldrich, Inc., USA) เป็นสาร substrate เตรียมสารผสมของ Tris-HCl buffer (ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ค่า pH เท่ากับ 8.0) ปริมาตร 160 ไมโครลิตร และเอนไซม์ elastase จาก porcine pancreas (Sigma-Aldrich, Inc., USA) (ความเข้มข้น 0.03 ยูนิตต่อมิลลิลิตร) ปริมาตร 20 ไมโครลิตร หลังจากนั้นใส่ตัวอย่างสารสกัด 20 ไมโครลิตร และ SANA (ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์) ปริมาตร 20 ไมโครลิตร บ่มสารผสมตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร (Lee *et al.*, 1999) ด้วยเครื่อง microplate reader โดยมีสาร oleanolic acid เป็น positive control

4.3 ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ hyaluronidase

นำตัวอย่างสารสกัด 50 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ร่วมกับเอนไซม์ hyaluronidase จาก bovine testes (Sigma-Aldrich, Inc., USA) (ความเข้มข้น 1.50 ยูนิต) ปริมาตร 25 ไมโครลิตร และสารละลาย sodium phosphate buffer (ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์) เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเติม hyaluronic acid sodium salt จาก rooster comb (Sigma-Aldrich, Inc., USA) (ความเข้มข้น 0.03 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร บ่มสารผสมไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที เติมสารละลาย acid albumin ปริมาตร 50 ไมโครลิตร วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (Kim *et al.*, 2009) ด้วยเครื่อง microplate reader โดยมีสาร oleanolic acid เป็น positive control

4.4 ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ tyrosinase

นำตัวอย่างสารสกัด 20 ไมโครลิตร ใส่ลงใน 96-well plate เติม phosphate buffer ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ (pH 6.8) ปริมาตร 120 ไมโครลิตร และเอนไซม์ tyrosinase จาก mushroom (Sigma-Aldrich, Inc., USA) ปริมาตร 20 ไมโครลิตร (ความเข้มข้น 500 ยูนิตต่อมิลลิลิตร) บ่มสารผสมตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น 15 นาที เติมสารละลาย 3,4-dihydroxy-L-phenylalanine (Sigma-Aldrich, Inc., USA) (ความเข้มข้น 0.85 มิลลิโมลาร์) ปริมาตร 20 ไมโครลิตร วางสารละลายตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 5 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร (Tadtong *et al.*, 2009) ด้วยเครื่อง microplate reader โดยมีสาร kojic acid (Sigma-Aldrich, Inc., USA) เป็น positive control

คำนวณประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ จากสูตรดังนี้

การยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระหรือกิจกรรมของเอนไซม์ (เปอร์เซ็นต์) = $[(OD_{ชุดควบคุม} - OD_{ตัวอย่าง})/OD_{ชุดควบคุม}] \times 100$

เมื่อ $OD_{ชุดควบคุม}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของเอทานอล (80 เปอร์เซ็นต์)

$OD_{ตัวอย่าง}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่าง หรือ positive control

5. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design สิ่งทดลอง คือ สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดและแห้งจากดอกวัชพืช 7 ชนิด จำนวน 6 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.01$)

ผลการทดลอง

ปริมาณสารพฤกษเคมี

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีในกลุ่มฟลาโวนอยด์และฟีนอลิกรวม (Table 1) พบว่า สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างดอกแห้งความเข้มข้นตั้งต้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ในปริมาณที่มากกว่าตัวอย่างสดแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่สารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกของกระดุมทองมีปริมาณสารกลุ่มฟลาโวนอยด์สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกของวัชพืชอื่น (เท่ากับ 12.73 ± 0.36 mg RUE/ g sample) รองลงมาได้แก่ สารสกัดจากตัวอย่างแห้งจากดอกของก้นจ้ำขาว (เท่ากับ 8.92 ± 0.11 mg RUE/ g sample)

ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิก พบว่า สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างแห้งของดอกวัชพืชทุกชนิดมีปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกสูงกว่า สารสกัดจากตัวอย่างสด ยกเว้นดอกตีนตุ๊กแก ที่พบว่าปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่า สารสกัดเอทานอลจากตัวอย่างแห้งของกระดุมทองและกะเม็งมีปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกสูงกว่าสารสกัดด้วยเอทานอลจากวัชพืชชนิดอื่น (เท่ากับ 9.38 ± 0.37 และ 8.31 ± 0.45 mg GAE/ g sample ตามลำดับ) รองลงมา ได้แก่ สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างแห้งของดอกก้นจ้ำขาว (เท่ากับ 5.98 ± 0.08 mg GAE/ g sample)

ประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

สำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้งจากดอกของวัชพืชในการยับยั้งปฏิกิริยา DPPH radical scavenging (Figure 2A) พบว่า สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างแห้งของดอกวัชพืชทุกชนิดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสารสกัดจากตัวอย่างสด โดยสารสกัดมีระดับความเข้มข้นตั้งต้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างแห้งของวัชพืชทุกชนิดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของ DPPH ได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยที่สารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกของวัชพืชนี้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าสาร BHT ซึ่งสามารถยับยั้งปฏิกิริยานี้ได้ 78.57 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้น สารสกัดจากตัวอย่างแห้งของดอกตีนตุ๊กแกที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งปฏิกิริยานี้ 74.32 เปอร์เซ็นต์

Table 1. The amount of phytochemicals in ethanol extracts from flower of 6 weed species

Weed species	Flavonoids (mg RUE/ g sample)		Phenolics (mg GAE/ g sample)	
	Fresh sample	Dried sample	Fresh sample	Dried sample
Bidens pilosa	1.24±0.02 [fg 1]	8.92±0.11 [b]	4.22±0.06 [cd]	5.98±0.08 [b]
Sphagneticola trilobata	1.46±0.19 [ef]	12.73±0.36 [a]	4.66±0.19 [cd]	9.38±0.37 [a]
Eclipta prostrata	1.08±0.06 [fg]	4.15±0.04 [c]	3.75±0.05 [cde]	8.31±0.45 [a]
Tridax procumbens	0.85±0.07 [g]	2.91±0.03 [d]	2.98±0.40 [cde]	2.22±0.03 [e]
Synedrella nodiflora	0.70±0.05 [g]	1.11±0.04 [fg]	2.13±0.02 [e]	3.63±0.05 [cde]
Vernonia cinerea	0.75±0.06 [g]	1.95±0.04 [e]	2.59±0.05 [de]	3.10±0.07 [cde]

[1] The data represent the mean±standard deviation of six replications. Value with the same letter are not significantly different at $P \leq 0.01$ from each other

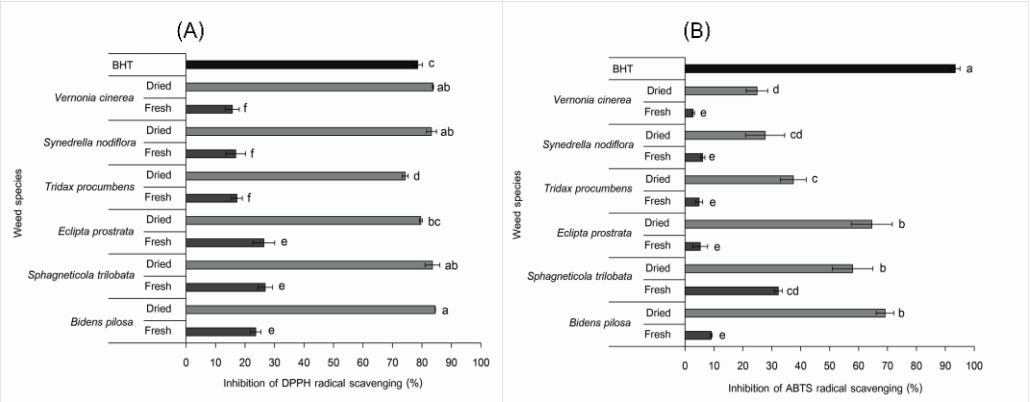


Figure 2. Inhibitory effect of ethanol extracts from flower of 6 weed species and positive control at concentration of 100 µg/mL on DPPH (A) and ABTS (B) radical scavengings

ส่วนผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกของวัชพืชในการยับยั้งปฏิกิริยา ABTS radical scavenging พบว่า สารสกัดจากตัวอย่างแห้งของดอกวัชพืชมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระของ ABTS ได้ดีกว่าสารสกัดจากตัวอย่างสด โดยที่สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างแห้งของดอกก้นจ้ำขาว กะเม็ง และกระดุมทอง มีฤทธิ์ในการยับยั้งปฏิกิริยา ABTS นี้ ได้ดีที่สุด (เท่ากับ 69.16, 64.57 และ 57.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างแห้งของดอกวัชพืชชนิดอื่น โดยที่สารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกวัชพืชนี้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS ได้น้อยกว่าสาร BHT ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา 93.42 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2)

ประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้งจากดอกของวัชพืช 6 ชนิด พบว่า สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดของดอกผักแครดเพียงชนิดเดียวที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ collagenase และ hyaluronidase ได้ เท่ากับ 2.80 ± 0.08 และ 4.23 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดจากตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้งจากดอกของวัชพืชอื่นที่ไม่ได้กล่าวข้างต้น ไม่พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้ (Table 2) โดยที่สารสกัดจากดอกผักแครดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ collagenase และ hyaluronidase ด้อยกว่าสาร oleanolic acid ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ 80.41±2.14 และ 75.17±1.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สำหรับผลของสารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้งของดอกวัชพืชในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ elastase (Table 2) พบว่า สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างแห้งของดอกตีนตุ๊กแกและผักละอองมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ elastase ได้ดีที่สุด (เท่ากับ 32.72 ± 3.06 และ 29.73 ± 3.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากตัวอย่างแห้งจากดอกของวัชพืชอื่นรองลงมา คือ สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดและแห้งจากดอกผักแครด (เท่ากับ 29.08 ± 5.51 และ 27.18 ± 2.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่สารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกวัชพืชเหล่านี้มีประสิทธิภาพด้อยกว่าสาร oleanolic acid ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดนี้ได้ เท่ากับ 76.02 ± 2.50 เปอร์เซ็นต์

ส่วนผลของสารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกวัชพืชในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ tyrosinase (Table 2) พบว่า สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดของดอกวัชพืชส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง

Table 2. Percentage inhibition of ethanol extracts from flower of 6 weed species and positive controls at concentration of 100 μg/mL on collagenase, elastase, hyaluronidase and tyrosinase activities

Weed species	Samples	Inhibitory activities (%)			
		Collagenase	Elastase	Hyaluronidase	Tyrosinase
Bidens pilosa	Fresh	nd	13.96±1.43 [d 1]	nd	3.24±0.47 [b]
	Dried	nd	25.33±2.15 [bcd]	nd	nd
Sphagneticola trilobata	Fresh	nd	24.38±2.15 [bcd]	nd	nd
	Dried	nd	25.38±1.31 [bcd]	nd	nd
Eclipta prostrata	Fresh	nd	22.83±3.78 [bcd]	nd	1.86±0.71 [b]
	Dried	nd	25.98±2.30 [bcd]	nd	nd
Tridax procumbens	Fresh	nd	15.01±2.50 [cd]	nd	3.52±0.72 [b]
	Dried	nd	32.72±3.06 [b]	nd	1.87±0.09 [b]
Synedrella nodiflora	Fresh	2.80±0.08 [b]	29.08±5.51 [bc]	4.23±0.20 [b]	3.38±0.15 [b]
	Dried	nd	27.18±2.79 [bcd]	nd	3.17±0.12 [b]
Vernonia cinerea	Fresh	nd	18.54±4.99 [bcd]	nd	2.62±0.86 [b]
	Dried	nd	29.73±3.99 [b]	nd	0.83±0.04 [b]
Oleanolic acid		80.41±2.14 [a]	76.02±2.05 [a]	75.17±1.96 [a]	
Kojic acid					87.29±3.24 [a]

[1] The data represent the mean ± standard deviation of six replications. Different letter in the same column indicate the existence of statistically significant difference at $P \leq 0.01$

[nd] Not detected

กิจกรรมของเอนไซม์ tyrosinase ได้ดีกว่าสารสกัดจากตัวอย่างแห้ง ยกเว้นสารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดและแห้งจากดอกผักแครด ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ เท่ากับ 3.38 ± 0.15 และ 3.17 ± 0.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยที่สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดจากดอกวัชพืชในการทดลองนี้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ tyrosinase ด้อยกว่าสาร kojic acid ซึ่งเท่ากับ 87.29 ± 3.24 เปอร์เซ็นต์

วิจารณ์

จากรายงานของ Hasler and Blumberg (1999) พบว่า สารพฤกษเคมีเป็นสารประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งพบได้ในพืช มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพมนุษย์ มีรายงานวิจัยมากมายแสดงให้เห็นว่าพืชหลายชนิดเป็นแหล่งที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมีในสารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้งของดอกวัชพืชทั้ง 6 ชนิด พบว่า สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างแห้งมีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และฟีนอลิกปริมาณที่มากกว่าตัวอย่างสด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Agustini *et al*. (2015) พบว่า น้ำหนักตัวอย่างที่เท่ากัน สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างแห้งของ *Spirulina* sp. มีองค์ประกอบของสารกลุ่ม ฟลาโวนอยด์และฟีนอลิกสูงกว่าสารสกัดจากตัวอย่างสด นอกจากนี้ยังพบว่า สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างแห้งมีฤทธิ์ในการยับยั้งปฏิกิริยา DPPH scavenging ได้ดีกว่าสารสกัดจากตัวอย่างสด (มีค่า IC_{50} เท่ากับ 33.07 และ 163.61 ppm ตามลำดับ) ส่วน Bernard *et al*. (2014) พบว่า ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณของสาร phenolic ซึ่งเมื่อปริมาณของสาร phenolic สูง ทำให้สารสกัดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย นอกจากนี้ Sowndhararajan *et al*. (2016) ได้ศึกษาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายในตัวอย่างสดและแห้งของผล *Magnolia kobus* พบว่า ตัวอย่างแห้งที่อบในตู้อบลมร้อน 65 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง มีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลสด ซึ่ง Abu-Orabi *et al*. (2020) รายงานว่า น้ำมันหอมระเหยมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ด้อยกว่าสารสกัดหยาบด้วยเมทานอล บิวทานอล และน้ำ

จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกกระดุมทองและก้นจ้ำขาวมีปริมาณของสาร total flavonoids และ total phenolics สูงกว่าสารสกัดจากดอกวัชพืชชนิดอื่น จึงทำให้สารสกัดจากดอกของวัชพืชสองชนิดนี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของ DPPH และ ABTS ได้ดี ซึ่ง Meena *et al*. (2011) รายงานว่า ส่วนดอกของกระดุมทองมีส่วนประกอบของสาร sesquiterpene lactone, trilobolid-6-O-isobutyrate A และ B ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง เช่นเดียวกับรายงานของ Govindappa *et al*. (2011) พบว่า สารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกของกระดุมทองมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยา DPPH radical scavenging และยังมีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบและลดไข้ ซึ่ง Lee *et al*. (2013) รายงานว่า สารสกัดจากดอกของก้นจ้ำขาวมีส่วนประกอบของสารกลุ่ม di-*O*-caffeoylquinic acid (DICQAs) ได้แก่ 3, 4-di-*O*-caffeoylquinic acid, 3,5-di-*O*-caffeoylquinic acid และ 4, 5-di-*O*-caffeoylquinic acid และกลุ่ม polyacetylene glucosides (PGAs) ได้แก่ 2-β-D-glucopyranosyloxy-1-hydroxy-5(*E*)-tridecene-7, 9, 11-triyne, 2-β-D-glucopyranosyloxy-1-hydroxytrideca-5, 7, 9, 11-tetrayne และ 3-β-D-glucopyranosyloxy-1-hydroxy-6(*E*)-tetradecene-8,10,12-triyne โดยที่พบว่า สารกลุ่ม PGAs มีประสิทธิภาพในการป้องกันโรคเบาหวานในหนูทดลองได้ ด้วยการกระตุ้นการสร้างอินซูลินในเลือด ลดระดับน้ำตาลในเลือด ส่วน Deba *et al*. (2008) พบว่า สารสกัดจากดอกของก้นจ้ำขาวมีฤทธิ์ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดี มีค่า IC_{50} เท่ากับ 49.7 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยที่ผลการจำแนกชนิดสารพฤกษเคมีด้วยเทคนิค GC-MS พบสาร β-caryophyllene (5.1%) และ τ-cadinene (6.13%) เป็นองค์ประกอบหลัก สำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกของวัชพืชวงศ์ Asteraceae ในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของผิวหนัง พบว่า สารสกัดจากตัวอย่างสดของดอกผักแครดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ collagenase, elastase, hyaluronidase และ tyrosinase ได้ ซึ่งสารพฤกษเคมีที่พบในดอกของผักแครดนั้นยังไม่มีรายงานแน่ชัด ซึ่ง Abad *et al*. (1996) รายงานว่า สารสกัดด้วยเอทานอลจากส่วนลำต้นเหนือดินของผักแครดมีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบ จากการศึกษาของ Vaidya *et al*. (2014) พบว่า ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้งอาจเกิดจากความแตกต่างของปริมาณและชนิดของสารพฤกษเคมีภายในตัวอย่างพืช ซึ่งอาจมีสารหลากหลายชนิดและมีความทนต่อความร้อนในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแห้งได้แตกต่างกัน ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและสรรพคุณทางยาจึงขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บรักษาตัวอย่าง วิธีการเตรียมตัวอย่าง และวิธีการสกัด ดังนั้นการจำแนกชนิดของสารพฤกษเคมีในสารสกัดด้วยเอทานอลจากดอกของกระดุมทอง ก้นจ้ำขาว และผักแครด จึงควรมีการศึกษา เพื่อนำมาใช้ประโยชน์เป็นตัวยาสมุนไพรต่อไป

สรุป

สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างแห้งของดอกกระดุมทอง และก้นจ้ำขาวมีปริมาณของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และฟีนอลิกสูง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในปฏิกิริยา DPPH และ ABTS radical scavenging ของสารสกัดจากตัวอย่างแห้งของดอกวัชพืชเหล่านี้ที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารสกัดจากดอกวัชพืชอื่น ในขณะที่สารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดของดอกวัชพืชมี

ประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ไม่สูงมากนัก โดยสารสกัดด้วยเอทานอลจากตัวอย่างสดของดอกผักแครด มีประสิทธิภาพในยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ collagenase, elastase, hyaluronidase และ tyrosinase ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของผิวหนังได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการสนับสนุนและส่งเสริมการวิจัยของภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่มอบทุนอุดหนุนสำหรับการทำงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Abad, M.J., P. Bermejo, E. Carretero, C. Martinez-Acitores, B. Noguera and A. Villar. 1996. Antiinflammatory activity of some medicinal plant extracts from Venezuela. Journal of Ethnopharmcology 55(1): 63-68.

Abu-Orabi, S.T., M.A. Al-Qudah, N.R. Saleh, T.T. Bataineh, S.M. Obeidat, M.S. Al-Sheraideh, H.I. Al-Jaber, H.I. Tashtoush and J.N. Lahham. 2020. Antioxidant activity of crude extracts and essential oils from flower buds and leaves of *Cistus creticus* and *Cistus salviifolius*. Arabian Journal of Chemistry 13: 6256-6266.

Agustini, T.W., M. Suzery, D. Sutrisnanto, W.F. Ma'ruf and Hadiyanto. 2015. Comparative study of bioactive substances extracted from fresh and dried *Spirulina* sp. Procedia Environmental Sciences 23: 282-289.

Bernard, D., A.I. Kwabena, O.D. Osei, G.A. Daniel, S.A. Elom and A. Sandra. 2014. The effect of different drying methods on the phytochemicals and radical scavenging activity of Ceylon cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) plant parts. European Journal of Medicinal Plants 4(11): 1324-1335.

Boskou, G., F.N. Salta, S. Chrysostomou, A. Mylona, A. Chiou and N.K. Andrikopoulos. 2006. Antioxidant capacity and phenolic profile of table olives from the Greek market. Food Chemistry 94(4): 558-564.

de Araújo, R., M. Lôbo, K. Trindade, D.F. Silva and N. Pereira. 2019. Fibroblast growth factors: a controlling mechanism of skin aging. Skin Pharmacology and Physiology 32: 275-282.

Deba, F., T.D. Xuan, M. Yasuda and S. Tawata. 2008. Chemical composition and antioxidant, antibacterial and antifungal activities of the essential oils from *Bidens pilosa* Linn. var. *Radiata*. Food Control 19: 346-352.

Demina, N.S. and S.V. Lysenko. 1996. Collagenolytic enzymes synthesized by microorganisms. Mikrobiologiia 65(3): 293-304.

Govindappa, M., S.S. Naga, M.N. Poojashri, T.S. Sadananda, C.P. Chandrappa, S. Gustavo, P. Sharanappa and N.V.A. Kumar. 2011. Antimicrobial, antioxidant and *in vitro* anti-inflammatory activity of ethanol extract and active phytochemical screening of *Wedelia trilobata* (L.) Hitchc. Journal of Medicinal Plants Research 5(24): 5718-5729.

Hasler, C.M. and J.B. Blumberg. 1999. Symposium on phytochemicals: biochemistry and physiology. Journal of Nutrition 129(3): 756S-757S.

Hassan, S. 2020. Positive aspects of weeds as herbal remedies and medicinal plants. Journal of Research in Weed Science 3(1): 57-70.

Hsu, C.F., H. Peng, C. Basle, J. Travas-Sejdic and P.A. Kilmartin. 2011. $ABTS^{\bullet+}$ scavenging

activity of polypyrrole, polyaniline and poly(3,4-ethylenedioxythiophene). Polymer International 60(1): 69-77.

Jia, Z., M. Tang and J. Wu. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chemistry 64(4): 555-559.

Kang, C.H., S.J. Rhie and Y.C. Kim. 2018. Antioxidant and skin anti-aging effects of marigold methanol extract. Toxicological Research 34(1): 31-39.

Kim, H.J., J. Yun, J. Lee, H. Hong, J. Jeong, E. Kim, Y.S. Bae and K.J. Lee. 2011. SUMO1 attenuates stress-induced ROS generation by inhibiting NADPH oxidase 2. Biochemical and Biophysical Research Communications 410(3): 555-562.

Kim, J.H., J.C. Byun, A.K.R. Bandi, C.G. Hyun and N.H. Lee. 2009. Compounds with elastase inhibition and free radical scavenging activities from *Callistemon lanceolatus*. Journal of Medicinal Plants Research 3(11): 914-920.

Lee, K.K., J.H. Kim, J.J. Choi and J.D. Choi. 1999. Inhibitory effects of 150 plant extracts on elastase activity, and their anti-inflammatory effects. International Journal of Cosmetic Science 21(2): 71-82.

Lee, W.C., C.C. Peng, C.H. Chang, S.H. Huang and C.C. Chyau. 2013. Extraction of antioxidant components from *Bidens pilosa* flowers and their uptake by human intestinal Caco-2 cells. Molecules 18(2): 1582-1601.

Meena, A.K., M.M. Rao, R.P. Meena, P. Panda and Renu. 2011. Pharmacological and phytochemical evidences for the plants of *Wedelia* genus - a review. Asian Journal of Pharmaceutical Reviews 1(1): 1-6.

Noda, K., M. Teerawatsakul, C. Prakongvongs and L. Chaiwiratnukul. 1994. Major Weeds in Thailand. 3rd ed. Mass & Medias Co., LTD., Bangkok. 164 p.

Pogrel, M.A., M.A. Low and R. Stern. 2003. Hyaluronan (hyaluronic acid) and its regulation in human saliva by hyaluronidase and its inhibitors. Journal of Oral Science 45(2): 85-91.

Sangmala, S. 2017. Introduction to dermatology. (Online). Available: https://meded.psu.ac.th /binla/ class05/388_573/intro_to_dematology /index.html (April 20, 2020). (in Thai)

Siddhuraju, P. and K. Becker. 2003. Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agroclimatic origins of drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51(8): 2144-2155.

Sonibare, M.A., O.T. Aremu and P.N. Okorie. 2016. Antioxidant and antimicrobial activities of solvent fractions of *Vernonia cinerea* (L.) Less leaf extract. African Health Science 16(2): 629-639.

Sowndhararajan, K., H. Cho, B. Yu and S. Kim. 2016. Comparison of essential oil compositions of fresh and dried fruits of *Magnolia Kobus* DC. Journal of Applied Pharmaceutical Science 6(4): 146-149.

Suwanagul, D. and R. Suwanketnikom. 2002. Weeds in Thailand. 1st ed. Kasetsart University Press, Bangkok. 440 p. (in Thai)

Tadtong, S., A. Viriyaroj, S. Vorarat, S. Nimkulrat and S. Suksamrarn. 2009. Antityrosinase and antibacterial activities of mangosteen pericarp extract. Journal of Health Research 23(2): 99-102.

Tamokou, J.D.D., A.T. Mbaveng and V. Kuete. 2017. Antimicrobial activities of African medicinal spices and vegetables. pp. 207-237. *In*: V. Kuete (ed.). Medicinal Spices and Vegetables from Africa: Therapeutic Potential Against Metabolic, Inflammatory, Infectious and Systemic Diseases. Academic Press, London.

Thring, T.S.A., P. Hili and D.P. Naughton. 2009. Anti-collagenase, anti-elastase and anti-oxidant activities of extracts from 21 plants. BMC Complementary and Alternative Medicine 9: 27, doi: 10.1186/1472-6882-9-27.

Udayashankar, A.C, M. Nandhini, S.B. Rajini and H.S. Prakash. 2019. Pharmacological significance of medicinal herb *Eclipta alpa* L.-a review. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research 10(8): 3592-3606.

Vaidya, B.N., T.A. Brearley and N. Joshee. 2014. Antioxidant capacity of fresh and dry leaf extracts of sixteen *Scutellaria* species. Journal of Medicinally Active Plants 2(3): 42-49.

Van Wart, H.E. and D.R. Steinbrink. 1981. A continuous spectrophotometric assay for *Clostridium histolyticum* collagenase. Analytical Biochemistry 113(2): 356-365.

Vierkötter, A. and J. Krutmann. 2012. Environmental influences on skin aging and ethnic-specific manifestations. Dermato-Endocrinology 4(3): 227-231.

Xuan, T.D. and T.D. Khanh. 2016. Chemistry and pharmacology of *Bidens pilosa*: an overview. Journal of Pharmaceutical Investigation 46(2): 91-132.

Zaidi, K.U., S.A. Ali and A.S. Ali. 2016. Effect of purified mushroom tyrosinase on melanin content and melanogenic protein expression. Biotechnology Research International 2016: Article ID 9706214, doi: 10.1155/2016/9706214.

Zungsontiporn, S., M. Thongros and T. Jongrukthai. 2015. Survey of weeds in vegetable in northeast and central region. (Online). Available: http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=851 (May 11, 2019). (in Thai)

ผลของการตัดแต่งกิ่งและจัดการธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะม่วงหิมพานต์

Effects of Pruning and Plant Nutrition Management on Growth, Development and Yield of Cashew Nut

พจนีย์ แสงมณี*

Podjanee Sangmanee*

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จ. อุตรดิตถ์ 53000

Division of Agriculture, Faculty of Agriculture, Uttaradit Rajabhat University,

Uttaradit 53000, Thailand

**Corresponding author: Email: psangmanee191@gmail.com*

(Received: 21 October 2019; Accepted: 23 June 2020)

Abstract: Uttaradit province is the largest area of cashew nut (*Anacardium occidentale*) production in Thailand. However, dry inflorescence and low productivity are seriously problematics. The objective of this study was to investigate the appropriate practice for enhancing yield. The 15-year old with 4-6 m canopy of cashew nut trees at grower's orchard were selected. The experimental design was 2 x 2 factorial in randomized complete block (RCB) with 10 trees or replications. Two factors and 2 levels of each factor were studied; 1) with and without pruning and 2) with and without soil and plant nutrition management. Open center pruning was conducted after harvest in December. For soil and plant nutrition management, dolomite and soil fertilizer grade 13-13-21 were applied each at rate of 5 kg tree^{-1}. Moreover, commercial foliar fertilizer grade 6-32-32 (plus 0.14% MgO, 0.04% Fe, 0.04% Mn, 0.04% Cu, 0.04% Zn and 0.02% B) at rate of 50 g 20 L^{-1} of water mixed with 50 g of glucose was sprayed weekly during January until March. The results showed that pruning combined with soil and fertilizer management induced 100% of leaf flushing and gave 25-28 cm inflorescence width within 3 weeks after foliar spraying. Moreover, trees in this treatment gave 12.8 nuts cluster^{-1}, 6.50 g nut^{-1} and yield of 10.93 kg tree^{-1}. Trees in other treatments showed significant smaller values of growth and yield. Pruning factor affected number of nuts per cluster, nut weight and yield, while soil and nutrition management factor influenced all growing period. Therefore, the appropriate practices for increasing yield of cashew nut were pruning and soil management. Improving soil fertility such as applying a liming material and fertilizer should be done in early of raining season or in May. Foliar fertilizer enriched with secondary and trace elements including glucose should be sprayed weekly prior to leaf flushing until nut developing period during January to March.

Keywords: Cashew nut, pruning, fertilizer management, growth, yield

บทคัดย่อ: จังหวัดอุตรดิตถ์เป็นพื้นที่เพาะปลูกมะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale*) ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย แต่ปัจจุบันประสบปัญหาช่อดอกแห้งและผลผลิตตกต่ำ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการจัดการที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิต โดยทำการศึกษาในแปลงของเกษตร ใช้ต้นมะม่วงหิมพานต์อายุ 15 ปี เส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่ม 4-6 เมตร วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 x 2 สุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น การทดลองมี 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับที่ศึกษา ได้แก่ 1) มีและไม่มีการตัดแต่งกิ่ง และ 2) มีและไม่มีการจัดการดินและธาตุอาหารพืช การตัดแต่งกิ่งแบบเปิดกลางทรงพุ่มทำภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนธันวาคม การจัดการดินและธาตุอาหารใช้โดโลไมต์และปุ๋ยเกรด 13-13-21 อย่างละ 5 กิโลกรัมต่อต้น ร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบเกรด 6-32-32 ที่มีส่วนผสมของแมกนีเซียมออกไซด์ 0.14%, เหล็ก 0.04%, แมงกานีส 0.04%, ทองแดง 0.04%, สังกะสี 0.04%, โบรอน 0.02% อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ที่ผสมด้วยกลูโคส 50 กรัม พ่นทุกสัปดาห์ในช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม จากการศึกษา พบว่า การตัดแต่งกิ่งร่วมกับการจัดการดินและธาตุอาหารทำให้เกิดการผลิใบอ่อน 100% และมีการพัฒนาช่อดอกพร้อมกันขนาดความกว้าง 25-28 เซนติเมตร ภายใน 3 สัปดาห์หลังจากได้รับธาตุอาหารทางใบ มะม่วงหิมพานต์มีการติดผล 12.80 ผลต่อช่อ น้ำหนักผล 6.50 กรัม และผลผลิตที่รวมเปลือกเฉลี่ย 10.93 กิโลกรัมต่อต้น ส่วนต้นในกรรมวิธีอื่น ๆ เติบโตและให้ผลผลิตที่น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจัยการตัดแต่งกิ่งมีผลต่อจำนวนผลต่อช่อ น้ำหนักผล และผลผลิต ขณะที่ปัจจัยการจัดการดินและธาตุอาหารมีผลในทุกระยะการเติบโต ดังนั้น วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มผลผลิตคือการตัดแต่งกิ่งร่วมกับการปรับปรุงดินและให้ปุ๋ยทางดินในช่วงต้นฤดูฝนหรือเดือนพฤษภาคม และพ่นปุ๋ยทางใบที่มีธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหารร่วมกับน้ำตาลกลูโคสทุกสัปดาห์ก่อนการผลิใบอ่อนไปจนถึงระยะบำรุงเมล็ดในช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม

คำสำคัญ: มะม่วงหิมพานต์ การตัดแต่งกิ่ง การจัดการธาตุอาหาร การเติบโต ผลผลิต

คำนำ

มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale*) เป็นพืชเศรษฐกิจของจังหวัดอุตรดิตถ์ มีพื้นที่เพาะปลูกรวมจำนวน 25,699 ไร่ ถือเป็นพื้นที่เพาะปลูกแหล่งใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ให้ผลผลิตรวม 8,934 ตัน หรือ 42.4% ของผลผลิตทั้งประเทศ มูลค่ารวม 312.71 ล้านบาท (Uttaradit Provincial Agriculture and Cooperatives Office, 2019) พื้นที่เพาะปลูกมะม่วงหิมพานต์ของจังหวัดอุตรดิตถ์เป็นดินลูกรังและบางส่วนเป็นดินร่วนปนทราย ส่วนใหญ่ปลูกทิ้งไว้เพื่อรอเก็บผลผลิต ทำให้ได้ผลผลิตไม่เกิน 3 กิโลกรัมต่อต้น และเม็ดมะม่วงหิมพานต์มีขนาดเล็กไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ปัญหาสำคัญที่พบมากคืออาการช่อดอกแห้งและติดผลน้อย (Sangmanee, 2019)

การจัดการทรงพุ่มหรือการตัดแต่งกิ่งเป็นวิธีการที่มีผลต่อการออกดอกและการผลิใบอ่อน เนื่องจากการตัดแต่งกิ่งทำให้แสงส่องผ่านมาที่ใบได้มากขึ้น จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและสะสมอาหาร ลดการแก่งแย่งอาหารระหว่างกิ่งกับการสร้างใบ (Wünsche and Lakso, 2000) ลดอิทธิพลของตายอดข่มตาข้าง (apical dominance) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนรากต่อต้น ช่วยกระตุ้นให้พืชสร้างกิ่งและใบใหม่ทดแทนส่วนที่ถูกตัดออกไป ส่งผลให้ผลิใบอ่อนได้เร็วขึ้น (Wanichkul, 2003) การตัดแต่งกิ่งนิยมศึกษาในไม้ผลหลายชนิด เช่น ชมพู่ที่มีการตัดแต่งในรูปแบบที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณอาหารสะสมที่เหลืออยู่ภายในต้น โดยการตัดแต่งกิ่งแบบเปิดกลางทรงพุ่มทำให้มีจำนวนช่อดอกต่อต้นมากที่สุด (Wanichkul and Kanchanakesorn, 2008) การตัดแต่งกิ่งลำไยและอะโวกาโดแบบทรงเหลี่ยมช่วยกระตุ้นการผลิใบอ่อนได้เร็วขึ้น (Senanan *et al*., 2011; Tanongjid *et al*., 2016) ขณะที่การตัดแต่งมังคุดไม่ให้สูงเกิน 4 เมตร ช่วยเพิ่มการติดผลและทำให้คุณภาพผลผลิตดีขึ้น (Sakdiset and Sanputawong, 2016) นอกจากนี้การเพิ่มระดับซูโครสในต้นเพื่อชักนำการเกิดตาดอก เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมทำในการผลิตไม้ผลในปัจจุบัน เนื่องจากการออกดอกเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานสูง การปรับสมดุลของคาร์โบไฮเดรตและไนโตรเจน (C/N) ภายในต้นเป็นการจัดสรรแบ่งสารอาหาร (partitioning)

ไปสร้างส่วนต่าง ๆ ของพืชและส่งเสริมการออกดอกและการติดผล (Bustan *et al.,* 1996) ค่า C/N ที่สูง จะพบในช่วงการเติบโตที่แตกต่างกันในไม้ผลแต่ละชนิดตั้งแต่ระยะพัฒนาตาดอกไปจนถึงพัฒนาผล เช่น ลองกองพบในช่วงผลิตาดอก ขณะที่มังคุดพบในช่วงพัฒนาผล (Jirapaet, 2013) สำหรับการจัดการดินและธาตุอาหารเพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพผลผลิตมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางกับไม้ผลหลายชนิด เช่น ทุเรียน มะม่วง ส้มโอ อาศัยหลักการปรับค่าความเป็นกรด-เบสของดินและการให้ธาตุอาหารอย่างเพียงพอทั้งทางดินและทางใบสามารถส่งเสริมการเติบโต เพิ่มปริมาณและคุณภาพผลผลิต (Hiranpradit *et al*., 2003; Maneepong, 2013; Santasup, 2009)

ดังนั้นการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างการตัดแต่งกิ่งและการจัดการธาตุอาหารที่มีต่อการเติบโตและการให้ผลผลิตของมะม่วงหิมพานต์ จึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้ได้วิธีการจัดการที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตสำหรับส่งเสริมการปลูกมะม่วงหิมพานต์ให้แก่เกษตรกรในพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการทดลองในแปลงมะม่วงหิมพานต์ของเกษตรกร ปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2561-2562 ที่บ้านวังผาชัน หมู่ที่ 6 ตำบลน้ำไคร้ อำเภอน้ำปาด จังหวัดอุตรดิตถ์ (47P, X=661402.20, Y=1517799.58) เป็นมะม่วงหิมพานต์พันธุ์ศิริชัย 25 อายุ 15 ปี เส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่ม 4-6 เมตร ความสูงประมาณ 3 เมตร ระยะปลูก 6 x 6 เมตร สภาพดินในแปลงเป็นดินร่วนปนทราย ไม่มีการใช้ปุ๋ยหรือการตัดแต่งกิ่งมาก่อน ลักษณะทรงพุ่มมะม่วงหิมพานต์แน่นทึบ จากการสังเกตด้วยตา ไม่พบการผลิใบอ่อน พบใบแก่ที่มีอาการขาดธาตุอาหารทั้งหลักและรอง

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 x 2 สุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Factorial 2 x 2 in RCBD) มีสองปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ การตัดแต่ง มี 2 ระดับ คือการไม่ตัดแต่งกิ่งและการตัดแต่งกิ่ง ปัจจัยที่ 2 คือ การจัดการดินและธาตุอาหารพืช มี 2 ระดับ คือ ไม่มีการจัดการ (วิธีการที่เกษตรกรปฏิบัติ) และมีการจัดการ มี 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น

การตัดแต่งกิ่ง: เริ่มตัดแต่งกิ่งภายหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนธันวาคม โดยเลือกการตัดแต่งกิ่งแบบเปิดกลางทรงพุ่ม ให้แสงส่องผ่านทั้งภายในและภายนอกทรงพุ่ม เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการออกดอกและติดผล (Nayak, 2011) โดยตัดกิ่งหลักที่อยู่กลางพุ่มออก 2-3 กิ่ง เพื่อให้ใบส่วนใหญ่ที่เหลืออยู่ได้รับแสงแดดมากที่สุด หลังจากนั้นตัดกิ่งกระโดง กิ่งที่ไม่ได้รับแสงแดด กิ่งที่ไม่สมบูรณ์ และกิ่งที่เป็นโรคและแมลงเข้าทำลายทิ้ง โดยเหลือกิ่งอยู่ประมาณ 60% ของทรงพุ่ม

การจัดการดินและธาตุอาหารพืช: พิจารณาจากผลการวิเคราะห์ดินโดยใช้ชุดทดสอบดินที่พัฒนาโดยคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุปานกลาง เป็นกรดรุนแรงมาก (pH 3.8) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากแปลงเพาะปลูกอาศัยน้ำฝน จึงใส่สารปรับปรุงดินและใส่ปุ๋ยทางดินในเดือนพฤษภาคม หรือช่วงต้นฤดูฝน ปรับความเป็นกรด-เบสของดินโดยใช้โดโลไมต์อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้น ใช้ปุ๋ยเกรด 13-13-21 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้น ร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบเกรด 6-32-32 ที่มีส่วนผสมของธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหาร ดังนี้ แมกนีเซียมออกไซด์ 0.14%, เหล็ก 0.04%, แมงกานีส 0.04%, ทองแดง 0.04%, สังกะสี 0.04%, โบรอน 0.02% (Y.V.P.®) อัตราปุ๋ยทางใบ 50 กรัมผสมกลูโคส 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร อัตราปุ๋ยมีปริมาณธาตุอาหารหลักในช่วงที่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (Jøker, 2003) มีการป้องกันกำจัดโรคและแมลงโดยใช้ชีวภัณฑ์ไตรโคเดอร์ม่า เมตาไรเซียม และบิวเวอร์เรียตามอัตราแนะนำ การพ่นธาตุอาหารทางใบทำสัปดาห์ละครั้ง เริ่มในระยะก่อนการผลิใบอ่อน 2 สัปดาห์จนถึงระยะช่อดอกบานรวมทั้งหมด 6 ครั้งแล้วหยุดพ่น กลับมาทำอีกรอบช่วงระยะติดเมล็ดไปจนถึงก่อนการเก็บเกี่ยว จำนวน 3 ครั้ง

เก็บข้อมูลการเติบโตของมะม่วงหิมพานต์ ด้วยการสุ่มติดเครื่องหมายรอบทรงพุ่มที่ปลายยอดและที่ช่อดอกจำนวน 10 ตำแหน่งต่อต้น จากนั้นจึงเก็บข้อมูล ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การผลิใบอ่อน ความกว้างของช่อดอก จำนวนผลต่อช่อ น้ำหนักผลและผลผลิต โดยพิจารณา

เฉพาะส่วนที่เป็นผลแท้ (nut) หรือเม็ดมะม่วงหิมพานต์รวมเปลือกแข็ง (nut shell)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ทำโดยการวิเคราะห์หาความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistix 8.0

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การผลิใบอ่อนและขนาดช่อดอก

ผลของการจัดการดินร่วมกับการให้ธาตุอาหารพืช ทำให้การผลิใบอ่อนและความกว้างของช่อดอกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) ภายหลังจากมีการพ่นปุ๋ยทางใบ 2-3 สัปดาห์ การผลิใบอ่อนเกิดขึ้น 98-100% ส่วนต้นในกรรมวิธีที่ไม่มีการให้ธาตุอาหารแม้ว่าจะมีการตัดแต่งกิ่งหรือไม่ก็ตาม พบว่าการผลิใบอ่อนไม่มีความแตกต่างกันทั้งในสัปดาห์ที่สองและสามภายหลังจากที่พ่นปุ๋ย และอยู่ในช่วง 52-55% และ 75-78% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ต้นในกรรมวิธีที่ได้รับธาตุอาหารมีช่อดอกขนาดใหญ่ขึ้น โดยมีความกว้างช่อดอก 25-28 เซนติเมตร ส่วนต้นที่ไม่ได้รับธาตุอาหารมีขนาดช่อดอกที่เล็กกว่าโดยมีความกว้าง 16-17 เซนติเมตร (Table 1)

การติดผลและผลผลิต

การตัดแต่งกิ่งและการได้รับธาตุอาหารพืชส่งผลให้จำนวนผลต่อช่อดอก น้ำหนักผล และน้ำหนักผลผลิตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2) กรรมวิธีที่มีการตัดแต่งกิ่งร่วมกับจัดการธาตุอาหารส่งผลอย่างชัดเจนต่อจำนวนผลต่อช่อดอก กล่าวคือ พบการติดผลโดยเฉลี่ย 12.80 ผลต่อช่อดอก น้ำหนัก 6.50 กรัมต่อผล และให้ผลผลิตรวม 10.93 กิโลกรัมต่อต้น กรรมวิธีดังกล่าวทำให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้นกว่าที่เคยรายงาน คือ 2.50 กิโลกรัมต่อต้น แต่น้ำหนักผลยังคงใกล้เคียงกัน คือ 7.00 กรัมต่อผล (Anupunt and Nopkoonwong, 1992; Chaikiattiyos, 2019) ในขณะที่กรรมวิธีอื่น ๆ มีการติดผลในช่วง 1.19-3.29 ผลต่อช่อดอก น้ำหนัก 3.83-4.87 กรัมต่อผล และให้ผลผลิตรวม 2.32-3.94 กิโลกรัมต่อต้น จะเห็นได้ว่ากรรมวิธีที่มีการตัดแต่งกิ่งแต่ไม่ได้รับธาตุอาหารให้ผลไม่แตกต่างจากการไม่ตัดแต่งกิ่งและไม่ได้รับธาตุอาหารในทุกตัวชี้วัด ส่วนการตัดแต่งกิ่งแต่ไม่ได้รับธาตุอาหารทำให้ทุกตัวชี้วัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

โดยทั่วไปปุ๋ยเกรด 13-13-21 ที่แนะนำสำหรับมะม่วงหิมพานต์คืออัตรา 12.5 กิโลกรัมต่อต้น (Chaikiattiyos, 2019) แต่หากพิจารณาจากปริมาณธาตุอาหารหลักที่แนะนำโดยงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Jøker, 2003) อัตราที่ใช้ในงานวิจัยนี้เพียงพอสำหรับการเพิ่มผลผลิตมะม่วงหิมพานต์ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารชนิดอื่นที่ติดไปกับผลผลิตทุก 1 กิโลกรัม ได้แก่ แคลเซียม 4.19 กรัม กำมะถัน 1.57 กรัม เหล็ก 525.7 มิลลิกรัม แมงกานีส 63.6 มิลลิกรัม สังกะสี 87.8 มิลลิกรัม และทองแดง 26.5 มิลลิกรัม (Beena *et al.*, 1995) พบว่า ธาตุอาหารเหล่านี้ที่ฉีดพ่นให้ทางใบอาจยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของมะม่วงหิมพานต์ในกรณีที่ไม่ได้ลดแหล่งรับ (sink) ด้วยการตัดแต่งกิ่ง ดังนั้นกรรมวิธีที่มีการตัดแต่งกิ่งร่วมกับการให้ธาตุอาหารจึงเป็นกรรมวิธีที่ให้ผลผลิตมากกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างชัดเจน

Table 1. Percentage of leaf flushing at 2 and 3 weeks after foliar application and inflorescence width

Treatment	Percentage of leaf flushing		Inflorescence width (cm)
	2 weeks[1]	3 weeks	
1. No pruning + no fertilizer	52 [b 2]	75 [b]	16 [b]
2. No pruning + fertilizer	98 [a]	100 [a]	25 [a]
3. Pruning + no fertilizer	55 [b]	78 [b]	17 [b]
4. Pruning + fertilizer	98 [a]	100 [a]	28 [a]
F-test	**	*	*

[1] Weeks after foliar application.
[2] Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by LSD test. *, ** = significantly difference at $P = 0.05$ and $P = 0.01$, respectively

Table 2. Numbers of nuts in each cluster, weight, and yield of cashew nut

Treatment	Number of nuts cluster^{-1}	Weight of nut (g nut^{-1})	Yield (kg tree^{-1})
1. No pruning + no fertilizer	1.19 $^{c\,1}$	3.83 ^{c}	2.32 ^{c}
2. No pruning + fertilizer	3.29 ^{b}	4.87 ^{b}	3.94 ^{b}
3. Pruning + no fertilizer	1.41 ^{c}	4.29 ^{bc}	2.98 ^{c}
4. Pruning + fertilizer	12.80 ^{a}	6.50 ^{a}	10.93 ^{a}
F-test	*	*	**

[1] Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by LSD test. *, ** = significantly difference at P = 0.05 and P = 0.01, respectively

อิทธิพลของการตัดแต่งกิ่งและการจัดการธาตุอาหารที่มีต่อพัฒนาการของมะม่วงหิมพานต์

การจัดการธาตุอาหารเพียงอย่างเดียวและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการตัดแต่งกิ่งและการจัดการธาตุอาหารส่งผลต่อการเติบโตในทุกระยะตั้งแต่การผลิใบอ่อน ขนาดช่อดอก การติดผล น้ำหนักเมล็ด ไปจนถึงปริมาณผลผลิต ในขณะที่ปัจจัยการตัดแต่งกิ่งเริ่มส่งผลต่อพืชในระยะเริ่มให้ผลผลิต (Table 3) แสดงให้เห็นว่า ในระยะที่พืชใช้พลังงานมากขึ้นในการสร้างผลผลิต การตัดแต่งกิ่งมีอิทธิพลอย่างมากในการช่วยลดปริมาณแหล่งรับเพื่อให้สารอาหารถูกจัดสรรไปยังผลของมะม่วงหิมพานต์ สอดคล้องกับผลของการตัดแต่งกิ่งแบบเปิดกลางทรงพุ่มที่ทำให้ชมพู่ติดดอกมากขึ้น (Wanichkul and Kanchanakesorn, 2008) สำหรับผลผลิตขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่สะสมอยู่ภายในต้น การร่วงของดอกและผลลดลงกรณีที่มีธาตุอาหารเพียงพอต่อการสร้างผลผลิต เช่น การตอบสนองของลางสาดที่พบว่า การตัดแต่งกิ่งโดยไม่ได้รับธาตุอาหาร และปลิดช่อดอกที่มีมากเกินไปออกแม้จะมีการผลิใบอ่อนที่สมบูรณ์แต่ผลลางสาดมีการหลุดร่วงจากช่อเป็นจำนวนมากก่อนถึงระยะเก็บเกี่ยว (Sangmanee *et al.*, 2018) ดังนั้นทั้งสองปัจจัยจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเติบโตและเพิ่มผลผลิตมะม่วงหิมพานต์

ช่วงพัฒนาการของมะม่วงหิมพานต์ภายหลังได้รับการตัดแต่งกิ่งและการจัดการธาตุอาหาร

ช่วงพัฒนาการของมะม่วงหิมพานต์เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจนในกรณีที่ได้รับธาตุอาหาร (Table 4) โดยการผลิใบอ่อนครั้งแรกเกิดขึ้นพร้อมกับการเกิดช่อดอกในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม จากนั้นจึงมีการติดผลและพัฒนาผลแท้ในเดือนกุมภาพันธ์ และมีระยะพัฒนาแท้นานที่สุดรวม 4 เดือน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม ส่วนกรรมวิธีอื่นมีการตอบสนองที่แตกต่างกัน เช่น หากไม่ได้ธาตุอาหารพบว่า เกิดการผลิใบอ่อนก่อนแล้วจึงเกิดช่อดอก มีช่วงของการพัฒนาผลแท้ในช่วง 1-3 เดือนเท่านั้น และมีการผลิใบอ่อนครั้งที่สองเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงเดือนสิงหาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน

Table 3. Probability of pruning and fertilizer factors on cashew nut at different growth stages

Source of variance	Leaf flushing (%)	Inflorescence width (cm)	Number of nuts cluster^{-1}	Weight of nut (g)	Yield (kg tree^{-1})
Pruning (P)	ns	ns	**	**	**
Fertilizer (F)	**	**	**	**	**
P x F	*	*	**	*	**
CV (%)	20.29	27.27	28.49	18.99	19.25

Probability derived from ANOVA (F-test), ns = non-significantly different, *,** = significantly difference at P = 0.05 and P = 0.01, respectively

Table 4. Changing of cashew nut growth stage influenced from different treatments

Treatment	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
1. No pruning + no fertilizer	1st Leaf flushing		Flowering	Developing nuts - harvest	Mature leaf				2nd Leaf flushing	Mature leaf		
2. No pruning + fertilizer	1st Leaf flushing and flowering		Developing nuts	Developing nuts - harvest		Mature leaf			2nd Leaf flushing	Mature leaf		
3. Pruning + no fertilizer	1st Leaf flushing		Flowering	Developing nuts - harvest		Mature leaf			2nd Leaf flushing	Mature leaf		
4. Pruning + fertilizer	1st Leaf flushing and flowering		Developing nuts	Developing nuts - harvest			Mature leaf		2nd Leaf flushing	Mature leaf		

สรุป

วิธีการจัดการที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตสำหรับส่งเสริมการปลูกมะม่วงหิมพานต์ให้แก่เกษตรกรในพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์ ที่เพาะปลูกแบบอาศัยน้ำฝน สภาพดินมีความเป็นกรดรุนแรงมาก มีปัญหาช่อดอกแห้งและผลผลิตตกต่ำ คือ การตัดแต่งกิ่งแบบเปิดกลางทรงพุ่ม การปรับปรุงดินและให้ธาตุอาหารพืชโดยพิจารณาอัตราวัสดุปูน ปุ๋ยทางดินและปุ๋ยทางใบจากการวิเคราะห์ดินร่วมกับปริมาณธาตุอาหารที่มะม่วงหิมพานต์ต้องการ การตัดแต่งกิ่งควรทำหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนธันวาคม การปรับสภาพกรด-เบสของดินด้วยวัสดุปูนและการใส่ปุ๋ยทางดินทำในช่วงต้นฤดูฝนคือเดือนพฤษภาคม พ่นปุ๋ยทางใบที่มีธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหารผสมน้ำตาลกลูโคสฉีดพ่นเพื่อกระตุ้นการผลิใบอ่อนและสร้างช่อดอกสัปดาห์ละครั้งในช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม วิธีการนี้ทำให้มะม่วงหิมพานต์มีระยะพัฒนาผลไปจนถึงการเก็บเกี่ยวยาวนานขึ้นเป็น 4 เดือนและมีอาหารเพียงพอสำหรับการติดผลและบำรุงเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้โครงการการพัฒนาแอพพลิเคชั่นเพื่อการจัดการตนเองสำหรับการจัดการธาตุอาหารพืชสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์และพืชอัตลักษณ์จังหวัดอุตรดิตถ์ ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ประจำปีงบประมาณ 2562 และขอขอบคุณนายธนดล แสวงลาภ เจ้าของสวนมะม่วงหิมพานต์และนักศึกษาผู้ช่วยวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Anupunt, P. and U. Nopkoonwong. 1992. Yield trial of commercial varieties and selected clones of cashew. Acta Horticulturae 321, doi: 10.17660/ActaHortic.1992.321.22.

Beena, B., M.A. Salam and P.A. Wahid. 1995. Root activity of cashew (*Anacardium occidentale* L.) varieties in relation to phonological phases. Journal of Plantation Crops 23(1): 35-39.

Bustan, A., E.E. Goldschmidt and Y. Erner. 1996. Carbohydrate supply and demand during fruit development in relation to productivity of grapefruit and 'Murcott' mandarin. Acta Horticulturae 416, doi: 10.17660/ActaHortic. 1996.416.9.

Chaikiattiyos, S. 2019. Integrated production practices of cashew in Thailand. (Online). Available:

http://www.fao.org/3/ac451e/ac451e09.htm. (October 17, 2019).

Hiranpradit H., S. Chandraparnik and S. Salakpetch. 2003. Production Technology of Durian. Kasetsart University Press, Bangkok. 206 p. (in Thai)

Jirapaet, J. 2013. Phenological development and changes of carbohydrate, nitrogen and phosphorus in leaves of mangosteen and longkong at Narathiwat province. Princes of Naradhiwas University Journal 5(1): 69-78. (in Thai)

Jøker D. 2003. Information about cashew nut (*Anacardium occidentale*). (Online). Available: http://www.hubrural.org/IMG/pdf/anacarde_danida.pdf. (March 19, 2020).

Maneepong, S. 2013. Nutrient management for quality pumelo production. School of Agricultural Technology. Walailak University, Nakhon Si Thammarat. 131 p. (in Thai)

Nayak, M.G. 2011. Pruning and canopy architecturing in cashew. Codeword and process and printers, Mangalore. 24 p.

Sakdiset, N. and S. Sanputawong. 2016. The canopy height control and arrangement main branch for quantity and quality of mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.). Songklanakarin Journal of Plant Science. 3 (Suppl. 1): MO4/76-80. (in Thai)

Sangmanee, P., C. Mingchai and S. Palas. 2018. Management system for commercial organic langsat production. Final report. The Thailand Research Fund, Bangkok. 38 p. (in Thai)

Sangmanee, P. 2019. Development of software application delivery through smart phones: A plant nutrition management tool for geographical indication and identity plants of Uttaradit. Final report. Uttaradit Rajabhat University Research Fund, Uttaradit. 60 p. (in Thai)

Santasup, C. 2009. Nutrient management. pp. 227-246. *In:* T. Radanachaless, W. Kumpoun and T. Jaroenkit (eds). Mango: Production and Post-harvest Technology. Post-harvest Technology Innovation Center, Office of Higher Education Commission, Chiang Mai. (in Thai)

Senanan, C., P. Manochai, W. Suton, S. Ussahatanonta and J. Srijun. 2011. Effect of 4 pruning patterns on leaf flushing, flowering, yield, cost and profit of longan trees cv. Daw. Journal of Agricultural Research and Extension 28(1): 1-9. (in Thai)

Tanongjid, K., P. Karintanyakit, K. Suvittawat, R. Komkhuntod and P. Phengchang. 2016. Effect training on leaf flushing of avocado cv. Peterson. Songklanakarin Journal of Plant Science 3 (Suppl.1): MO4/22-26. (in Thai)

Uttaradit Provincial Agriculture and Cooperatives Office. 2019. Agricultural data of Uttaradit province. (Online). Available: https://www.opsmoac.go.th/uttaradit-dwl-files-421091791011. (March 19, 2020). (in Thai)

Wanichkul, K. 2003. Training and pruning fruit trees. Kasetsart University Press, Bangkok. 213 p. (in Thai)

Wanichkul, K. and P. Kanchanakesorn. 2008. Flowering and fruit set of Java apple (*Syzygium samarangense* (Blume) Merr. & Perry) cv. 'Thabthimchan' as affected by 4 training systems in high density planting. KMUTT Research and Development Journal 31(3): 539-547. (in Thai)

Wünsche, J.N. and A.N. Lakso. 2000. Apple tree physiology-implications for orchard and tree management. pp. 82-88. *In:* Proceeding of 43rd annual IDFTA conference, Napier.

การจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเบบี้คอสในโรงเรือนบนพื้นที่สูง จังหวัดเชียงใหม่

Appropriate Fertilizer Management for Baby Cos Production Under Greenhouse Condition on Highland in Chiang Mai Province

รัตนาภรณ์ ใจมา ฟ้าไพลิน ไชยวรรณ และ ชูชาติ สันธทรัพย์*

Rattanaphon Chaima, Fapailin Chaiwan and Choochad Santasup*

ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

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

(Received: 18 February 2020; Accepted: 27 May 2020)

Abstract: Study on the effect of fertilizer management for baby cos production was carried out at farmers' greenhouses on highland in Chiang Mai province from April 2019 to May 2019. The experimental design was a randomized complete block design (RCBD) with 3 replications and 4 treatments. The fertigation treatments were as follows: treatment 1 (CFR), applied N:P_2O_5:K_2O at the rate of 39.2:14.7:36.6 kg/rai; treatment 2 (FCR), applied N:P_2O_5:K_2O at the rate of 5.9:4.4:11.4 kg/rai and treatment 3 (SSFM), applied nitrogen fertilizer only at the rate of 5.9 kg/rai. The non-fertilizer application was used as a control treatment. The study indicated that the application of nitrogen fertilizer only at 5.9 kg/rai (treatment 3, SSFM) tended to increase the growth of baby cos. The total fresh yield (6.39 ton/rai) and marketable yield (2.65 ton/rai) obtained from treatment 3 (SSFM) which were higher than the other treatments, especially when compared with treatment 1 (CFR), which was applied at the common fertilization rate. The total fresh yield and marketable yield obtained from that treatment was only 5.02 and 2.08 ton/rai, respectively. Besides, the fertilizer application rate of treatment 3 (SSFM) was the highest fertilizer efficiency use. The results from this study suggested that for baby cos production in soil containing a high amount of organic matter, available phosphorus and exchangeable potassium, nitrogen fertilizer application by fertigation system at the rate of 5.9 kg/rai was sufficient and suitable for producing good quality baby cos under greenhouse condition on highland.

Keywords: Fertigation, nutrient, baby cos, yield

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของการจัดการปุ๋ยอย่างเหมาะสมในการผลิตเบบี้คอส ได้ดำเนินการในโรงเรือนปลูกผักของเกษตรกรบนพื้นที่สูง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือน เมษายน 2562-พฤษภาคม 2562 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ และ 4 กรรมวิธีทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วยการให้ปุ๋ยในระบบน้ำในอัตราที่แตกต่างกัน 3 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 (CFR) ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ในอัตรา 39.2, 14.7 และ 32.7 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ กรรมวิธีที่ 2 (FCR) ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในอัตรา 5.9, 4.4 และ 11.4 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ กรรมวิธีที่ 3 (SSFM) ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงชนิดเดียว ในอัตรา 5.9 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 4 เป็นกรรมวิธีควบคุม (control) ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี ผลการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSFM) มีแนวโน้มทำให้เบบี้คอสมีการเจริญเติบโตดี ให้ผลผลิตทั้งหมด 6.39 ตันต่อไร่ และเป็นผลผลิตที่จำหน่ายได้ 2.65 ตันต่อไร่ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยในอัตราที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ ซึ่งได้ผลผลิตทั้งหมดเพียง 5.02 ตันต่อไร่ และเป็นผลผลิตที่จำหน่ายได้ 2.08 ตันต่อไร่ และนอกจากนี้ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSFM) เป็นการใส่ปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพการดูดใช้ปุ๋ยมากที่สุด ข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการปลูกเบบี้คอสในดินมีปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับสูง การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำ อัตรา 5.9 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นอัตราที่เพียงพอและเหมาะสมสำหรับการผลิตเบบี้คอสคุณภาพในโรงเรือนบนพื้นที่สูง

คำสำคัญ: การให้ปุ๋ยในระบบน้ำ ธาตุอาหาร เบบี้คอส ผลผลิต

คำนำ

เบบี้คอส (baby cos) (*Lactuca sativa* L.) อยู่ในวงศ์ Asteraceae เป็นพืชผักมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะไฟเบอร์ มีสารอาหารพวกวิตามิน เช่น วิตามินเอ วิตามินซี มีธาตุอาหารพวกแคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ (Pinto *et al*., 2014) เบบี้คอสจึงเป็นผักที่นิยมนำมาบริโภคทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ทางมูลนิธิโครงการหลวงจึงได้มีการส่งเสริมเกษตรกรบนพื้นที่สูงให้ผลิตเบบี้คอสในระบบโรงเรือนและให้ปุ๋ยในระบบน้ำหยด ในปี พ.ศ. 2557 มูลนิธิโครงการหลวงสามารถผลิตเบบี้คอสได้ปริมาณ 229.29 ตัน คิดเป็นมูลค่า 8,396,761.85 บาท (Santasup *et al*., 2016) อย่างไรก็ตามการผลิตเบบี้คอสในปัจจุบันยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค จึงทำให้มีการส่งเสริมการผลิตอย่างมากบนพื้นที่สูง ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เพื่อให้ได้ปริมาณ และคุณภาพที่เพิ่มขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้การจัดการธาตุอาหารในแปลงปลูกเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ช่วยเพิ่มปริมาณ และคุณภาพของผลผลิตเบบี้คอส

ในปัจจุบันในระบบการผลิตเบบี้คอส การใช้ปุ๋ยเคมีเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณและคุณภาพตามความต้องการ (Fallovo *et al*., 2009) จากการศึกษาของ Khoshgoftarmanesh *et al.* (2011) และ Solaiman *et al.* (2019) พบว่า การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณสูงจะช่วยเพิ่มผลผลิตของผักกาด แต่หากได้รับปริมาณไนโตรเจนที่ไม่เพียงพอ ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตลดลงอย่างมาก และยังพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักกาดหอมพันธุ์คอส (Fei *et al*., 2011; Siringam, 2014) Chaima and Santasup (2019) ศึกษาความต้องการธาตุอาหารของเบบี้คอสที่ปลูกในโรงเรือนบนพื้นที่สูงที่มีการให้ปุ๋ยไปพร้อมกับน้ำ พบว่า เบบี้คอสต้องการไนโตรเจน 3.02-8.89 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส 0.53-1.78 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียม 5.42-18.31 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตามเกษตรกรใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ในอัตรา 39.2-51.20, 14.76-19.20 และ 32.71-42.67 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าเกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยในปริมาณสูงเกินความต้องการของเบบี้คอส การใส่ปุ๋ยของเกษตรกรโดยทั่วไปเป็นการใส่ปุ๋ยตามที่เคยปฏิบัติสืบต่อกันมา โดยไม่ได้คำนึงถึง

ความต้องการธาตุอาหารของพืช และปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน ซึ่งการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณที่มากและต่อเนื่อง ทำให้เกิดการสะสมของธาตุอาหารส่วนเกิน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความสมดุลธาตุอาหารในดิน และธาตุอาหารบางส่วนอาจถูกชะล้างทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำ (Sanz-Cobena *et al*., 2012) เช่นเดียวกับ Visitpanich *et al*. (2006) ก็พบปัญหาการสะสมของธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินที่ใช้ในการผลิตพืชในโรงเรือนเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มสูงขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าของดิน ที่เป็นดัชนีชี้วัดค่าความเค็มของดิน ซึ่งหากปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในสารละลายดินมีมากเกินไปจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลิตผลของพืช และจากการศึกษาของ Bureerat (2002) พบว่าพื้นที่ปลูกกะหล่ำปลีบนพื้นที่สูงมีการใส่ปุ๋ยเคมีโดยขาดหลักการจัดการธาตุอาหารเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้ดินมี pH ลดลงต่ำกว่า 5 และทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุลดลง อีกทั้งยังมีการสะสมของปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในระดับสูง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในดินที่มีระดับ pH 6.0-6.8 ปริมาณอินทรียวัตถุ 2.0-3.0% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 35-60 มิลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในช่วง 100-120 มิลิกรัมต่อกิโลกรัม นั้นเหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช (Chalernthai and Santasup, 2017, Shutsrirung, 2008) ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเบบี้คอส จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตและคุณภาพของเบบี้คอสในโรงเรือนบนพื้นที่สูง และเป็นแนวทางในการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งลดผลกระทบจากการปนเปื้อนจากการใช้ปุ๋ยในแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการศึกษา: การศึกษาทดลองในครั้งนี้ได้ดำเนินการในพื้นที่สูง บ้านแม่โถ อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือน เมษายน 2560 ถึง พฤษภาคม 2560 โดยปลูกเบบี้คอสในโรงเรือนตาข่าย ขนาด 180 ตารางเมตร (6x30 เมตร) ซึ่งแบ่งแปลงทดลองออกเป็น 4 แปลง (4 บล็อก) โดยแต่แปลงประกอบด้วยแปลงย่อยขนาด 1.2 x 7.0 เมตร จำนวน 4 แปลง (4 กรรมวิธีทดลอง) มีระยะปลูกเบบี้คอส 20 x 20 เซนติเมตร ในแต่ละแปลงทดลองย่อย มีเบบี้คอส จำนวน 210 ต้น ก่อนปลูกทำการเก็บตัวอย่างดินในแปลงทดลอง ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติของดิน (Siwasin, 1984) เพื่อประเมินปริมาณธาตุอาหารในดิน ซึ่งดินอยู่ในกลุ่มชุดดินพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (SC:slope complex) (Land Development Department, 2015) โดยดินที่ใช้ปลูกเป็นดินเหนียว (36% sand, 15% silt, 49% clay) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.75 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน 8.25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 771 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 1,277 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

การศึกษาในครั้งนี้วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) จำนวน 4 บล็อก โดยวางบล็อกขวางความลาดชันของพื้นที่ แต่ละบล็อกประกอบด้วยการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกัน 4 กรรมวิธี ได้แก่ 1) ใส่ปุ๋ยในอัตราที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติในการปลูกเบบี้คอสในโรงเรือนบนพื้นที่สูง (common fertilization rate for baby cos, CFR) โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ($N:P_2O_5:K_2O$) ในอัตรา 39.2:14.7:32.7 กิโลกรัมต่อไร่ (Santasup *et al*., 2016) 2) ใส่ปุ๋ยในอัตราที่ประเมินจากปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตเบบี้คอส (fertilizer rate based on crop removal data, FCR) (Chaima and Santasup, 2019) โดยใส่ปุ๋ย $N:P_2O_5:K_2O$ ในอัตรา 5.9:4.4:11.4 กิโลกรัมต่อไร่ 3) ใส่ปุ๋ยในอัตราการใส่ปุ๋ยประเมินจากปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตเบบี้คอสและปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน หรือเรียกว่าการใส่ปุ๋ยแบบเจาะจงเฉพาะพื้นที่ (site specific fertilizer management, SSFM) ซึ่งใส่เฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวในอัตรา 5.9 กิโลกรัมต่อไร่ และ 4) กรรมวิธีควบคุม (control) ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี และธาตุอื่น ๆ นอกจากน้ำ ซึ่งการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1-3 เป็นการใส่ปุ๋ยไปพร้อมกับระบบน้ำหยด (fertigation) โดยเตรียมปุ๋ยในรูปสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น A และ B ซึ่งการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 องค์ประกอบและความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ย A และ B เตรียมตามกรรมวิธีของเกษตรกร (Santasup *et al*.,

2016) ส่วนกรรมวิธีที่ 2 สารละลายปุ๋ย A เป็นสารละลายแคลเซียมไนเตรท (15-0-0) ความเข้มข้น 2.66 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายปุ๋ย B เป็นสารละลายปุ๋ยผสมของโพแทสเซียมฟอสเฟต (0-52-34) และ โพแทสเซียมไนเตรต (13-0-46) ความเข้มข้น 0.98 และ 2.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ 3 สารละลายปุ๋ย A เป็นสารละลายแคลเซียมไนเตรท (15-0-0) ความเข้มข้น 4.49 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปุ๋ย B เป็นน้ำเปล่า สำหรับการจ่ายสารละลายปุ๋ยเข้าสู่ระบบน้ำหยด จะผสมสารละลายปุ๋ย A และ B ในอัตรา 1:1 (โดยปริมาตร) ในถังน้ำ แล้วจ่ายสารละลายปุ๋ยด้วยอุปกรณ์ดูดสารละลายธาตุอาหารแบบเวนจูรี (venturi) การให้ปุ๋ยเริ่มให้ในวันที่ 5 หลังย้ายปลูก และให้ปุ๋ยแก่เบบี้คอสทุกวัน (อัตรา 2-6 ลิตรต่อรอบการให้น้ำต่อโรงเรือน) จนถึงระยะก่อนการเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์ จึงหยุดให้ปุ๋ย (ใช้สารละลายปุ๋ย A และ B ชนิดละ 98 ลิตรต่อโรงเรือน)

การเก็บบันทึกข้อมูล: สุ่มเก็บตัวอย่างเบบี้คอสในแต่ละกรรมวิธีทดลอง จากแต่ละแปลงทดลองย่อยในพื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตร ที่ระยะ 18 วันหลังย้ายปลูก (day after transplanting, DAT) และขนาดพื้นที่ 4 ตารางเมตร ที่ระยะ 31 DAT ทำการบันทึกน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง (อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส) ในส่วนของลำต้นส่วนเหนือดินและราก เพื่อนำมาประเมินการสะสมน้ำหนักแห้งของเบบี้คอส และที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (31 วันหลังย้ายปลูก) บันทึกปริมาณผลผลิตทั้งหมด และผลผลิตที่สามารถนำไปจำหน่ายได้ (ผลผลิตที่ถูกนำไปตัดแต่งก่อนส่งจำหน่าย) และนำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total-N) (Novozamsky *et al*., 1974), ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total-P) (Suwanwong, 2001) และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total-K) (Kalra, 1998) เพื่อนำมาประเมิน 1) การดูดใช้ธาตุอาหารของเบบี้คอส โดยประเมินจากผลคูณระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารและน้ำหนักแห้งของพืช (Santasup *et al*., 2016) และ 2) ประเมินประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย โดยประเมินจากผลต่างระหว่างธาตุอาหารที่ถูกดูดมาสะสมในเบบี้คอสจากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยกับธาตุอาหารทั้งหมดที่ถูกดูดมาสะสมในเบบี้คอสจากกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (Osotsapar *et al*., 2008)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ: วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี ANOVA (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีทดลองโดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษา

การเจริญเติบโต: ผลการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันทั้ง 4 กรรมวิธี ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเบบี้คอสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) ที่ระยะ 18 วันหลังย้ายปลูก การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSFM)

Table 1. Effects of fertilizer management on dry weight of baby cos

Treatment	Dry weight (g/plant)					
	0 DAT		18 DAT		31 DAT	
	Root	Stem	Root	Stem	Root	Stem
1. CFR-(39.2:14.7:32.7)	0.02	0.19	0.15 [b]	1.25 [b]	0.63 [b]	5.95
2. FCR-(5.9:4.4:11.4)	0.03	0.17	0.14 [b]	1.17 [b]	0.68 [ab]	5.60
3. SSFM-(5.9:0:0)	0.02	0.13	0.24 [a]	1.80 [a]	0.80 [a]	6.54
4. Control	0.02	0.14	0.13 [b]	1.13 [b]	0.67 [ab]	5.71
F-test$_{(0.05)}$	-	-	*	*	*	ns
CV (%)	18.51	12.70	18.51	12.70	15.12	15.98

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

ทำให้เบบี้คอสมีการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (1.80 กรัมต่อต้น) และราก (0.24 กรัมต่อต้น) สูงที่สุดและสูงกว่าการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 (CFR), 2 (FCR) และ 4 (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเบบี้คอสที่ปลูกโดยใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 (CFR), 2 (FCR) และ 4 (control) มีการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเท่ากับ 1.25, 1.17 และ 1.13 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และมีการสะสมน้ำหนักแห้งของรากเท่ากับ 0.15, 0.14 และ 0.13 กรัมต่อต้น ตามลำดับ อย่างไรก็ตามที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (31 วันหลังการย้ายปลูก) พบว่า การใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่ทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งส่วนลำต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนลำต้นอยู่ในช่วง 5.71-6.54 กรัมต่อต้น แต่การใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลกระทบต่อการสะสมน้ำหนักแห้งของราก ซึ่งพบว่าการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSFM) มีการสะสมน้ำหนักแห้งของรากสูงที่สุดที่ 0.80 กรัมต่อต้น ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 1 (CFR) ที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งของรากต่ำที่สุดเพียง 0.63 กรัมต่อต้น แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 2 (FCR) และ 4 (control) ซึ่งมีการสะสมน้ำหนักแห้งของรากเท่ากับ 0.68 และ 0.67 กรัมต่อต้น ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่า การสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินที่ระยะเก็บเกี่ยวถึงแม้จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSFM) มีแนวโน้มทำให้เบบี้คอสเจริญเติบโตได้ดีมีการสะสมน้ำหนักแห้งสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ข้อมูลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราสูงตามกรรมที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ (CFR) ไม่ส่งผลให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้น แต่กลับส่งผลให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินลดลง

ผลผลิต: ผลการศึกษาพบว่าการใส่ปุ๋ยแตกต่างกันทั้ง 4 กรรมวิธี ส่งผลต่อน้ำหนักสดผลผลิตของเบบี้คอสทั้งก่อนและหลังการตัดแต่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2) โดยการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSFM) ทำให้เบบี้คอสมีน้ำหนักผลผลิตก่อนตัดแต่ง (6.39 ตันต่อไร่) สูงที่สุดและสูงกว่าการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 (CFR), 2 (FCR) และ 4 (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเบบี้คอสที่ปลูกโดยใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 (CFR), 2 (FCR) และ 4 (control) มีน้ำหนักผลผลิตก่อนตัดแต่งเท่ากับ 5.02, 5.52 และ 4.63 ตันต่อไร่ ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักสดผลผลิตหลังการตัดแต่งก็พบเช่นเดียวกับน้ำหนักสดผลผลิตก่อนการตัดแต่ง การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSFM) มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 2.65 ตันต่อไร่ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 1 (CFR), 2 (FCR) และ 4 (control) ที่มีน้ำหนักสดหลังตัดแต่งเฉลี่ย 2.08, 2.29 และ 1.92 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ข้อมูลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราที่สูง ไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณผลผลิต

ความเข้มข้นของธาตุอาหาร: ผลการศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารในเบบี้คอส (ส่วนเหนือดิน) ที่ระยะเก็บเกี่ยว (Table 3) พบว่า การใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันทั้ง 4 กรรมวิธี ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเบบี้คอสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 (CFR) ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเบบี้คอสสูงที่สุด (5.31 เปอร์เซ็นต์) และสูงกว่าการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 (FCR), 3 (SSFM) และ 4 (control) ซึ่งพบความเข้มข้นของไนโตรเจนเท่ากับ 4.60, 4.49 และ 4.55 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมี

Table 2. Effects of fertilizer management on yield of baby cos

Treatment	Fresh weight (ton/rai)	
	Total yield	Marketable yield
1. CFR-(39.2:14.7:32.7)	5.02 [bc]	2.08 [bc]
2. FCR-(5.9:4.4:11.4)	5.52 [b]	2.29 [b]
3. SSFM-(5.9:0:0)	6.39 [a]	2.65 [a]
4. Control	4.63 [c]	1.92 [c]
F-test$_{(0.05)}$	*	*
CV (%)	6.42	12.33

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level, DAT = day after transplanting

นัยสำคัญทางสถิติระหว่างการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 (FCR), 3 (SSFM) และ 4 (control) สำหรับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในเบบี้คอสทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.86-0.91 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 8.30-8.57 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืช แต่การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม

การดูดใช้ธาตุอาหาร: ถึงแม้ว่าการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันทั้ง 4 กรรมวิธี ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเบบี้คอสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนจากดินมาสะสมในลำต้นส่วนเหนือดินของเบบี้คอส (Table 3) พบว่า เบบี้คอสมีการดูดใช้ไนโตรเจน ในช่วง 9.27-11.21 กิโลกรัมต่อไร่ เช่นเดียวกับฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม เบบี้คอสมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในช่วง 1.74-2.13 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่ดูดใช้โพแทสเซียมในช่วง 16.83-20.16 กิโลกรัมต่อไร่ ข้อมูลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยในปริมาณที่ต่างกัน ไม่ส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช

ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย: เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยในการผลิตเบบี้คอส (Table 4) พบว่า การใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 3 (SSFM) มีแนวโน้มที่สูงกว่ากรรมวิธีที่ 1 (CFR) และ 2 (FCR) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.53 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกรรมวิธีที่ 1 (CFR) มีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ 4.95, 0.48 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธี 2 (FCR) มีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ 1.53, 1.14 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยในปริมาณที่สูงขึ้นไม่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการใช้ปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น

Table 3. Effects of fertilizer management on concentration and total nutrient uptake of baby cos

Treatment	Concentration (%)			Total nutrient uptake (kg/rai)		
	N	P	K	N	P	K
1. CFR-(39.2:14.7:32.7)	5.31 [a]	0.86	8.30	11.21	1.81	17.49
2. FCR-(5.9:4.4:11.4)	4.60 [b]	0.90	8.42	9.36	1.79	16.83
3. SSFM-(5.9:0:0)	4.49 [b]	0.91	8.57	10.54	2.13	20.16
4. Control	4.55 [b]	0.86	8.53	9.27	1.74	17.44
F-test$_{(0.05)}$	*	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	8.06	3.73	3.46	20.10	14.01	15.36

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

Table 4. Fertilizer used efficiency for baby cos production

Treatment	Fertilizer used efficiency (%)		
	N	P	K
1. CFR-(39.2:14.7:32.7)	4.95	0.48	0.15
2. FCR-(5.9:4.4:11.4)	1.53	1.14	0.00
3. SSFM-(5.9:0:0)	21.53	-	-

วิจารณ์

จากการศึกษาการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันทั้ง 4 กรรมวิธี พบว่า อัตราการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตของเบบี้คอสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะ 18 วันหลังย้ายปลูก การใส่ปุ๋ยในอัตราที่ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารของเบบี้คอสและความอุดมสมบูรณ์ดิน (กรรมวิธีที่ 3 (SSFM)) โดยใส่เฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 5.9 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้เบบี้คอสสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและรากสูงกว่าทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกันที่ระยะเก็บเกี่ยว (31 วันหลังย้ายปลูก) การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSFM) ยังคงทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งของรากสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่าการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม แต่การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSFM) มีแนวโน้มทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ข้อมูลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวในอัตรา 5.9 กิโลกรัมต่อไร่ เพียงพอต่อความต้องการธาตุอาหารของเบบี้คอส เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยของเกษตรกร (กรรมวิธีที่ 1 (CFR)) ที่ใส่ไนโตรเจนในอัตราที่สูงกว่าถึง 6 เท่า (39.2 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วหากดินมีไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้นพืชจะตอบสนองต่อการให้ธาตุอาหารได้มากกว่าอัตราต่ำ ซึ่ง Hasan *et al*. (2017) ได้ศึกษาอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (0, 8, 16 และ 24 กิโลกรัมต่อไร่) พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 24 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ผักสลัด (*L. sativa*) มีการสะสมน้ำหนักแห้งมากที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยในอัตราอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม หากพืชได้รับธาตุอาหารในระดับที่เพียงพอแล้ว พืชจะไม่ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยในอัตราที่สูงขึ้น Boroujerdnia and Ansari (2007) ศึกษาการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน 4 กรรมวิธี (0, 9.6, 19.2 และ 28.8 กิโลกรัมต่อไร่) พบว่า การเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลให้ผักสลัด (*L. sativa*) มีการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นแต่กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยในอัตรา 19.2 กิโลกรัมต่อไร่ มีการสะสมน้ำหนักแห้งมากที่สุด และนอกจากนี้ข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้ยังชี้ให้เห็นว่าเบบี้คอสไม่ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ทั้งนี้เนื่องจากดินที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 771 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (คิดเป็นปริมาณฟอสฟอรัส 241 กิโลกรัมต่อไร่) และมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 1,277 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (คิดเป็นปริมาณโพแทสเซียม 398 กิโลกรัมต่อไร่) อยู่ในระดับที่สูงมาก สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารทั้งสองในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของเบบี้คอส พืชจึงไม่ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยทั้งสอง

สำหรับปริมาณผลผลิตของเบบี้คอสทั้งก่อนตัดแต่งและหลังตัดแต่ง ก็เป็นไปในลักษณะเดียวกับการสะสมน้ำหนักแห้ง การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSFM) (ไนโตรเจนอัตรา 5.9 กิโลกรัมต่อไร่) ทำให้น้ำหนักสดก่อนตัดแต่งและหลังตัดแต่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ 1(CRF) ซึ่งเกษตรกรใส่ปุ๋ยในอัตราที่สูงกว่า ทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (39.2:14.7:32.7 กิโลกรัมต่อไร่) ข้อมูลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมไม่จำเป็นสำหรับการปลูกเบบี้คอสในดินที่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับสูง ซึ่งยืนยันได้จากค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมหรือการดูดใช้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมของเบบี้คอส ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยและกรรมวิธีที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ย และนอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (กรรมวิธีที่ 1 และ 2) ในดินที่มีการสะสมฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในระดับที่สูง ยังส่งผลให้ปริมาณผลผลิตลดลงได้ เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสระดับสูงในดินขัดขวางการดูดใช้สังกะสี (Sayed, 2011) และทำให้สังกะสีตกตะกอนในรูปสังกะสีฟอสเฟตซึ่งมีการละลายยาก (Pendias, 2011) ให้พืชขาดสังกะสีได้ ซึ่ง Inthasan and Dechjiraratthanasiri (2018) ศึกษาการใส่ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-20-0) ที่แตกต่างกัน 2 กรรมวิธี พบว่า กรรมวิธีที่มีการใส่ซุปเปอร์ฟอสเฟตในอัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลต่อความเข้มข้นของสังกะสี

ในเมล็ดถั่วเขียวและมีปริมาณผลผลิตน้อยกว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ซุปเปอร์ฟอสเฟตในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ เช่นเดียวกับฟอสฟอรัส การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมลงไปในดินที่ดินมีโพแทสเซียมในปริมาณที่สูง ก็ไปยับยั้งการดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมของพืช เนื่องจากธาตุทั้งสองเป็นปฏิปักษ์ต่อกัน ซึ่งอาจทำให้พืชเกิดอาการขาดแมกนีเซียมขึ้นมาได้ (Metson, 1974) ซึ่ง Sittigul *et al.* (2005) พบอาการขาดแมกนีเซียมในคะน้าเห็ดหอมที่ปลูกในดินที่มีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (910-990 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่สำหรับธาตุไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช และนอกจากนั้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูง โดยทั่วไปแล้วในดินมีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่ำ ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้กับพืช พืชจะตอบสนองต่อปุ๋ยอย่างชัดเจน ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรรมวิธีที่ 1 (CRF) ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูง (39.2 กิโลกรัมต่อไร่) ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเบบี้คอสสูงกว่า กรรมวิธีที่ 2 (FCR) และ 3 (SSFM) มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่ต่ำกว่า (5.9 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่ง Liu *et al.* (20014) ก็พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในผักกาดเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน ในขณะที่ Sylvestre *et al.* (2019) พบว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 4.8 กิโลกรัมต่อไร่ ได้ผลผลิตดีกว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 9.6-28.8 กิโลกรัมต่อไร่ และการศึกษาของ Tempesta *et al.* (2019) พบว่า กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 12 กิโลกรัมต่อไร่ และ 24 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตดีไม่แตกต่างกัน แต่กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 48 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ผลผลิตของผักกาดลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Boroujerdnia and Ansari (2007) ที่พบว่า กรรมวิธีที่มีการ ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 19.2 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณผลผลิตมากที่สุด แต่เมื่อเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 28.8 กิโลกรัมต่อไร่ กลับทำให้ผลผลิตที่ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากเกิดภาวะเป็นพิษในพืช (Sruamsiri, 2011) เมื่อพืชผักดูดใช้ไนโตรเจนมากขึ้นพืชลดการสร้างเส้นใย ลิกนิน และเซลลูโลส (Sangmanee and Somniyam, 2018) ส่งให้ผักอวบน้ำมากก่อให้เกิดการเน่าเสียของผลผลิต ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อปริมาณผลผลิต (Acar *et al.*, 2008) และส่งผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมในผักทำให้มีการสร้างโปรตีนมาก เกิดความเสียหายต่อสารประกอบคาร์บอนส่งผลให้ปริมาณสารอาหารในผักกาดลดลง เช่นปริมาณของฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ (Albornoz, 2016, Elhanafi *et al.*, 2019) แต่หากใส่ปุ๋ยในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลให้ปริมาณผลผลิตลดลง และไนโตรเจนสามารถเพิ่มระดับผลผลิตได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ส่งผลให้มีการสะสมไนเตรทโดยไม่เพิ่มปริมาณผลผลิต (Stefanelli *et al.* 2011) ทำให้พืชมีการสะสมไนเตรทในปริมาณที่สูง ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค เนื่องจากในร่างกายของคน ไนเตรทสามารถเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเมทฮีโมโกลบีเมีย (methemoglobinemia) และอาจกลายเป็นสารก่อมะเร็ง (Phasuk *et al.* 2019) นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในอัตราที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตของผักกาด (Johnstone *et al.*, 2005; Soundy *et al.*, 2001)

เมื่อพิจารณาสมบัติดินที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่า ดินบนพื้นที่สูง เนื้อดินเป็นดินเหนียวสีแดง มีปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากจัดการธาตุอาหารทั้งสองไม่เหมาะสมอย่างต่อเนื่องมายาวนาน จึงเกิดการสะสมฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินในระดับสูง Cimrin and Yilmaz (2005) พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานส่งผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสในดินที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกับ Li *et al.* (2019) ที่พบว่า การปลูกผักในโรงเรือนเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้มีการสะสมปริมาณของฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งต่างกับไนโตรเจนที่มีการสูญเสียได้ง่าย ซึ่ง Bouwman *et al.* (2002) พบว่า การสูญเสียไนโตรเจนในปริมาณสูงจากพื้นที่ทำการเกษตรสู่สิ่งแวดล้อม จึงทำให้ไนโตรเจนโดยทั่วไปไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่า กรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยใด ๆ (กรรมวิธีควบคุม) ยังคงให้ผลผลิตที่ดี โดยมีผลผลิตใกล้เคียงกับ

กรรมวิธีที่ 1 (CFR) ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนถึง 39.2 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณอินทรียวัตถุในดินของแปลงที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้สูงถึง 8.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอินทรียวัตถุเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่สำคัญในดิน ซึ่งจะค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน (nitrogen mineralization) (Khunthong *et al.*, 2019) ให้กับเบบี้คอสตลอดระยะเวลาที่ปลูก จึงยังคงทำให้เบบี้คอสให้ผลผลิตที่ดี ถึงแม้ไม่มีการใส่ปุ๋ยก็ตาม

ข้อมูลจากการศึกษาในครั้งชี้ให้เห็นว่า ดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (771 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือ 214 กิโลกรัมต่อไร่) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (1,277 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือ 398 กิโลกรัมต่อไร่) ในระดับสูง การปลูกพืชโดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว (กรรมวิธีที่ 3) เบบี้คอสดูดใช้ฟอสฟอรัส 2.13 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียม 20.16 กิโลกรัมต่อไร่ จากดิน (ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต) ซึ่งช่วยลดการสะสมของธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินลงได้ 1.0 และ 5.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่า เกษตรกรสามารถใช้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวอย่างน้อย 16 รอบการผลิต จึงลดปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่สะสมอยู่ในดินให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม (100-200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือ 31-62 กิโลกรัมต่อไร่) และไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างน้อย 93 รอบการผลิต จึงลดปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในดินอยู่ในระดับที่เหมาะสม (25-45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือ 7.8-14.0 กิโลกรัมต่อไร่) หลังจากที่ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมลดลงมาอยู่ในระดับที่เหมาะสม การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมควรใส่ในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของเบบี้คอส เพื่อรักษาสมดุลของธาตุอาหารในดิน ดังนั้นการประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยโดยพิจารณาถึงความต้องการธาตุอาหารของเบบี้คอสและปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมที่จะนำมาวางแผนการจัดการธาตุอาหารเพื่อให้ได้ผลผลิตทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพที่ดี ทำให้การจัดการปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูงสุด ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเกินความจำเป็น ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตและลดการปนเปื้อนปุ๋ยสู่สิ่งแวดล้อม

สรุป

การศึกษาอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเบบี้คอสในโรงเรือนบนพื้นที่สูง อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า การใส่ปุ๋ยในระบบน้ำตามกรรมวิธีที่ 3 (SSFM) ในอัตรา 5.9:0:0 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นการใส่ปุ๋ยแบบเจาะจงเฉพาะพื้นที่ โดยพิจารณาอัตราการใส่ปุ๋ยจากความต้องการธาตุอาหารของเบบี้คอสและปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน ทำให้เบบี้คอสมีแนวโน้มเจริญเติบโตดี ถึงแม้การสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ (CFR), การใส่ปุ๋ยโดยประเมินจากความต้องการธาตุอาหารของเบบี้คอส (FCR) และกรรมวิธีควบคุม (control) แต่การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (SSFM) เบบี้คอสให้ผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยได้ผลผลิตเบบี้คอสทั้งหมด 6.39 ตันต่อไร่ และเป็นผลผลิตที่จำหน่ายได้ (น้ำหนักสดหลังการตัดแต่ง) 2.65 ตันต่อไร่ ผลการศึกษาชี้เห็นได้ว่า การปลูกเบบี้คอสในดินมีปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับสูง การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำ อัตรา 5.9 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นอัตราที่เพียงพอและเหมาะสมสำหรบการผลิตเบบี้คอสคุณภาพในโรงเรือนบนพื้นที่สูง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการเคมีและความอุดมสมบูรณ์ดิน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปการณ์ในการวิเคราะห์ดินและพืช

เอกสารอ้างอิง

Acar, B., M. Paksoy, Ö. Türkmen and M. Seymen. 2008. Irrigation and nitrogen level affect lettuce yield in greenhouse condition. African Journal of Biotechnology 7(24): 4450-4453.

Albornoz, F. 2016. Crop responses to nitrogen overfertilization: A review. Journals of Scientia Horticulturae (205): 79-83.

Boroujerdnia, M. and N.A. Ansari. 2007. Effect of different levels of nitrogen fertilizer and cultivars on growth, yield and yield components of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.). Middle Eastern Russian Journal of Plant Science and Biotechnology 1(2): 47-53.

Bouwman, A.F., L.J.M. Boumans and N.H. Batjes. 2002. Emissions of N_2O and NO from fertilized fields: summary of available measurement data. Global Biogeochemical Cycles 16(4), doi: 10.1029/2001GB001811.

Bureerat, S. 2002. Soil chemical properties under different land use patterns at Inthanon mountain, Chiang Mai province. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 90 p. (in Thai)

Chaima, R. and C. Santasup. 2019. Nutrient requirements water and fertilizer consumption for baby cos production under greenhouse conditions in highland, Hot district, Chiang Mai province. pp. 67-68. *In:* Proceeding of 6th National Soil and Fertilizer Conference: Soils: Where Nutrition Starts for Health and Environment. Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom. (in Thai)

Chalernthai, P. and C. Santasup. 2017. Effects of potassium fertilizer on quality and yield of sweet corn in Ngao district, Lampang province. Journal of Agriculture 34(1): 29-40. (in Thai)

Cimrin, K.M. and I. Yilmaz. 2005. Humic acid applications to lettuce do not improve yield but do improve phosphorus availability. Journal of Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science 55(1): 58-63.

Elhanafi, L., M. Houhou, C. Rais, I. Mansouri, L. Elghadraoui and H. Greche. 2019. Impact of excessive nitrogen fertilization on the biochemical quality, phenolic compounds, and antioxidant power of *Sesamum indicum* L Seeds. Journal of Food Quality, doi: 10.1155/2019/9428092.

Fallovo, C., Y. Rouphael, M. Cardarelli, E. Rea, A. Battistelli and G. Colla. 2009. Yield and quality of leafy lettuce in response to nutrient solution composition and growing season. Journal of Food, Agriculture and Environment 7(2): 456-462.

Fei, L., M. Zhao, X. Chen and Y. Shi. 2011. Effects of phosphorus accumulation in soil with the utilization ages of the vegetable greenhouses in the suburb of Shenyang. Procedia Environmental Sciences 8: 16-20.

Hasan, M.R., A.K.M.M. Tahsin, M.N. Islam, M.A. Ali and J. Uddain. 2017. Growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) influenced as nitrogen fertilizer and plant spacing. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science 10(6): 62-71.

Inthasan, J. and C. Dechjiraratthanasiri. 2018. Effect of triple superphosphate (TSP) and organic fertilizer application on soil chemical properties of mung bean (*Vigna radiate* (L.) R. Wilczek) Kamphaeng Saen 2 variety production. Journal of Plant Science 5(2): 62-68. (in Thai)

Johnstone, P.R., T.K. Hartz, M.D. Cahn and M.R. Johnstone. 2005. Lettuce response to phosphorus fertilization in high phosphorus soils. HortScience 40(5): 1499-1503.

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

Khoshgoftarmanesh, A.H., F. Hosseini and M. Afyuni. 2011. Nickel supplementation effect on the growth, urease activity and urea and nitrate concentrations in lettuce supplied with different nitrogen sources. Scientia Horticulturae 130(2): 381-385.

Khunthong, S., C. Wattanawangjongsuk and S. Narabhat. 2019. Mineralizaed nitrogen and organic matter changer in soil amended with *Crotalaria juncea* L. residues. Journal of Agricultural Research and Extension 36(2): 33-44. (in Thai)

Land Development Department. 2015. LDD soil guide. (Online). Available: http://lddsoilguide.ldd.go.th/soilguide/#/app/map (January 1, 2020). (in Thai)

Li, J., X. Wan, X. Liu, Y. Chen, L.C. Slaughter, D.C. Weindorf and Y. Dong. 2019. Changes in soil physical and chemical characteristics in intensively cultivated greenhouse vegetable fields in North China. Soil and Tillage Research 195: 104366, doi: 10.1016/j.still.2019.104366.

Liu, C-W., Y. Sung, B. Chen and H. Lai. 2014. Effects of nitrogen fertilizers on the growth and nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.). International Journal of Environmental Research and Public Health 11(4): 4427-4440.

Metson, A.J. 1974. Magnesium in New Zealand soils 1. Some factors governing the availability of soil magnesium: a review. New Zealand Journal of Experimental Agriculture (2): 277-319.

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

Osotsapar, Y., A. Wongmaneeroj and C. Hongprayoon. 2008. Fertilizer for Sustainable Agriculture. Kasetsart University, Bangkok. 519 p. (in Thai)

Pendias, A.K. 2011. Trace Elements in Soils and Plants. Fourth Edition. CRC Press, Boca Raton. 505 p.

Phasuk, A., P. Chutichudet and B. Chutichudet. 2019. Growth yield and nitrate accumulation in five lettuces grown under hydroponics system. Journal of Science and Technology Mahasarakham University 38(4): 392-401. (in Thai)

Pinto, E., A.A. Almeida, A.A.R.M. Aguiar and I.M.P.L.V.O. Ferreira. 2014. Changes in macrominerals, trace elements and pigments content during lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth: influence of soil composition. Food Chemistry 152: 603-611.

Sangmanee, P. and V. Somniyam. 2018. Enhancing effectiveness of Chinese water convolvulus (*Ipomoea aquatica*) production by applying rain tree leaves (*Sesbanea saman*) and plant nutrition management. Journal of Plant Science 5(2): 49-56. (in Thai)

Santasup, C., S. Thumdee, F. Chaiwan and W. Spreer. 2016. Improvement of water and fertilizer use efficiency for important vegetable crops in highland area. Final Report. Highland Research and Development Institute (Public Organization), Chiang Mai. 144 p. (in Thai)

Sanz-Cobena, A., L. Sánchez-Martín, L. García-Torres and A. Vallejo. 2012. Gaseous emissions of N_2O and NO and NO_3^- leaching from urea applied with urease and nitrification inhibitors to a maize (*Zea mays*) crop. Agriculture, Ecosystems and Environment 149: 64-73.

Sayed, R.M. 2011. Zinc in crop production and interaction with phosphorus. Australian Journal of Basic and Applied Science (5): 1503-1509.

Shutsrirung, A. 2008. Soil Fertility. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 253 p. (in Thai)

Siringam, K. 2014. Effect of potassium on physiological responses of lettuce (*Lactuca sativa* var. Romana) cultivated in hydroponic system. Journal of Science and Technology 9(1): 16-32. (in Thai)

Sittigul, C., C. Santasup, U. Chattrakun and A. Chomphupoung. 2005. Development project for quality vegetable production and technology transfer for chemical free vegetable cultivation in net house. Final Report. Thailand Research Fund. Chiang Mai. 81 p. (in Thai)

Siwasin, N. 1984. Manual for Laboratory Analysis of Soil, Plant and Fertilizer. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 138 p. (in Thai)

Solaiman, Z.M., H. Yang, D. Archdeacon, O. Tippett, M. Tibi and A.S. Whiteley. 2019. Humus-rich compost increases lettuce growth, nutrient uptake, mycorrhizal colonisation, and soil fertility. Pedosphere 29(2): 170-179.

Soundy, P., D.J. Cantliffe, G.J. Hochmuth and P.J. Stoffella. 2001. Nutrient requirements for lettuce transplants using a floatation irrigation system II. Potassium. HortScience 36(6): 1071-1074.

Sruamsiri, P. 2011. Mineral Nutrient in Horticultural Crop Production. Wanida Printing Ltd., Chiang Mai. 341 p. (in Thai)

Stefanelli, D., S. Winkler and R. Jones. 2011. Reduced nitrogen availability during growth improves quality in red oak lettuce leaves by minimizing nitrate content, and increasing antioxidant capacity and leaf mineral content. Journals of Agricultural Sciences 2(4): 477-486.

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

Sylvestre, T.de.B., L.B. Braos, F.B. Filho, M.C.P. da Cruz and M.E. Ferreira. 2019. Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching. Scientia Horticulturae 255: 153-160.

Tempesta, M., G. Gianquinto, M. Hauser and M. Tagliavini. 2019. Optimization of nitrogen nutrition of cauliflower intercropped with clover and in rotation with lettuce. Scientia Horticulturae 246: 734-740.

Visitpanich, J., C. Sitigul, C. Santasup, I. Nuntagij and A. Chomphupoug. 2006. Project develop quality vegetable production and transfer of technology to grow organic vegetables in net house. Final Report. The Thailand Research Fund, Bangkok. 103 p. (in Thai)

ผลของวิธีการปลูกข้าวต่อประชากรเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นในนาข้าวชลประทานในเขตภาคเหนือตอนล่าง

Influence of Rice Cultivation Methods on Planthopper and Leafhopper Populations in Irrigated Rice Field in Lower Northern Thailand

ศศิประภา พุฒกำพร้า[1] วิภา หอมหวล[1*] วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ[1] เยาวลักษณ์ จันทร์บาง[2] และ จิราพร กุลสาริน[2]

Sasipapar Putkampra[1], Wipa Homhaul[1*], Weerathep Pongprasert[1], Yaowaluk Chanbang[2] and Jiraporn Kulsarin[2]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000

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

[2]ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

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

(Received: 26 June 2020; Accepted: 8 September 2020)

Abstract: The objectives of this research were to compare five cultivation methods of RD49 rice variety: germinated broadcast seed, germinated dripping seed, parachute seeding, manual transplanting and transplanting machine that affected on the population dynamics of planthoppers and leafhoppers. The research was carried out during June-September, 2019 at Bueng Bua subdistrict, Wachirabarami district, Phichit province. The direct count sampling technique was applied every 7 days after seedling stage of rice (15 days of planting). The result revealed that in all cultivation methods the five planthoppers: brown planthopper (BPH), whitebacked planthopper (WBPH), green leafhopper (GLH), zigzag leafhopper (ZLH) and white leafhopper (WLH) were found, however only BPH and GLH were found at the high numbers and the population change was obviously determined. The germinated broadcast seed method promoted the increasing of BPH at the average of 199.05 individuals per square meter through all the season, meanwhile, the transplanting machine method promoted GLH at the amount of 101.95 individuals per square meter. The tiller density was the most effect on the increasing populations of BPH up to 97.09% but it had very little effect on GLH populations. The effect of abiotic factors was very low on populations of hoppers (0-45%) in all cultivation methods.

Keywords: Cultivated method, planthopper, leafhopper, irrigated rice field

บทคัดย่อ: การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา วิธีการปลูกข้าว พันธุ์ กข49 จำนวน 5 วิธี ได้แก่ นาหว่านน้ำตม นาหยอดข้าวงอก นาโยน นาปักดำด้วยมือ และนาปักดำด้วยเครื่อง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่น ระหว่างเดือน มิถุนายน-กันยายน 2561 ในพื้นที่ตำบลบึงบัว อำเภอวชิรบารมี จังหวัดพิจิตร โดยการสุ่มนับแมลงโดยตรง ทุก 7 วัน ตั้งแต่ข้าวอายุ 15 วัน ตลอดฤดูปลูก พบว่า ในทุกวิธีการปลูก พบเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว เพลี้ยจักจั่นปีกลายหยัก เพลี้ยจักจั่นสีเขียวและเพลี้ยจักจั่นขาวใหญ่ แต่มีเพียงเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวเท่านั้นที่พบจำนวนมากและมีการเปลี่ยนแปลงประชากรอย่างชัดเจนตลอดฤดูปลูก ในวิธีการปลูกแบบนาหว่าน้ำตม พบประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูงที่สุด จำนวน 199.05 ตัวต่อตารางเมตร ในขณะที่ วิธีการปลูกแบบปักดำด้วยเครื่อง พบประชากรเพลี้ยจักจั่นสีเขียวสูงที่สุด จำนวน 101.95 ตัวต่อตารางเมตร โดยความหนาแน่นของต้นข้าวต่อตารางเมตรมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมากที่สุดถึงร้อยละ 97.09 แต่มีผลต่อเพลี้ยจักจั่นสีเขียวน้อยมาก ส่วนปัจจัยทางกายภาพของสภาพแวดล้อม พบว่า มีอิทธิพลต่อเพลี้ยทั้งสองชนิด น้อยมาก อยู่ในช่วงร้อยละ 0-45 ในทุกวิธีการปลูก

คำสำคัญ: วิธีการปลูก เพลี้ยกระโดด เพลี้ยจักจั่น นาข้าวชลประทาน

คำนำ

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีการปลูกข้าวหลายวิธีการ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสภาพพื้นที่และภูมิภาคที่เอื้ออำนวย ในพื้นที่มีระบบการชลประทานสมบูรณ์ เกษตรกรสามารถปลูกข้าวได้ถึงปีละ 3 ครั้ง รวมทั้งมีการปลูกข้าวเหลื่อมเวลา หรือปลูกข้าวไม่พร้อมกันอย่างต่อเนื่อง วิธีการทำนาได้รับการพัฒนาเปลี่ยนแปลงให้สามารถรองรับศักยภาพในเชิงการผลิตมากขึ้น จากเดิมซึ่งนิยมการปลูกข้าวแบบนาดำเป็นหลัก ต่อมาวิธีการและเทคนิคในปลูกข้าวได้รับการพัฒนาเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและหลากหลาย แต่โดยทั่วไปวิธีการที่ได้รับความนิยมมากในหลายพื้นที่ มี 5 วิธีหลัก คือ หว่านน้ำตม หยอดข้าวงอก โยนกล้า ปักดำด้วยเครื่อง และปักดำด้วยมือ ซึ่งแต่ละวิธีมีความหนาแน่นของต้นข้าวแตกต่างกัน ส่งผลโดยตรงต่อระบบนิเวศนาข้าวทำให้เกิดความแตกต่าง ทั้งในส่วนของความชื้น อุณหภูมิ การหมุนเวียนของอากาศในแปลง ฯลฯ และมีผลกระทบต่อเนื่องถึงการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณประชากรของแมลงศัตรูข้าวที่ปรากฏในแต่ละช่วงฤดูปลูกข้าวได้ (Rvay-aree and Surakarn,1999)

ในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง เกษตรกรสามารถทำนาได้ตลอดทั้งปีเนื่องจากมีระบบชลประทานที่สมบูรณ์รองรับ ประกอบกับเกษตรกรมีทักษะในการจัดการ เรียนรู้และยอมรับเทคโนโลยีใหม่ ๆ ได้อย่างรวดเร็ว วิธีการปลูกเป็นส่วนหนึ่งที่เกษตรกรได้รับองค์ความรู้จากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำมาปรับใช้ในพื้นที่ ดังนั้น เกษตรกรจึงมีช่องทางในการเลือกวิธีการปลูกได้หลากหลายมาก อย่างไรก็ตาม ข้อมูลวิธีการปลูกที่เกี่ยวเนื่องกับการระบาดของแมลงศัตรูข้าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นในพื้นที่ชลประทานภาคเหนือตอนล่างนั้นยังมีน้อยมาก

ดังนั้นได้ทำการศึกษาผลของวิธีการปลูก 5 วิธีหลัก คือ หว่านน้ำตม หยอดข้าวงอก โยนกล้า ปักดำด้วยมือ และปักดำด้วยเครื่อง ต่อประชากรเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นในนาข้าวชลประทานเขตภาคเหนือตอนล่างขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางประกอบในการบริหารจัดการแมลงศัตรูข้าวในพื้นที่ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมแปลง

จัดทำแปลงนาข้าวทดสอบกึ่งสาธิต ขนาดพื้นที่แปลงละ 4 ไร่ จำนวน 5 แปลง ในพื้นที่แปลงนาเกษตรกร ตำบลบึงบัว อำเภอวชิรบารมี จังหวัดพิจิตร โดยปลูกข้าวพันธุ์ กข49 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกในพื้นที่ด้วยวิธีการปลูก 5 วิธี และใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ ตามวิธีการ

ของเกษตรกร คือ หว่านน้ำตม อัตราเมล็ดพันธุ์ 25 กิโลกรัมต่อไร่ หยอดข้าวงอก อัตราเมล็ดพันธุ์ 15 กิโลกรัมต่อไร่ โยนกล้า อัตราเมล็ดพันธุ์ 11.5 กิโลกรัมต่อไร่ ปักดำด้วยเครื่อง อัตราเมล็ดพันธุ์ 15 กิโลกรัมต่อไร่ และปักดำด้วยมือ อัตราเมล็ดพันธุ์ 10 กิโลกรัมต่อไร่

การสำรวจเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นและรวบรวมข้อมูล

สำรวจจำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่น ด้วยแผนการสุ่มตรวจนับโดยตรง จากทั้ง 5 แปลง ทุกสัปดาห์ ตั้งแต่ข้าวอายุ 15 วัน ในขนาด 1x1 เมตร จำนวน 20 หน่วยสุ่มต่อแปลง เดินเป็นเส้นทแยงมุมไขว้กันเป็นรูปกากบาทในแปลงนา ตรวจนับจำนวนเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นโดยตรงจากโคนกอข้าวและเรือนยอดทุก ๆ กอในหน่วยสุ่ม บันทึกผล

บันทึกข้อมูลอื่น ๆ เช่น ระดับน้ำในแปลงนา อุณหภูมิยอดหญ้า และความชื้นยอดหญ้า เป็นต้น

วิเคราะห์เปรียบเทียบจำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นชนิดต่าง ๆ ที่พบ ในวิธีการปลูก 5 วิธี ด้วยการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลโดยวิธี Shapiro-Wilk test วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย Analysis of variance และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ รวมทั้งวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยทางกายภาพในแปลงนาต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่น

ผลการศึกษา

เปรียบเทียบจำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นชนิดต่าง ๆ ที่เข้าทำลายในนาข้าว ที่ลงทำลายข้าว ซึ่งปลูกด้วยวิธีการปลูก 5 แบบ โดยการสุ่มตรวจนับโดยตรง

ผลการศึกษา พบว่า ประชากรของเพลี้ย 5 ชนิด คือ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว เพลี้ยกระโดดหลังขาว เพลี้ยจักจั่นปีกลายหยัก และเพลี้ยจักจั่นขาวใหญ่ มีความแตกต่างไปตามวิธีการปลูกข้าว ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของจำนวนเพลี้ยแต่ละชนิดพบว่า มีการกระจายของตัวแบบปกติ (p-values≥0.05) ดังนี้

จำนวนประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล พบมากที่สุด ในนาหว่านน้ำตมเฉลี่ยสูงถึง 199.1 ตัวต่อตารางเมตร รองลงมา ได้แก่ ปักดำด้วยมือ ปักดำด้วยเครื่อง โยนกล้า และหยอดข้าวงอกพบเฉลี่ย 32.0, 25.1, 17.25 และ 13. 2 ตัวต่อตารางเมตร มีความแตกต่างจากในนาหว่านน้ำตมถึง 6.22, 7.93, 11.54 และ 15.08 เท่าตามลำดับ

จำนวนประชากรของเพลี้ยจักจั่นสีเขียว พบจำนวนสูงสุด ในนาปักดำด้วยเครื่อง เฉลี่ย 102.0 ตัวต่อตารางเมตร มากกว่าที่พบใน นาปักดำด้วยมือ โยนกล้า หว่านน้ำตม และหยอดข้าวงอก ซึ่งพบเฉลี่ย 86.5, 50.3, 48.6 และ 46.2 ตัวต่อตารางเมตร มีความแตกต่างจากนาปักดำด้วยเครื่อง 1.17, 2.02, 2.10 และ 2.21 เท่าตามลำดับ

จำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดหลังขาว เพลี้ยจักจั่นปีกลายหยัก และเพลี้ยจักจั่นขาวใหญ่ พบน้อยมาก โดยจำนวนประชากรที่พบสูงสุดในนาที่ใช้วิธีการปลูกแบบต่าง ๆ ดังนี้ เพลี้ยกระโดดหลังขาวพบในนาหว่านน้ำตม เฉลี่ย 13.7 ตัวต่อตารางเมตร เพลี้ยจักจั่นปีกลายหยักพบในนาหยอดข้าวงอกเฉลี่ย 10.05 ตัวต่อตารางเมตร เพลี้ยจักจั่นขาวใหญ่พบในนาหยอดข้าวงอกเฉลี่ย 0.85 ตัวต่อตารางเมตร (Figure 1)

การเปลี่ยนแปลงประชากรของแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญในวิธีการปลูกข้าวแบบต่าง ๆ

ในจำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นที่พบในนาข้าวที่ปลูกด้วยวิธีการปลูกทั้ง 5 วิธีนั้น พบว่า มีเพียงเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวที่พบการเปลี่ยนแปลงประชากรตลอดฤดูปลูกในจำนวนที่ชัดเจน ส่วนเพลี้ยชนิดอื่น ๆ พบน้อยมากและไม่ต่อเนื่อง โดยในส่วนของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลนั้นพบการเปลี่ยนแปลงประชากรในปริมาณสูงมากในนาหว่านน้ำตม เริ่มจากสัปดาห์แรก เมื่อข้าวอยู่ในระยะกล้าพบเฉลี่ย 0.1 ตัวต่อตารางเมตร จากนั้นเพิ่มจำนวนขึ้น

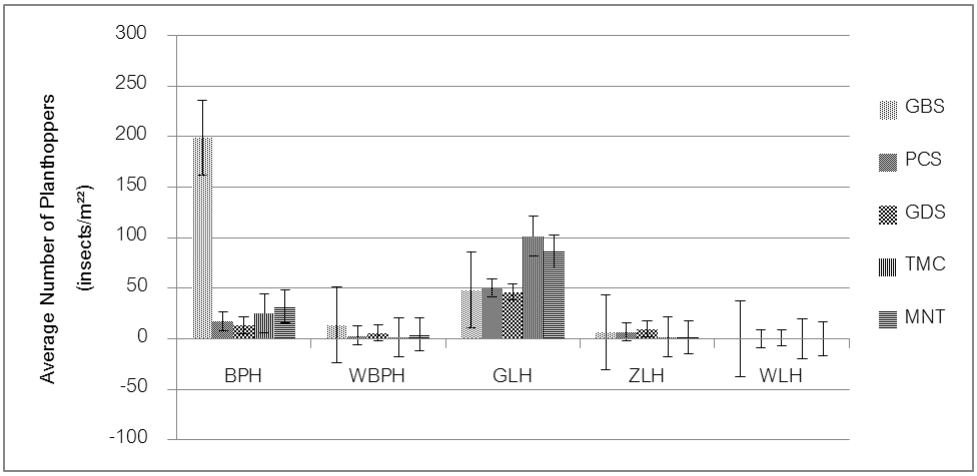


Figure 1. Average numbers with standard errors (base on the column) of five rice hoppers: brown planthopper (BPH), whitebacked planthopper (WBPH), green leafhopper (GLH), zigzag leafhopper (ZLH) and white leafhopper (WLH) found in five cultivation methods: germinated broadcast seed (GBS), parachute seeding (PCS), germinated dripping seed (GDS), transplanting machine (TMC) and manual transplanting (MNT)

อย่างต่อเนื่องและสูงสุด ในสัปดาห์ที่ 7 เฉลี่ยที่ 105.4 ตัวต่อตารางเมตร แล้วลดลงอย่างรวดเร็วต่อเนื่องในสัปดาห์ที่ 9 ถึง 13 เฉลี่ย 11.4, 1.6, 0.7 และ 0.7 ตัวต่อตารางเมตร และไม่พบในสัปดาห์ที่ 14 และ 15 ส่วนในวิธีการปลูกแบบอื่น ๆ นั้น พบการเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับต่ำแตกต่างจากที่พบในนาหว่านน้ำตมมาก โดยพบจำนวนสูงสุดในวิธีการปลูก โยนกล้า หยอดข้าวงอก ปักดำด้วยเครื่องและปักดำด้วยมือ เฉลี่ย 4.8, 2.9, 6.4 และ 11.7 ตัวต่อตารางเมตร ในสัปดาห์ที่ 5, 8, 12 และ 11 ตามลำดับ (Figure 2a)

ในส่วนของเพลี้ยจักจั่นพบการเปลี่ยนแปลงประชากรสูงในวิธีการปลูกแบบนาดำด้วยเครื่องและด้วยมือ ในนาปักดำด้วยเครื่อง เริ่มพบจำนวนประชากรในสัปดาห์ที่ 3 จากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและสูงสุดในสัปดาห์ที่ 6 เฉลี่ย 35.25 ตัวต่อตารางเมตร (Figure 2b) ส่วนนาปักดำด้วยมือ เริ่มพบในสัปดาห์ที่ 5 และพบเพิ่มขึ้นสูงสุด 2 ครั้ง คือ ในสัปดาห์ที่ 7 และ 11 เฉลี่ย 28.1 และ 16.0 ตัวต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในนาหว่านน้ำตม เริ่มพบในสัปดาห์แรก และเพิ่มขึ้นสูงสุดในสัปดาห์ที่ 3 เฉลี่ย 18.6 ตัวต่อตารางเมตร ในนาโยนประชากรของเพลี้ยจักจั่นสีเขียว เริ่มพบในสัปดาห์ที่ 2 จากนั้นเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดฤดูปลูก โดยพบจำนวนสูงเป็นระยะในสัปดาห์ที่ 3, 6 และ 8 เฉลี่ย 8.4, 16.65 และ 10.65 ตัวต่อตารางเมตร ตามลำดับ และนาหยอดข้าวงอก เริ่มพบในสัปดาห์ที่ 1 ข้าวอยู่ในระยะกล้า จากนั้นจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและสูงสุดในสัปดาห์ที่ 5 เฉลี่ย 16.8 ตัวต่อตารางเมตร

เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยทางกายภาพในแปลงนาได้แก่ ระดับน้ำในแปลง ความชื้นยอดหญ้า อุณหภูมิยอดหญ้า ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวในวิธีการปลูกแบบต่าง ๆ พบว่า ปัจจัยทางกายภาพต่าง ๆ ดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรของแมลงทั้งชนิดในทุกวิธีการปลูกน้อยมาก อยู่ในช่วงร้อยละ 0.0-45 (R^2=0.0-0.45) (p-value≥0.05) โดยค่าความสัมพันธ์สูงสุดพบได้ในประชากรเพลี้ยจักจั่นสีเขียวกับความชื้นระดับต่ำในนาโยนกล้า และนาดำด้วยเครื่องที่ร้อยละ 45 และ 40 (R^2=0.45 และ 0.40) (Table 1)

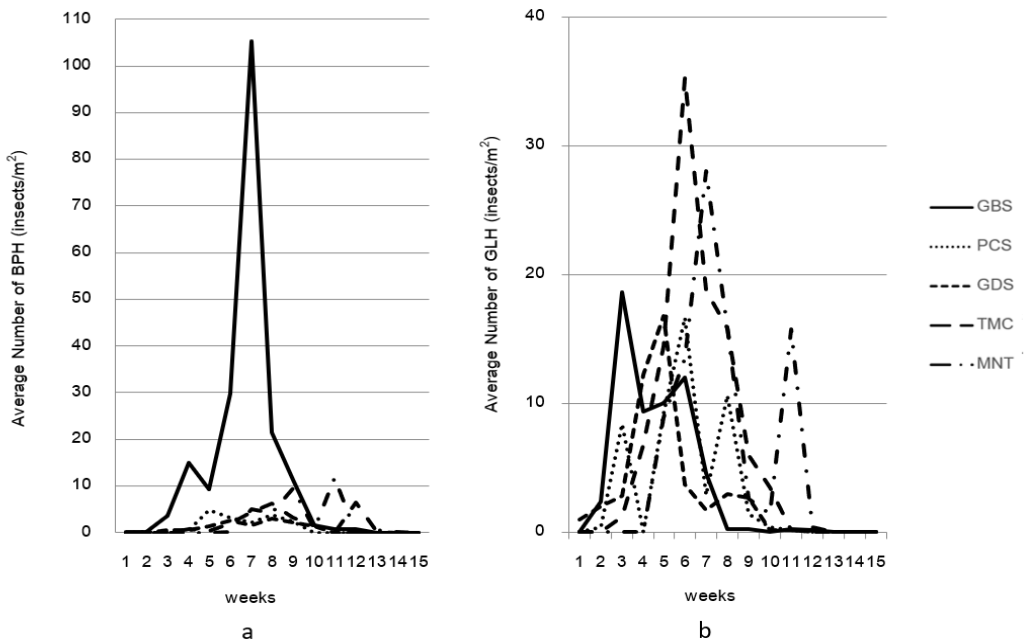


Figure 2. The population dynamics of brown planthopper (BPH) (a) and green leafhopper (GLH) (b) found in five cultivation methods: germinated broadcast seed (GBS), parachute seeding (PCS), germinated dripping seed (GDS), transplanting machine (TMC) and manual transplanting (MNT)

Table 1. Regression coefficient values (R^2) of the relationships of environmental factors on brown planthopper (BPH) and green leafhopper (GLH) population in five rice cultivation methods: germinated broadcast seed (GBS), parachute seeding (PCS), germinated dripping seed (GDS), transplanting machine (TMC) and manual transplanting (MNT)

Environmental factors	Regression coefficient values									
	BPH					GLH				
	GBS	PCS	GDS	TMC	MNT	GBS	PCS	GDS	TMC	MNT
Water level	0.00	0.00	0.17	0.34	0.37	0.11	0.01	0.16	0.01	0.04
Rice canopy relative humidity	0.03	0.12	0.11	0.02	0.07	0.01	0.12	0.03	0.01	0.07
Rice canopy temperature	0.00	0.04	0.04	0.04	0.06	0.02	0.03	0.06	0.02	0.12
Rainfall	0.00	0.00	0.02	0.24	0.04	0.00	0.03	0.03	0.05	0.00
Maximum relative humidity	0.11	0.08	0.11	0.10	0.02	0.00	0.13	0.02	0.22	0.08
Minimum relative humidity	0.02	0.16	0.07	0.02	0.01	0.15	0.45	0.15	0.40	0.15
Maximum temperature	0.00	0.14	0.10	0.01	0.00	0.02	0.32	0.27	0.26	0.02
Minimum temperature	0.01	0.21	0.23	0.10	0.01	0.01	0.29	0.26	0.11	0.03

อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของต้นข้าว (จำนวนต้นข้าวต่อตารางเมตร) ในวิธีการปลูกข้าวทั้ง 5 วิธีกับจำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว พบว่า มีอิทธิพลต่อจำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูงถึงร้อยละ 97.09 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายใต้สมการความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียล $Y=0.0051x^2-1.9828X+202.89$ โดยจำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีแนวโน้มพบในระดับต่ำเฉลี่ย 13.2-32.0 ตัวต่อตารางเมตร เมื่อความหนาแน่นของต้นข้าวที่ 145-280 ต้นต่อตารางเมตร ซึ่งปลูกด้วยวิธีนาโยน นาหยอดข้าวงอก นาปักดำด้วยเครื่องและมือ เมื่อความหนาแน่นของต้นข้าวเพิ่มขึ้นเป็น 280-390 ต้นต่อตารางเมตร ซึ่งปลูกด้วยวิธีนาหว่านน้ำตม พบจำนวนเพลี้ยกระโดสีน้ำตาลสูงสุด เฉลี่ย 199.05 ตัวต่อตารางเมตร ในขณะที่ ปัจจัยความหนาแน่นของต้นข้าวในวิธีการปลูกแบบต่าง ๆ ทั้ง 5 แบบมีอิทธิพลต่อจำนวนประชากรของเพลี้ยจักจั่นสีเขียวน้อยมาก ร้อยละ 0.008 เท่านั้น (Figure 3)

วิจารณ์

แมลงศัตรูข้าวกลุ่ม เพลี้ยจักจั่นและเพลี้ยกระโดด ที่มีบทบาทสำคัญที่พบในแปลงนา คือ เพลี้ยสีเขียว (*Nephotettix* spp.), เพลี้ยจักจั่นปีกลายหยัก (*Recilia dorsalis* (Motschulsky)), เพลี้ยจักจั่นขาวใหญ่ (*Cofana spectra* (Distant)), เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (*Nilaparvata lugens* (Stal)) และเพลี้ยกระโดดหลังขาว (*Sogatella furcifera* (Horvath)) (Norowi, 2001) ซึ่งการทำลายมีความรุนแรงและทำความเสียหายเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง และรวดเร็วกว่าหนอนห่อใบข้าวและหนอนกอข้าวมาก (Dale, 1994) แต่ชนิดที่มีความเด่นและพบเป็นจำนวนมากตลอดฤดูกาลในแปลงนาคือ *N. lugens* และ *Nephotettix* spp. (Soinark *et al*., 2015) ในทำนองเดียวกันกับผลการศึกษาในครั้งนี้ ตลอดฤดูปลูกพบ เพลี้ยจักจั่นและเพลี้ยกระโดด รวม 5 ชนิด คือ *Nephotettix* sp., *R. dorsalis*, *C. spectra*, *N. lugens*, *S. furcifera* โดยมี *N. lugens* และ *Nephotettix* sp. 2 ชนิดเท่านั้น ที่พบเป็นจำนวนมากที่สุด และมีการเปลี่ยนแปลงประชากรที่ชัดเจนตลอดฤดูปลูก การเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยทั้งสองกลุ่มในสภาพแปลงนาได้รับอิทธิพลจากสภาพทางนิเวศ และปัจจัยทางชีวภาพต่าง ๆ ในแปลงนา สรีรวิทยาของพืช สภาพภูมิอากาศ และการปฏิบัติของเกษตรกร (Settle *et al*., 1996) เพลี้ยทั้งสองชนิดลงทำลายข้าวระยะแตกกอจนถึงออกรวง (Moldenhauer and Slaton, 2004) ดูดกินน้ำเลี้ยงจากใบและต้นทำให้ข้าวมีอาการเหลืองและไหม้แห้งตาย นอกจากนี้ยังเป็นพาหะนำโรคไวรัสมาสู่ข้าวด้วย

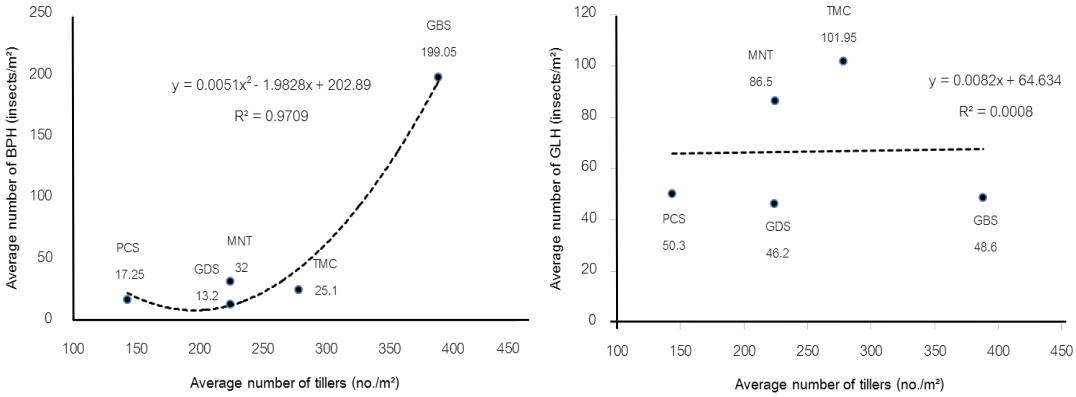


Figure 3. Relationship of average number of brown planthopper (BPH) (no./m^2) and green leafhopper (GLH)) (no./m^2) on density of rice in five cultivation methods: germinated broadcast seed (GBS), parachute seeding (PCS), germinated dripping seed (GDS), transplanting machine (TMC), and manual transplanting (MNT)

(Gurr *et al*., 2011) โดยทั่วไป อัตราการเพิ่มจำนวนของเพลี้ยทั้งสองกลุ่มมีความสัมพันธ์กับแหล่งอาหาร อุณหภูมิ และความชื้นมาก (Xu *et al*., 2013)

ในการเลือกวิธีปลูกข้าวของเกษตรกรมีส่วนสำคัญต่อจำนวนชนิดและปริมาณของแมลงศัตรูข้าวมาก เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อความหนาแน่นของต้นข้าวหรือแหล่งอาหารของแมลงศัตรูข้าวในแปลงนา (Rouya-ree and Surakarn, 1999) จากการสุ่มนับจำนวนต้นข้าวต่อตารางเมตรในวิธีการปลูกข้าวทั้ง 5 วิธี พบว่า นาหว่านน้ำตมมีความหนาแน่นของต้นข้าวสูงสุดเฉลี่ย 388.4 ต้นต่อตารางเมตร รองลงมาคือ นาดำด้วยเครื่อง นาดำด้วยมือ นาหยอดข้าวงอก และนาโยน เฉลี่ย 278.5, 224.3, 224.2 และ 143.3 ต้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ ความหนาแน่นของต้นข้าวต่อพื้นที่ส่งผลทำให้แปลงนามีสภาพนิเวศที่เอื้ออำนวยต่อชนิดและจำนวนของแมลงศัตรูข้าวได้แตกต่างกัน แปลงนาที่มีความหนาแน่นต้นข้าวสูง เช่น นาหว่านน้ำตม ความชื้นในทรงพุ่มข้าวมีสูงทำให้อุณหภูมิภายในทรงพุ่มมีระดับต่ำกว่าภายนอก และเป็นร่มเงาพักพิงอาศัยของแมลงต่าง ๆ ได้ดี (Nishida, 1975) จึงมีโอกาสพบแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญคือ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวสูงขึ้นด้วย จากรายงานของ International Rice Research Institute (1972) ประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในแปลงที่ปลูกข้าวระยะ 10 x 10 เซนติเมตร มีจำนวนและอัตราการเพิ่มของจำนวนขึ้นได้อย่างรวดเร็วมากกว่าที่พบในแปลงที่ปลูกด้วยระยะ 50 x 50 เซนติเมตร

ในการศึกษานี้พบว่า การปลูกข้าวด้วยวิธีนาหว่านน้ำตม พบจำนวนประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลโดยรวมมากที่สุดเฉลี่ย 199.05 ตัวต่อตารางเมตร สอดคล้องกับผลการสำรวจชนิดและปริมาณแมลงศัตรูข้าว โดยวิธีการปลูกที่ต่างกัน ในข้าวพันธุ์ กข31 ตำบลห้วยขมิ้น อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2557 ด้วยการสุ่มนับโดยตรง ของ Anuson *et al*. (2015) พบว่าการปลูกข้าวแบบหว่านน้ำตม มีจำนวนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมากที่สุด จำนวนเฉลี่ย 21.80 ตัวต่อกอ เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของจำนวนต้นข้าวในนาหว่านน้ำตม เฉลี่ยที่ 388.4 ต้นต่อตารางเมตรกับวิธีการปลูกแบบอื่น ๆ มีความหนาแน่นของต้นข้าวโดยรวมที่ 217.6 ต้นต่อตารางเมตร วิธีนาหว่านน้ำตมมีความหนาแน่นของต้นข้าวสูงกว่า ถึง 1.8 เท่า แต่จำนวนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในนาหว่านน้ำตม เฉลี่ย 199.05 ตัวต่อตารางเมตร กลับสูงกว่าในวิธีการปลูกแบบอื่น เฉลี่ยรวมที่ 21.9 ตัวต่อตารางเมตร ถึง 9.1 เท่า อย่างไรก็ตาม ในกรณีของเพลี้ยจักจั่นสีเขียว การเปลี่ยนแปลงประชากรในจำนวนที่สูงตลอดระยะเวลาปลูกในทุกวิธีการปลูกเช่นเดียวกัน แต่ไม่รุนแรงและชัดเจนเท่าเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เนื่องจากเพลี้ยจักจั่นสีเขียวมีพฤติกรรมการอาศัยตามบริเวณเรือนยอดของข้าว มีนิสัยว่องไว ชอบบินและเคลื่อนที่ตลอดเวลา สามารถบินได้เป็นระยะทางไกลหลายกิโลเมตร (Patirupanusara and Patirupanusara, 2012) จึงมีการกระจายตัวเปลี่ยนแปลงจำนวนได้รวดเร็วกว่าเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่มีการเคลื่อนที่น้อยมาก ส่วนใหญ่อาศัยดูดกินน้ำเลี้ยงจากบริเวณโคนต้นข้าวเท่านั้น ดังนั้นความหนาแน่นของต้นข้าวที่แตกต่างในแต่ละวิธีการปลูกจึงมีผลต่อจำนวนประชากรของเพลี้ยจักจั่นน้อยมาก

ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นนั้น เนื่องจากแมลงเป็นสัตว์เลือดเย็น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้นมีผลกระทบต่อพฤติกรรม การกระจายตัว การเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ จำนวนชั่วอายุต่อปี รวมทั้งแหล่งอาหาร (Ramya *et al*., 2012) ในภาพรวมการเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยทั้งสองกลุ่ม มีจำนวนเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนถึงจุดสูงสุดในระยะแตกกอและออกรวง หลังจากนั้นลดลงจนถึงระยะเก็บเกี่ยวเช่นเดียวกับรายงานของ Lu *et al*. (2006) อย่างไรก็ตาม มีเพียงเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวเท่านั้น ที่จำนวนประชากรเปลี่ยนแปลงเด่นชัดมากที่สุดตลอดฤดูปลูก ประชากรเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 6-13 ขึ้นอยู่กับวิธีการปลูกข้าว ความหนาแน่นของต้นข้าว และอายุของข้าวเป็นหลัก เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อทั้งคุณภาพและปริมาณของอาหารในต้นข้าว รวมทั้งลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าว ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มประชากรของเพลี้ยกระโดดมากที่สุด (Xu *et al*., 2013) ในขณะที่เพลี้ยจักจั่นสีเขียวนั้นมีการเปลี่ยนแปลงประชากรเพิ่มขึ้นลดลงตลอดเวลา

ตั้งแต่ช่วงระยะกล้าจนถึงออกรวง แตกต่างไปตามอายุข้าวและวิธีการปลูก สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Hafizal and Idris (2014) พบว่า จำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดมีความแตกต่างในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว ในขณะที่ประชากรของเพลี้ยจักจั่นนั้น ไม่มีความแตกต่างในแต่ระยะข้าว ทั้งนี้เป็นผลจากความต้องการสารอาหาร หรือความชอบของแหล่งอาหารของแมลงมีความแตกต่างไปตามอายุของข้าว (Rubia-Sanchez *et al*., 2003) การที่เพลี้ยทั้งสองกลุ่มอาศัยอยู่บนต้นข้าวด้วยกันได้ สภาพการแข่งขันระหว่างเพลี้ยทั้งสองเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นแน่นอน โดยเฉพาะในช่วงระยะแตกกอของข้าว แต่เพื่อความอยู่รอดของประชากร ทำให้เกิดการปรับตัว ในด้านต่าง ๆ กลายเป็นวิวัฒนาการร่วมเพื่อลดการแข่งขัน เช่น กรณีของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลกับเพลี้ยจักจั่นสีเขียว มีการปรับตัวโดยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลอาศัยบริเวณโคนต้นข้าวไม่เคลื่อนที่มาก ส่วนเพลี้ยจักจั่นอาศัยบนเรือนยอด แต่อาศัยดูดกินน้ำเลี้ยงจากข้าวต้นเดียวกัน (Kuno and Hokyo, 1970) นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนของเกษตรกรในช่วงข้าวออกดอกนั้น มีผลทำให้ต้นข้าวเจริญเติบโตได้ดี มีความเขียวและสดขึ้น ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่เหมาะสมของเพลี้ยจักจั่นได้ดีในช่วงเวลาดังกล่าว จึงทำให้เพลี้ยจักจั่นเพิ่มจำนวนขึ้นอีกครั้งเป็นรอบที่สองของฤดูกาลปลูกได้ (Lu *et al*., 2006; Mani and Jayaraj, 1976) และเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประชากรของเพลี้ยจักจั่นมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดฤดูปลูกตั้งแต่ระยะกล้าจนออกรวง (Rubia-Sanchez *et al*., 2003)

ปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณฝน ระดับน้ำในแปลงนา ในสภาพแปลงนาทั้ง 5 วิธีปลูก มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวน้อยมาก โดยระดับน้ำ ในแปลงนามีผลต่อประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูงที่สุดร้อยละ 34 และ 37 เท่านั้น ในแปลงนาที่ปลูกด้วยวิธีปักดำด้วยเครื่องและปักดำด้วยมือ ตามลำดับ แต่แตกต่างจากรายงานของ (Dyck, 1974; Fernando, 1975; IRRI, 1972; Pathak and Dyck, 1973) ที่พบว่าระดับน้ำในแปลงนา มีผลต่อการเพิ่มจำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมาก และการให้น้ำแปลงนาสูงตลอดเวลา มีผลทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลระบาดได้ถึงสองครั้งในฤดูปลูก และ Hafizal and Idris (2014) พบว่า การเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยกระโดด ในแปลงนานั้น มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ สูงร้อยละ 67 ส่วนความชื้นมีน้อยมาก เพียงร้อยละ 1.5 เท่านั้น

ในขณะที่ เพลี้ยจักจั่น ระดับอุณหภูมิสูงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยจักจั่นสูงถึงร้อยละ 91.5 และ -62.2 ความชื้นสัมพันธ์ร้อยละ -81.3-85.9 ปริมาณน้ำฝนร้อยละ -66.9 (Rachappa *et al*., 2016) ระดับอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีพของ เพลี้ยจักจั่น คือ 30 °C ความชื้น ร้อยละ 80 และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 40 °C พบว่า อัตราการตายเพิ่มขึ้น แม้ความชื้นที่ 70-90% (Yusof, 2018) ซึ่งจากผลการศึกษานี้ พบว่า มีเพียงความชื้นสัมพัทธ์ระดับต่ำและอุณหภูมิเท่านั้น ที่มีแนวโน้มส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยจักจั่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวิธีโยนกล้าและปักดำด้วยเครื่อง แต่อยู่ในระดับต่ำมากเช่นกันเพียงร้อยละ 45 และ 40 ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับรายงานของ Hafizal and Idris (2014) ที่พบว่า การเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยจักจั่นในแปลงนานั้นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ สูงร้อยละ 64 ความชื้นมีน้อยมาก เพียงร้อยละ 5 เท่านั้น

จากผลการศึกษาพบว่า วิธีการปลูกข้าวแบบนาหยอดข้าวงอก เป็นวิธีการปลูกข้าวที่มีความเหมาะสมมากที่สุดกับการทำนาปีในภาคเหนือตอนล่าง ในพื้นที่กรณีศึกษาในเขตชลประทานจังหวัดพิจิตร เนื่องจากมีความหนาแน่นของต้นข้าวในระดับน้อยถึงปานกลาง เฉลี่ย 224.2 ต้นต่อตารางเมตร ตลอดฤดูปลูกพบประชากรเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นศัตรูข้าวจำนวนน้อยที่สุด และอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าระดับเศรษฐกิจ โดยปัจจัยกายภาพมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นน้อยมาก ผลการศึกษาสามารถปรับใช้เป็นเครื่องมือหรือแนวทางสำหรับการบริหารจัดการแมลงศัตรูข้าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นร่วมกับวิธีการอื่น ๆ ได้ เพื่อควบคุมเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นศัตรูข้าวได้อย่างเหมาะสม มีประสิทธิภาพ และยั่งยืนต่อไปในอนาคต

สรุป

วิธีการปลูกข้าวพันธุ์ กข49 แบบต่าง ๆ คือ หว่านน้ำตม หยอดข้าวงอก โยนกล้า ปักดำด้วยมือ และปักดำด้วยเครื่อง ระหว่างเดือน มิถุนายน-กันยายน 2561 ในพื้นที่ตำบลบึงบัว อำเภอวชิรบารมี จังหวัดพิจิตร การสำรวจแมลง แบบการนับโดยตรง ทุก 7 วัน ตลอดฤดูปลูก พบว่า ในทุกวิธีการปลูกพบเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว เพลี้ยจักจั่นปีกลายหยัก เพลี้ยจักจั่นสีเขียวและเพลี้ยจักจั่นขาวใหญ่ แต่มีเพียงเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและเพลี้ยจักจั่นสีเขียวเท่านั้นที่พบในจำนวนมากและมีการเปลี่ยนแปลงประชากรชัดเจนตลอดฤดูปลูก เฉลี่ย 199.05 และ 101.95 ตัวต่อตารางเมตร ในนาหว่านน้ำตมและนาปักดำด้วยเครื่อง โดยความหนาแน่นของต้นข้าว มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมากที่สุดถึงร้อยละ 97.09 แต่มีผลต่อเพลี้ยจักจั่นสีเขียวน้อยมาก ส่วนปัจจัยทางกายภาพในแปลงนามีอิทธิพลต่อเพลี้ยทั้งสองชนิดน้อยมาก อยู่ในช่วงร้อยละ 0-45 โดยความชื้นสัมพัทธ์ระดับต่ำมีแนวโน้มกระทบต่อจำนวนประชากรของเพลี้ยจักจั่นมากที่สุด ร้อยละ 45 และ 40 ในวิธีปลูกแบบนาโยนและนาดำ ตามลำดับ ทั้งนี้ในภาพรวมวิธีการปลูกข้าวแบบนาหยอดข้าวงอกเป็นวิธีการที่พบการเปลี่ยนแปลงประชากรของเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นในระดับที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปลูกอื่น ๆ และมีแนวโน้มในการเป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการบริหารจัดการเพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่นศัตรูข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ที่สนับสนุนงบประมาณ อุปกรณ์และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ ในการทำวิจัย ขอขอบคุณนายสุรเดช ปาละวิสุทธิ์ และนางคณิตา เกิดสุข ที่สนับสนุนและให้คำแนะนำในการทำวิจัย และคุณสมศักดิ์ พรมเดช คุณศรีศักดิ์ ป้อมทอง คุณวินเกตุวงศ์ คุณอสมา เสาหงส์ และคุณน้ำเชื่อม ทองชาติ เกษตรกรตำบลบึงบัว อำเภอวชิรบารมี จังหวัดพิจิตร ที่สนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์พื้นที่นาในการทำการวิจัย ทำให้งานวิจัยประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Anuson, P., W. Chamnan and P. Rattana. 2015. Survey of insect pests in rice irrigated in Saraburi province. pp.196-207. *In*: Proceedings of 8th Seminar on Rice: Upper and Lower Northern Rice Research Centers. Rice Department, Bangkok. (in Thai)

Dale, D. 1994. Insect pests of the rice plant--their biology and ecology. pp.363-485. *In*: E.A. Heinrichs (ed.). Biology and Management of Rice Insects. Wiley, New York.

Dyck, V. A.1974. Field control of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* in the tropics. Rice Entomology Newsletter 1: 22-24.

Fernando, H.E. 1975. The brown planthopper problem in Sri Lanka. Rice Entomology Newsletter 2: 34-36.

Gurr, G.M., J. Liu, D.M.Y. Read, J.L.A. Catindig, J.A. Cheng, L.P. Lan and K.L. Heong. 2011. Parasitoids of Asian rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) pests and prospects for enhancing biological control by ecological engineering. Annals of Applied Biology 158(2): 149-176.

International Rice Research Institute (IRRI). 1972. Annual Report for 1972. International Rice Research Institute, Los Banos. 238 p.

Kuno, E. and N. Hokyo. 1970. Comparative analysis of the population dynamics of rice leafhoppers, *Nephotettix cincticeps* Uhler and *Nilaparvata lugens* Stal, with special reference to natural regulation of their numbers. Researches on Population Ecology 12(2): 154-184.

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

Mani, M. and S. Jayaraj. 1976. Biological investigations on the resurgence of the rice blue leafhopper, *Zygina maculifrons* (Motch.) Indian Journal of Experimental Biology 14: 636-637.

Mansor, M.H. and A.B. Idris. 2014. Temporal population abundance of leafhopper (Homoptera: Cicadelidae) and planthopper (Homoptera: Delphacidae) as affected by temperature, humidity and rice growth stages. Academic Journal of Entomology 7(1): 01-06.

Moldenhauer, K. and N. Slaton. 2004. Rice growth and development. pp.7-14. *In*: N.A. Slaton, L.B. Ford, J.L. Bernhardt, R.D. Cartwright, D. Gardisser, J. Gibbons, G. Huitink, B. Koen, F.N. Lee, D.M. Miller, R.J. Normam and T. Siebenmorgen (eds.). Rice Production Handbook. Division of Agriculture, University of Kansas, Lawrence, KS.

Nishida, T. 1975. Causes of brown planthopper outbreaks. Rice Entomology Newsletter 2: 38.

Norowi, H.M. 2001. Simulation of brown planthopper damage mechanism on rice. Journal of Tropical Agriculture and Food Science 29(1): 39-51.

Pathak, M.D. and V.A. Dyck. 1973. Developing an integrated method of rice insect pest control. Pest Articles & News Summaries 19(4): 534-544.

Patirupanusara, T. and P. Patirupanusara. 2012. Rice Pests and Natural Enemies in the Lower Northern and Upper Central Thailand. Bureau of Rice Research and Development, Rice Department, Bangkok. 303 p. (in Thai)

Rachappa, V., S. Yelshetty, S. Vennila, O.P. Sharma and S. Patil. 2016. Influence of climate change on occurrence of green leafhopper *Empoasca kerri* Pruthi on pigeonpea. Journal of Experimental Zoology, India 19(2): 1163-1166.

Ramya, M., J.S. Kennedy, V.G. Lakshmi, A. Lakshmanan, N. Manikandan and N.U. Sekhar. 2012. Impact of elevated temperature on major pests of rice. Climarice Technical Brief 10. Chimarice, Tami Nadu, India. 6p.

Ruay-aree, S. and R. Surakarn.1999. Rice cultivation system and forecasting the outbreak insect pests based on light trap data. Entomology and Zoology Gazette 21(2): 108-110. (in Thai)

Rubia-Sanchez, E., Y. Suzuki, K. Arimura, K. Miyamoto, M. Matsumura and T. Watanabe. 2003. Comparing *Nilaparvata lugens (*Stål*)* and *Sogatella furcifera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae) feeding effects on rice plant growth processes at the vegetative stage. Crop Protection 22(7): 967-974.

Settle, W.H., H. Ariawan, E.T. Astuti, W. Cahyana, A.L. Hakim, D. Hindayana, A.S. Lestari and Pajarningsih. 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. Ecology 77(7): 1975-1988.

Soinark, V., W. Pongprasert, S. Tanasinchayakul, W. Sorapongpisal and K. Kertsuk. 2015. Insect and spider diversity in irrigated paddy fields at Phitsanulok province. Journal of Agriculture 31(3): 281-290.

Xu, S., H. Wang, E. Wang and G. Zhao. 2013. Reproductive rate of rice brown planthopper population of super rice Yongyou 6. Advance Journal of Food Science and Technology 5(5): 539-542.

Yusof, T.N.B.T. 2018. Effects of temperature and relative humidity on growth of green leafhopper (*Nephotettix virescens* Distant). M.S. Thesis. University Putra Malaysia, Selangor. 62 p.

อัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตหอมแดงในอำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน

Optimum Rate of Fertilizer for Shallot Production in Ban Hong District, Lamphun Province

วราภรณ์ เตวา[1] เกวลิน คุณาศักดากุล[2] และ ชูชาติ สันธทรัพย์[1*]

Waraporn Tewa[1], Kaewalin Kunasakdakul[2] and Choochad Santasup[1*]

[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

[2]ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

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

(Received: 16 December 2019; Accepted: 22 June 2020)

Abstract: A study on the proper fertilizer management for the quality shallot production, Ban Hong variety was performed in the farmers' field at Ban Hong district, Lamphun province, from November 2014 to February 2015. The experiment design was a randomized complete block design (RCBD) with 4 replications and 5 fertilization treatments. The fertilizer ($N:P_2O_5:K_2O$) application treatments consisted of 1) 16:0:0 kg/rai (based on shallot's nutrient requirement and soil analysis data), 2) 23:4:35 kg/rai (based on shallot's nutrient requirement), 3) 23:20:50 kg/rai (common rate for shallot production), 4) 13.6:5:10 kg/rai (applied by the owner of experimental field) and 5) non-fertilizer application (control treatment). The results revealed that fertilizer application at the rate of 23:20:50 kg/rai (treatment 3) significantly increased growth of shallot (height and dry weight of above - ground part) in comparison to the treatment 1 and 2 at 60 DAP. At the harvest period, the shallot's fresh yield (7.89-8.09 ton/rai) obtained from fertilizer application treatments (1-4) were significantly higher than the non-fertilizer treatment (3.64 ton/rai). However, all fertilizer application treatments did not affect bulb diameter and percent of damage bulb and weight loss during 90 days-storage significantly. The bulb diameter was found in the range 32.07-35.98 mm. and the percent of damage bulb was in the range 2.57-3.30%, while the percent of weight loss was in the range of 47.70-51.20%. The results from this study suggested that fertilizer application ($N:P_2O_5:K_2O$) at the rate of 16:0:0 kg/rai was sufficient and suitable for producing good yield and bulb quality of shallot Ban Hong variety.

Keywords: Shallot Ban Hong variety, fertilizer, quality and productivity

บทคัดย่อ: การศึกษาอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตหอมแดงคุณภาพพันธุ์บ้านโฮ่ง ได้ดำเนินการทดลองในพื้นที่ปลูกหอมแดง อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2557 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2558 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบไปด้วยกรรมวิธีการใส่ปุ๋ย ($N:P_2O_5:K_2O$) ที่แตกต่างกัน 5 กรรมวิธี ได้แก่ 1) ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 16 กก./ไร่ (ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารของหอมแดง และผลวิเคราะห์ดิน) 2) ใส่ปุ๋ยอัตรา 23:4:35 กก./ไร่ (ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารของหอมแดง) 3) ใส่ปุ๋ยในอัตราที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ 23:20:50 กก./ไร่ 4) ใส่ปุ๋ยในอัตราที่เกษตรกรเจ้าของพื้นที่ปฏิบัติ 13:6:10 กก./ไร่ และ 5) ไม่ใส่ปุ๋ยเป็นกรรมวิธีควบคุม ผลการศึกษาพบว่า ที่ระยะ 60 วันหลังปลูก การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ในอัตรา 23:20:50 กก./ไร่ ทำให้หอมแดงมีการเจริญเติบโต (ความสูง และการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน) ได้ดีกว่ากรรมวิธีที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย (1-4) หอมแดงให้ผลผลิต (7.89-8.06 ตัน/ไร่) สูงกว่ากรรมวิธีควบคุมที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ย (3.64 ตัน/ไร่) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่ทำให้ขนาดของหัวหอม เปอร์เซ็นต์ของหัวหอมที่เสียหายและการสูญเสียน้ำหนักในการเก็บรักษาในโรงเก็บแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หัวหอมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัว 32.07-35.98 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นต์ของหัวหอมที่เสียหาย 2.57-3.30% และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่ 90 วัน อยู่ในช่วงร้อยละ 47.70-51.20% ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 16 กก./ไร่ เพียงพอ และเหมาะสมสำหรับการผลิตหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง ที่ให้ผลผลิตที่ดีทั้งในด้านปริมาณ และคุณภาพ

คำสำคัญ: หอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง ปุ๋ย คุณภาพและผลผลิต

คำนำ

หอมแดง (shallot) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และในประเทศไทย (Kritsadarak, 2001) ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกหอมแดงจำนวน 60,247 ไร่ (ผลผลิต 140,587 ตัน) ซึ่งเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2560 ที่มีพื้นที่การผลิตจำนวน 57,800 ไร่ (ผลผลิต 128,873 ตัน) (Department of Agriculture, 2018) สำหรับการผลิตหอมแดงในพื้นที่ภาคเหนือ แหล่งผลิตใหญ่อยู่ในจังหวัดลำพูน ซึ่งในปี พ.ศ. 2560 มีพื้นที่การผลิตจำนวน 5,605 ไร่ มีเนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิต 4,469 ไร่ ให้ผลผลิต 9,353 ตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 2,093 กก./ไร่ โดยเฉพาะพื้นที่อำเภอบ้านโฮ่ง ซึ่งเป็นแหล่งผลิตหอมแดงแหล่งใหญ่ของลำพูน มีพื้นที่เพาะปลูกหอมแดง 4,112 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิต 3,386 ไร่ ผลผลิตที่ได้ 7,354 ตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ย 2,172 กก./ไร่ (Lamphun Provincial Office, 2020) เนื่องจากพื้นที่ภาคเหนือมีสภาพอากาศเหมาะสมสำหรับการผลิตหอมแดง ทำให้ราคาหอมแดงอยู่ในเกณฑ์ดี และหอมแดงไทยมีกลิ่นและรสชาติดีจึงเป็นที่นิยมของตลาดการส่งออก เกษตรกรจึงมีแนวโน้มปรับเปลี่ยนมาปลูกหอมแดงเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะพันธุ์บ้านโฮ่ง ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกในพื้นที่ และได้รับการรับรองขึ้นทะเบียนพันธุ์ในปี พ.ศ. 2559 (Department of Agriculture, 2015) เพื่อเพิ่มผลผลิตของหอมแดงให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด เกษตรกรมีการเพิ่มพื้นที่การผลิตและใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หอมแดงฝ่อ และเน่าเสียเร็ว ในระหว่างเก็บรักษาในโรงเก็บ (Pakkatang, 2016) อีกทั้งเกษตรกรขาดการดูแลจัดการแปลงที่เหมาะสม ส่งผลให้หอมแดงมีปริมาณผลผลิตและคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร สำหรับการใส่ปุ๋ยในการผลิตหอมแดง เกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ เกษตรกรในพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์ ใส่ปุ๋ยรองพื้นด้วยปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่ ผสมกับมูลไก่แกลบในอัตรา 50 กระสอบ/ไร่ หลังปลูก 15 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 30 กก./ไร่ และหลังปลูก 25-30 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 13-13-21 อัตรา 30 กก./ไร่ เกษตรกรในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ ส่วนใหญ่นิยมใช้ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 50-100 กก./ไร่ (Phompanjai *et al*., 2015) ในขณะที่เกษตรกร ในพื้นที่อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน นิยมใช้ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่ ใส่ทันทีหลังปลูก หลังปลูก 30 วัน

ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 หรือ 25-7-7 อัตรา 50 กก./ไร่ หลังปลูก 45 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 13-13-21 หรือ 8-24-24 หรือ 13-10-21 อัตรา 50 กก./ไร่ และหลังปลูก 60 วันใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 0-0-60 หรือ13-13-21 อัตรา 50 กก./ไร่ (Kunasakdakul *et al*., 2015) ในการผลิตหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่งเกษตรกรทำการใส่ปุ๋ยแบบ ที่ปฏิบัติสืบต่อกันมาอาจไม่ได้คำนึงถึงความต้องการธาตุอาหารของหอมแดงและปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน จึงอาจทำให้เกษตรกรใส่ปุ๋ยไม่พอต่อความต้องการของหอมแดง หรืออาจใช้ปุ๋ยเกินความจำเป็น ซึ่งการศึกษาของ Tewa and Santasup (2018) พบว่า หอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่งต้องการธาตุอาหาร ไนโตรเจน 22.99 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 9.09 กก./ไร่ และโพแทสเซียม (K_2O) 28.77 กก./ไร่ แต่เกษตรกร ใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงกว่าความต้องการของหอมแดง 45.43 และ 57.54% ตามลำดับ และการศึกษาการใช้ปุ๋ยสำหรับการปลูกหอมแดงของ Phompanjai *et al*. (2015) ที่จังหวัดอุตรดิตถ์และบุรีรัมย์ ในดินที่มีอินทรียวัตถุสูงกว่า 1.5% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่า 20 มก./กก. และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่า 100 มก./กก. พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) อัตรา 15 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 5 กก./ไร่ และโพแทสเซียม (K_2O) อัตรา 5 กก./ไร่ นั้น เพียงพอต่อการผลิตหอมแดงให้ได้ผลผลิตที่ดี

จากข้อมูลการศึกษาที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่าความต้องการธาตุอาหารพืชและความอุดมสมบูรณ์ดินเป็นข้อมูลส่วนความสำคัญของการจัดการธาตุอาหารพืชอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะประเมินอัตราการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง ในพื้นที่อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน ซึ่งเป็นแหล่งผลิตหอมแดงทำสำคัญแห่งหนึ่ง ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน เพื่อให้การใช้ปุ๋ยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และลดต้นทุนการผลิต ตลอดจนลดผลกระทบจากการปนเปื้อนของปุ๋ยเคมีสู่สิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนการทดลอง การศึกษาได้ดำเนินการทดลองในพื้นที่ปลูกหอมแดงของเกษตรกรอำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน กลุ่มชุดดินที่ 33 ชุดดินกำแพงเพชร (Kp) (Land Development Department, 2010) ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2557-เดือนกุมภาพันธ์ 2558 หอมแดงที่ใช้ปลูกเป็นหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง โดยดินที่ใช้ปลูกมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.14 ค่าอินทรียวัตถุ 2.28 % ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 299.68 มก./กก. และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 342.50 มก./กก. โดยวางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ และมีกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 5 กรรมวิธีดังนี้ 1) ใส่ปุ๋ยในอัตราที่ได้ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารของหอมแดง (Tewa and Santasup, 2018) และปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน (ไนโตรเจน (N) 16 กก./ไร่ F1-16:0:0) 2) ใส่ปุ๋ยในอัตราที่ได้ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารหลักของหอมแดง (ไนโตรเจน (N) 23 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 4 กก./ไร่ และโพแทสเซียม (K_2O) 35 กก./ไร่ F2-23:4:35) 3) ใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ (ไนโตรเจน (N) 23 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 20 กก./ไร่ และโพแทสเซียม (K_2O) 50 กก./ไร่ F3-23:20:50) 4) ใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีของเกษตรกรเจ้าของแปลงปฏิบัติ (ไนโตรเจน (N) 13 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 6 กก./ไร่ และโพแทสเซียม (K_2O) 10 กก./ไร่ F4-13:6:10) และ 5) กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) (control)

การจัดการปุ๋ย ก่อนปลูกใส่ปุ๋ยหมัก (pH 8.0, OM=32 %, total N=2.3 %, P_2O_5=1.76 %, K_2O=2.07 %) อัตรา 1 ตัน/ไร่ พร้อมการเตรียมดิน สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีแปลงหอมแดง เป็นการใส่แบบหว่าน (broadcast) แบ่งการใส่ปุ๋ยออกเป็น 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ที่ระยะ 7 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยปริมาณร้อยละ 40 ของปริมาณปุ๋ยที่ใช้ทั้งหมด ครั้งที่ 2 ที่ระยะ 30 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยปริมาณร้อยละ 30 ของปริมาณปุ๋ยที่ใช้ทั้งหมด และครั้งที่ 3 ที่ระยะ 55 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยปริมาณร้อยละ 30 ของปริมาณปุ๋ยที่ใช้ทั้งหมด

การจัดการแปลง

การให้น้ำ: ให้น้ำโดยปล่อยน้ำเข้าตามร่องแปลงให้น้ำท่วมภายในแปลงปลูก ในช่วง 7-10 วันหลังปลูก ให้น้ำหอมแดง 2-3 วันครั้ง หลังจากนั้น

ให้น้ำหอมแดงทุก ๆ 7-10 วันครั้ง ทั้งนี้การให้น้ำหอมแดงสังเกตได้จากลักษณะของดิน สภาพอากาศ และความชื้นภายในแปลงการทดลอง

การป้องกันและกำจัดศัตรูพืช: การกำจัดวัชพืชก่อนปลูกพ่น โกล 2 อี ในอัตรา 32 มล./น้ำ 80 ลิตร/การพ่น 1 ไร่ จำนวน 1 ครั้ง การป้องกันเชื้อราพ่นฟังกูรานสลับกับอมิสตา 15 วันหลังปลูก ใช้ในอัตรา 120 กรัม/น้ำ 80 ลิตร/การพ่น 1 ไร่ พ่นทุก ๆ 15 วัน จำนวน 6 ครั้ง การป้องกันและกำจัดหนอนกระทู้พ่นเอ็กซอลสลับกับทาคุมิในอัตรา 40 มล./น้ำ 80 ลิตร/การพ่น 1 ไร่ ที่ระยะ 55 วัน จำนวน 1 ครั้ง

การเก็บบันทึกข้อมูล: บันทึกความสูง (วัดจากโคนต้นจนจนปลายใบที่ยาวที่สุด) ขนาดของหัว (วัดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวส่วนที่กว้างที่สุด) และการสะสมน้ำหนักแห้งของหอมแดง (หัว ใบ และราก) ที่ระยะ 20, 40 และ 60 วันหลังปลูก ที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (70 วันหลังปลูก) ทำการสุ่มเก็บผลผลิต ในพื้นที่ขนาด 1 ตร.ม. และแบ่งผลผลิตเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 บันทึกน้ำหนักผลผลิต ขนาดหัว และวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจน (Novozamsky *et al.*, 1974) ฟอสฟอรัส (Suwanwong, 2001) และโพแทสเซียม (Kalra, 1998) ในหัวหอมแดง สำหรับผลผลิตส่วนที่ 2 นำไปแขวนไว้ในโรงเรือน เพื่อเก็บรักษาไว้สำหรับทำหัวพันธุ์ บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักหอมแดงที่ลดลงในระยะเวลา 3 เดือน และบันทึกเปอร์เซ็นต์ของหัวหอมที่เสียหายในระหว่างที่เก็บรักษา

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ: วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Statistix for Window version 9

ผลการศึกษา

ผลของการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของหอมแดง

ความสูง: ผลของการใส่ปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกันต่อความสูงของหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง (Table 1) ซึ่งพบว่า ที่ระยะ 20 วันหลังปลูก การใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 1-4 และชุดควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ย ไม่ทำให้ความสูงของหอมแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หอมแดงมีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 31.70-34.06 ซม. เช่นเดียวกับที่ระยะ 40 วันหลังปลูก การใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 1-4 ไม่ทำให้ความสูงของหอมแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หอมแดงมีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 44.21-46.96 ซม. แต่ทุกกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยทำให้ความสูงของหอมแดงสูงกว่าหอมแดงที่ไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความสูงเพียง 37.90 ซม. แต่ที่ระยะ 60 วันหลังปลูก การใส่ปุ๋ยทำให้ความสูงของหอมแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 3 และ 4 ไม่ทำให้ความสูงของหอมแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยหอมแดง

Table 1. Effects of fertilizer application rates on the height of shallot at various stages of growth

Treatment	Plant height (cm)		
	20 DAP	40 DAP	60 DAP
1) F1-16:0:0	33.78	44.21 [a]	45.53 [b]
2) F2-23:4:35	34.06	45.44 [a]	46.83 [b]
3) F3-23:20:50	31.70	46.96 [a]	47.19 [a]
4) F4-13:6:10	33.68	45.79 [a]	47.45 [a]
5) Control	32.14	37.90 [b]	38.02 [c]
Mean	33.07	44.54	45.00
F-test	ns	*	*
CV (%)	4.76	4.38	1.87

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

อยู่ในช่วง 47.19-47.45 ซม. แต่ทำให้ต้นหอมแดงมีความสูงมากกว่าการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความสูงของหอมแดงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 45.53-46.83 ซม. อย่างไรก็ตามทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย ทำให้หอมแดงมีความสูงมากกว่าหอมแดงที่ปลูกโดยไม่ใส่ปุ๋ย ซึ่งมีความสูงเฉลี่ยเพียง 38.02 ซม. เท่านั้น

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัว: ผลของการใส่ปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกันต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวหอม (Table 2) ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ที่ระยะ 20 วันหลังปลูก การใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธี (1-4) ไม่ทำให้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางหอมแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางหอมแดงอยู่ในช่วง 6.14-6.52 มม. แต่ที่ระยะ 40 วันหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ทำให้หัวหอมแดง มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดที่ 15.92 มม. และมีขนาดของหัวใหญ่กว่าการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 14.78 มม. แต่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย 2 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหอมแดงในช่วง 15.2-15.70 มม. ในขณะที่ระยะ 60 วันหลังปลูก ผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกับที่ระยะ 20 วันหลังปลูก ทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย (1-4) ไม่ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหอมแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหอมแดงอยู่ในช่วง 34.10-34.80 มม. อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีทำให้หอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง มีขนาดหัวใหญ่กว่าหอมแดงที่ปลูกโดยไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทุกระยะการเจริญเติบโต โดยที่ระยะ 20, 40 และ 60 วันหลังปลูก หอมแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.49, 13.05 และ 29.87 มม. ตามลำดับ

การสะสมน้ำหนักแห้ง: ผลของการใส่ปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกันต่อน้ำหนักแห้ง (หัว ใบ ราก) (Table 3) ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ที่ระยะ 20 วันหลังปลูก การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ให้น้ำหนักแห้งของหอมแดงสูงสุดที่ 1.08 กรัม/กอ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวควบคุมที่มีน้ำหนักแห้งหอมแดง 1.05 กรัม/กอ แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีที่ 2 และกรรมวิธีที่ 4 ที่มีน้ำหนักแห้งของหอมแดง 0.93, 0.99 และ 0.93 กรัม/กอ ตามลำดับ ที่ระยะ 40 วันหลังปลูก การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 ทำให้หอมแดงสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดที่ 7.30 กรัม/ต้น ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย โดยการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 และ 4 หอมแดงมีการสะสมน้ำหนักแห้ง ในช่วง 6.38-6.54 กรัม/กอ แต่การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 หอมแดงมีการสะสมน้ำหนักแห้งเพียง 5.57 กรัม/กอ แต่ก็สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม ซึ่งหอมแดงมีการสะสมน้ำหนักแห้งเพียง 4.45 กรัม/กอ เท่านั้น ในขณะที่ระยะ 60 วันหลังปลูก ที่พบว่าการใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 3 และ 4 ทำให้หอมแดงมีการสะสมน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง 16.60-16.75 กรัม/กอ ซึ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีอื่น ๆ และชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่พบการสะสมน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง 14.30-14.91 กรัม/กอ

Table 2. Effects of fertilizer application rate on diameter of shallot bulb at various stages of growth

Treatment	Bulb diameter (mm)		
	20 DAP	40 DAP	60 DAP
1) F1-16:0:0	6.52 [a]	14.78 [b]	34.51 [a]
2) F2-23:4:35	6.47 [a]	15.70 [ab]	34.80 [a]
3) F3-23:20:50	6.23 [a]	15.92 [a]	34.20 [a]
4) F4-13:6:10	6.14 [a]	15.22 [ab]	34.10 [a]
5) Control	5.49 [b]	13.05 [c]	29.87 [b]
Mean	6.17	14.93	33.50
F-test	*	*	*
CV (%)	7.11	4.44	4.28

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) test at 5% probability level (*), DAP=day after planting

Table 3. Effects of fertilizer application rate on dry weight of shallot at various stages of growth

Treatment	Dry weight (g/clump)		
	20 DAP	40 DAP	60 DAP
1) F1-16:0:0	0.93 [cd]	5.57 [c]	14.54 [b]
2) F2-23:4:35	0.90 [d]	7.30 [a]	14.30 [b]
3) F3-23:20:50	1.08 [a]	6.54 [b]	16.75 [a]
4) F4-13:6:10	0.99 [bc]	6.38 [b]	16.60 [a]
5) Control	1.05 [ab]	4.45 [d]	14.91 [b]
Mean	0.99	6.04	15.42
F-test	*	*	*
CV (%)	4.26	6.99	4.21

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) test at 5% probability level (*), DAP=day after planting

ผลของการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อปริมาณและคุณภาพของหอมแดง

ปริมาณและคุณภาพผลผลิต ผลของการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อผลผลิตของดอกหอมแดง (Table 4) พบว่า การใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 4 ให้ผลผลิตของดอกหอมแดงสูงสุดที่ 0.069 ตัน/ไร่ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 2 และ 3 ที่มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักดอกหอมแดงอยู่ที่ 0.057 ตัน/ไร่ แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 1 ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักดอกหอมแดงต่ำสุดที่ 0.054 ตัน/ไร่ ในขณะที่ผลผลิตหอมแดง พบว่า การใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 1, 2 และ 3 ไม่ทำให้ผลผลิตหอมแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักผลผลิตหอมแดงอยู่ในช่วง 7.89-8.06 ตัน/ไร่ แต่สูงกว่าการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่มีค่าเฉลี่ยของผลผลิตหอมแดงอยู่ที่ 6.93 ตัน/ไร่ ในขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหอมแดง พบว่าที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย 1-4 ไม่ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหอมแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหอมแดงอยู่ที่ 35.14-35.82 มม. แต่มากกว่าชุดควบคุมไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยที่สุด 35.07 มม.

สำหรับความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในหัวหอมแดง พบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนและโพแทสเซียมในหัวหอมมีการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไปในทิศทางเดียวกัน การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 ทำให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน และธาตุอาหารฟอสฟอรัสในหัวหอมสูงสุดอยู่ที่ 1.52 และ 0.30% ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 และ 3 ที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจน 1.46-1.49% และธาตุอาหารฟอสฟอรัส 0.29% และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 4 มีค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจน และธาตุอาหารฟอสฟอรัสต่ำสุดที่ 1.33 และ 0.26% ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของธาตุอาหารโพแทสเซียม พบว่า การใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 2 และ 3 มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.47-1.56% ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีที่ 1 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุอาหารโพแทสเซียมอยู่ที่ 1.37 และ 1.24% ตามลำดับ (Table 4)

ผลของการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักและความเสียหายของหัวหอมแดง

หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต หอมแดงได้ถูกนำไปจัดเก็บไว้ในโรงเรือนเป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่า เปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียน้ำหนักของหอมแดง ในระหว่างการเก็บรักษาโรงเรือนที่ระยะ 30, 60 และ 90 วันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกรรมวิธีทดลอง (Table 5) โดยมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักผลผลิตหอมแดง ในช่วง 38.50-40.10%, 45.10-47.05% และ 47.70-51.20% ตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณผลผลิตที่เสียหายในระหว่างการเก็บรักษาในโรงเรือน ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่เสียหายในช่วง 2.57-3.30%

Table 4. Effects of fertilizer application rates on fresh yield, bulb diameter and nutrient concentration in bulb of shallot at harvesting time

Treatment	Fresh yield (ton/rai)		Bulb diameter	Nutrient concentration in bulb (%)		
	Flower	Bulb	(mm)	N	P	K
1) F1-16:0:0	0.054 [b]	7.93 [a]	35.82 [a]	1.46 [ab]	0.29 [ab]	1.37 [b]
2) F2-23:4:35	0.057 [ab]	8.06 [a]	35.14 [a]	1.52 [a]	0.30 [a]	1.56 [a]
3) F3-23:20:50	0.057 [ab]	7.89 [a]	35.38 [a]	1.49 [ab]	0.29 [ab]	1.47 [a]
4) F4-13:6:10	0.069 [a]	6.93 [b]	35.73 [a]	1.33 [b]	0.26 [b]	1.24 [c]
5) Control	0.038 [c]	3.64 [c]	32.07 [b]	1.32 [b]	0.25 [b]	1.23 [c]
Mean	0.055	6.89	34.75	1.42	0.27	1.37
F-test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	15.33	5.09	4.31	8.23	6.34	4.57

Means in each column followed by different letter indicate significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level, DAP=day after planting

Table 5. Effects of fertilizer application rates on weight loss and the percentage of damage cloves during storage periods

Treatment	Weight (%)			Percentage of damaged cloves (%)
	30 DAP	60 DAP	90 DAP	
1) F1-16:0:0	38.50	46.75	50.25	3.30
2) F2-23:4:35	39.90	46.35	50.50	2.57
3) F3-23:20:50	39.95	45.10	47.70	2.94
4) F4-13:6:10	38.80	47.05	50.55	2.99
5) Control	40.10	46.75	51.20	3.27
Mean	39.45	46.40	50.04	3.01
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	9.50	6.89	6.67	54.92

ns = non-significant, DAP=day after planting

วิจารณ์

จากข้อมูลการศึกษาพบว่า การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเจริญเติบโตของหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ (กรรมวิธีที่ 3) ซึ่งใส่ปุ๋ย $N:P_2O_5:K_2O$ ในอัตรา 23:20:50 กก./ไร่ ทำให้ความสูง และน้ำหนักแห้งของหอมแดงที่ระยะ 60 วันหลังปลูก สูงกว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 ที่ประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยจากความต้องการธาตุอาหารหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่งและปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน ซึ่งใส่แต่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราเพียง 16 กก./ไร่ ทั้งนี้อาจเนื่องจากหอมแดงในกรรมวิธีที่ 3 ได้รับปุ๋ยในอัตราที่สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนที่มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sainju *et al.* (2005) ได้รายงานว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชผ่านกระบวนการแบ่งเซลล์และการขยายเซลล์จึงทำให้ลำต้นและเส้นผ่านศูนย์กลางของพืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของหอมแดงเพิ่มสูงขึ้น และ Abdissa *et al.* (2011) พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมช่วยเพิ่มความสูงและจำนวนใบ

ของหอมหัวใหญ่ เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Purba (2014) พบว่า การใส่ปุ๋ย 15-15-15 ในอัตรา 48 กก./ไร่ และปุ๋ย KCl ในอัตรา 16 กก./ไร่ ทำให้ค่าเฉลี่ยความสูงของหอมแดงสูงที่สุด ในขณะที่การศึกษาของ Lasmini *et al.* (2015) พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากใบ Gliricidia ร่วมกับการใส่ปุ๋ยยูเรียในอัตรา 8 กก./ไร่ ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (SP-36) ในอัตรา 16 กก./ไร่ ปุ๋ย KCl ในอัตรา 12 กก./ไร่ และธาตุอาหารเสริมในอัตรา 16 กก./ไร่ สามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งในหัวหอมแดง 15% ผลผลิต 48% และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหอมแดง 34% ซึ่ง Jayathilake *et al*. (2003) พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยอนินทรีย์สามารถช่วยเพิ่มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางหอมแดง รวมไปถึงการเจริญเติบโตและคุณภาพของหัวหอมแดง ส่งผลให้ผลผลิตของหอมแดงเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่ทำให้ขนาดของหัวหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีทำให้ขนาดของหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่งใหญ่กว่าหอมแดงที่ปลูกโดยไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถึงแม้ว่าการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเจริญเติบโต (ความสูง และการสะสมน้ำหนักแห้ง) ของหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่งในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตสดที่ระยะเก็บเกี่ยว กลับพบว่า การใส่ปุ๋ย $N:P_2O_5:K_2O$ ตามอัตราที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ (กรรมวิธีที่ 3) ในอัตรา 23:20:50 กก./ไร่ ไม่ทำให้ผลผลิตของหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่งที่ได้สูงกว่าผลผลิตหอมแดงที่ได้จากกรรมวิธีที่ 1 ที่ใส่ปุ๋ยในอัตรา16:0:0 กก./ไร่ (อัตราการใช้ปุ๋ยที่ประเมินจากจากความต้องการธาตุอาหารของหอมแดงและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน) และกรรมวิธีที่ 2 ในอัตรา 23:4:35 กก./ไร่ (ประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยจากความต้องการธาตุอาหารของหอมแดง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งได้ผลผลิตหอมสดที่ได้อยู่ในช่วง 7.90-8.06 ตัน/ไร่ ข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวก็เพียงพอต่อการผลิตหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Biru (2015) ได้ทำการทดลองปลูกหอมแดงพันธุ์พืชเมืองในเมือง Jimma ประเทศเอธิโอเปีย ในปี 2015 โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0, 16 และ 24 กก./ไร่ พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 16 กก./ไร่ ทำให้หอมแดงมีน้ำหนักหัวสูงที่สุด 4.83 ตัน/ไร่ ซึ่งผลผลิตที่ได้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0 และ 24 กก./ไร่ และการศึกษาของ Tekeste *et al*. (2018) ที่ศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อผลผลิตและองค์ประกอบของหัวหอม พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 16.56 กก./ไร่ และปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 22.08 กก./ไร่ ทำให้ผลผลิตของหัวหอมสูงที่สุด และเมื่อนำไปประเมินความต้องการธาตุอาหารของหัวหอมพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 16.56 กก./ไร่ และปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 14.72 กก./ไร่ เพียงพอต่อความต้องการของหัวหอม และทำให้หัวหอมมีผลผลิตสูงเช่นกัน แต่การศึกษาของ Nigatu (2016) พบว่า การจัดการปุ๋ย $N:P_2O_5:S$ ในอัตราที่แตกต่างกันไม่ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของหัวหอม (*Allium cep*a L.) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ย $N:P_2O_5:S$ ในอัตรา 21.84:10.30:1.89 กก./ไร่ ให้น้ำหนักของผลผลิตและน้ำหนักแห้งของหัวหอมสูงที่สุด สำหรับความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในหัวหอมพันธุ์บ้านโฮ่ง พบว่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.33-1.52% ความเข้มข้นของธาตุอาหารฟอสฟอรัสเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.26-0.30% และความเข้มข้นของธาตุอาหารโพแทสเซียมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.24-1.56% ซึ่ง Jones (1991) ได้รายงานว่า ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เหมาะสมในหัวหอมแดงควรอยู่ในช่วง 2.90-3.50%, 0.26-0.40% และ 1.80-2.80% ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจนในหัวหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่งนั้นต่ำกว่าค่าที่ได้รายงานไว้ ในขณะที่ความเข้มข้นของธาตุอาหารฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมนั้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เนื่องจากในดินมีปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของหอมแดง

จากผลของการศึกษาที่พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงชนิดเดียวให้กับหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่งในอัตรา 16 กก./ไร่ ให้ผลผลิตสดไม่แตกต่างจาก

การใส่ปุ๋ย $N:P_2O_5:K_2O$ ในอัตราที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ (23:20:50 กก./ไร่) แสดงให้เห็นว่า 1) ไนโตรเจนในอัตรา 16 กก./ไร่ นั้นเพียงพอต่อความต้องการของหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง 2) การปลูกหอมแดงในดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (299.68 มก./กก.) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (342.50 มก./กก.) ในระดับสูงมาก คิดเป็นปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 93.5 กก./ไร่ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 106.9 กก./ไร่ หอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง จึงไม่ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม หรือกล่าวได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง ซึ่ง Sopha *et al.* (2015) รายงานว่าหอมแดงต้องการธาตุอาหารไนโตรเจน 9.60 กก./ไร่, ฟอสฟอรัส 19.36 กก./ไร่ และโพแทสเซียม 27.20 กก./ไร่ ในขณะที่ Tewa and Santasup (2018) พบว่า หอมแดงพันธ์บ้านโฮ่ง ต้องการธาตุอาหารไนโตรเจน 16.76-22.99 กก./ไร่, ฟอสฟอรัส 6.21-9.09 กก./ไร่ และโพแทสเซียม 21.44-28.07 กก./ไร่ ซึ่งโดยทั่วไปดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในระดับ 45 มก./กก. และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับ 120 มก./กก. มีปริมาณของธาตุอาหารทั้งสองเพียงพอต่อความต้องการของพืชโดยทั่วไป (Land Development Department, 2015) ซึ่งในระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารทั้งสองในดินดังกล่าว Department of Agriculture (2005) ได้แนะนำให้ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (P_2O_5) และใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (K_2O) ในอัตราค่อนข้างต่ำ เพียง 5 กก./ไร่ เท่านั้น

หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต ผลผลิตบางส่วนถูกจำหน่ายในรูปผลผลิตสดหน้าแปลง แต่บางส่วนถูกนำไปเก็บรักษาไว้เพื่อจำหน่ายเป็นหัวพันธุ์สำหรับผลิตหอมแดงในฤดูการผลิตถัดไป โดยทั่วไปการเก็บรักษาไว้ประมาณ 90 วันหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการนำไปปลูกเป็นหัวพันธุ์หอมแดง หอมแดงจะมีคุณภาพดี เมื่อนำไปปลูกอัตราการงอกของแดงอยู่ในอัตราที่สูง เนื่องจากพ้นจากระยะการพักตัวมาแล้วเป็นระยะ 1-2 เดือน ระยะการพักตัวของหอมแดงอยู่ที่ระยะ 2 เดือนแต่ไม่เกิน 6 เดือน เนื่องจากหอมแดงเกิดการงอกเป็นต้นอ่อนก่อนนำไปปลูก ซึ่งความชื้นในโรงเรือนมีผลต่อการกระตุ้นการงอกของหัวพันธุ์หอมแดง (Suwanwong, 2001) Chokpachuen *et al.* (2013) ก็พบว่า หอมแดงหลังการเก็บเกี่ยวที่ระยะ 90 วัน หอมแดงมีคุณภาพที่ดี มีเปอร์เซ็นต์การฝ่อ การหลุดร่วง และการสูญเสียของน้ำหนักหอมแดงต่ำ สามารถนำมาจำหน่ายเป็นหัวพันธุ์ได้ อีกทั้งอัตราการงอกที่ระยะ 90 วัน มีอัตราการงอกอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ลำต้นแข็งแรงเหมาะที่ใช้เป็นหัวพันธุ์หอมแดงต่อไป และผลการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของหอมแดง และความเสียหายของหัวหอมแดงในระหว่างการเก็บรักษาไว้ในโรงเรือนที่ 90 วัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้อมูลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราระหว่าง 13-23 กก./ไร่ นั้นเหมาะสมสำหรับการผลิตหอมแดงเพื่อใช้เป็นหัวพันธุ์ ไม่ทำให้หอมแดงเน่าเสียหรือฝ่อมากกว่าปกติ ในระหว่างที่เก็บรักษาในโรงเรือน

สรุป

การศึกษาอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง ในอำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) 16 กก./ไร่ ซึ่งเป็นอัตราที่ได้ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารของหอมแดงและข้อมูลการวิเคราะห์ดิน และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ในอัตรา 23 4 และ 35 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งเป็นอัตราที่ได้ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารของหอมแดง เป็นอัตราที่เหมาะสมสำหรับการผลผลิตหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง ซึ่งให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ (ไนโตรเจน (N) 23 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 20 กก./ไร่ และโพแทสเซียม (K_2O) 50 กก./ไร่) ผลผลิตหอมแดงมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.89-8.06 ตัน/ไร่ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ในดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณสูง การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ในอัตรา 16 กก./ไร่ นั้นเพียงพอ

สำหรับการผลิตหอมแดงพันธุ์บ้านโฮ่ง หอมแดงที่ผลิตได้มีคุณภาพและปริมาณตามความต้องการ นอกจากนี้การศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าอัตราการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมโดยประเมินจากความต้องการธาตุอาหารของพืชและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยตลอดจนลดต้นทุนการผลิตที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยมากเกินความจำเป็น

กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณ โครงการการเสริมสร้างศักยภาพและขีดความสามารถในการแข่งขันด้านการตลาดของสินค้าหัวพันธุ์กระเทียมไทย หอมแดงไทย และเมล็ดพันธุ์หอมหัวใหญ่ไทยปลอดโรค ภายใต้ความตกลงการเปิดเสรีทางการค้า กระทรวงพาณิชย์ ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และพื้นที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Abdissa, Y., T. Tekalign and L.M. Pant. 2011. Growth, bulb yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) as influenced by nitrogen and phosphorus fertilization on vertisol I. growth attributes, biomass production and bulb yield. African Journal of Agricultural Research 6(14): 3252-3258.

Biru, F.N. 2015. Effect of spacing and nitrogen fertilizer on the yield component of shallot (*Allium ascalonium* L.). Journal of Agronomy 14(4): 220-226.

Chokpachuen, J., R. Siriyan, S. Ketsakul and J. Austin. 2013. Study of physical, quality and storage life of shallot in various areas. Research Project Report. Department of Agriculture, Bangkok. 14 p. (in Thai)

Department of Agriculture. 2005. Fertilizer Application on Economic Crops. Department of Agriculture, Bangkok. 121 p. (in Thai)

Department of Agriculture. 2015. Ban Hong variety shallot. (Online). Available: http://www.doa.go.th/pvp/wp-content/uploads/2019/11/AnnoDOA_Public106.pdf (February 17, 2020). (in Thai)

Jayatilake, P.K.S., I.P. Reddy, D. Srihari, K.R. Reddy and G. Neeraja. 2003. Integrated nutrient management in onion (*Allium cepa* L.). Tropical Agricultural Research 15: 1-9.

Jones, J.B. 1991. Plant Nutrition Manual. CRC Press, Boca Raton. 177 p.

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

Kritsadarak, W. 2001. Growing Vegetables. Kasetsarn Press, Bangkok. 220 p. (in Thai)

Kunasakdakul. K., J. Kitchaicharoen, J. Kulsarin, J. Kumchai, C. Santasup, P. Sruamsiri, 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 seed of onion under free trade area agreement. Research report. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 145 p.

Lamphun Provincial Office. 2020. Lamphun province development plan (2018-2022). (Online). Available: http://www.lamphun.go.th/uploads/19/2019-06/50c6c643fb33f87c234828f1e71608cf.pdf (February 17, 20209). (in Thai)

Land Development Department. 2010. Soil group. (Online). Available: http://oss101.ldd.go.th/thaisoils_museum/62_soilgroup/sgr_upland_us/sgr_33.htm (June 11, 2020). (in Thai)

Land Development Department. 2015. Land Development Manual for Volunteer Soil Doctor and Farmer. Land Development Department, Bangkok. 270 p. (in Thai)

Lasmini, S.A., Z. Kusuma, M. Santoso and A.L. Abadi. 2015. Application of organic and inorganic fertilizer improving the quantity and quality of shallot yield on dry land. International Journal of Scientific and Technology Research 4(4): 243-246.

Nigatu, M. 2016. Assessment of onion production practices and effects N: P_2O_5: S fertilizer rates on yield and yield components of onion (*Allium cepa* L.) under irrigated farming system in Dembiya district, Amhara region, Ethiopia. M.Sc. Thesis. Bahir Dar University, Bahir Dar. 71 p.

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

Pakkatang, W. 2016. Shallot. (Online). Available: http://www.agriman.doae.go.th/home/news/year%202017/021_allium.pdf (September 11, 2019). (in Thai)

Phompanjai, P. 2015. Participatory production technologies of shallot in the lower northern and lower northeast. Research Report. Department of Agriculture, Bangkok. 28 p. (in Thai)

Purba, R. 2014. Applications of NPK phonska and KCl fertilizer for the growth and yield of shallots (*Allium ascalonicum*) in Serang, Banten. International Journal of Applied Science and Technology 4(3):197-203.

Sainju, U.M., W.F. Whitehead and B.P. Singh. 2005. Carbon accumulation in cotton, sorghum, and underlying soil as influenced by tillage, cover crops, and nitrogen fertilization. Plant and Soil 273: 219-234.

Siwasin, N. 1984. Laboratory Manuals: Plant and Soil Analysis. Department of Soil Sciences and Conservation, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 138 p. (in Thai)

Sopha, G.A., R. Rosliani, R.S. Basuki, L. Liferdi and M.P. Yufdy. 2015. Correlation of plant nutrients uptake with shallot production in alluvial soils. Advances in Agriculture & Botanics 7(2): 127-137

Srisombat, N., P. Phompanjai, N. Jansong and B. Sankan. 2014. Technology development on quality shallot. Khon Kaen Agriculture Journal 42(Suppl. 2): 164-168. (in Thai)

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

Tekeste, N., N. Dechassa, K. Woldetsadik, L. Dessalegne and A. Takele. 2018. Influence of nitrogen and phosphorus application on bulb yield and yield components of onion (*Allium cepa* L.). The Open Agriculture Journal 12(1): 194-206.

Tewa, W. and C. Santasup. 2018. Nutrient requirements and fertilizer use efficiency of shallot (var. Ban Hong) in Ban Hong district, Lamphun province. pp. 461-466. *In*: Proceedings of the 17th National Horticultural Congress, Chiang Mai Grandview Hotel and Convention Center, Chiang Mai. (in Thai)

ผลของสารสกัดจากพืชบางชนิดต่อการเติบโตของเห็ดถั่งเช่าหิมะ

Effects of Some Plant Extracts on Growth of Snowflake Cordyceps

ปรียา มะโนรัตน์[1] จิราพร กุลสาริน[1*] ไสว บูรณพานิชพันธุ์[1] และ ธัญญา ทะพิงค์แก[2]

Preeya Manorat[1], Jiraporn Kulsarin[1*], Sawai Buranapanichpan[1] and Tanya Tapingkae[2]

ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

[2]ภาควิชาเทคโนโลยีและพัฒนาการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50300

[2]Department of Technology and Development in Agriculture, Faculty of Agricultural Technology,

Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50300

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

(Received: 18 March 2020; Accepted: 8 June 2020)

Abstract: Silkworm (*Bombyx mori*) is an economically important insect providing more income to farmers. Silkworm pupae also contain proteins and other essential nutrients. Silkworm pupae were used as substrate for cultivating cordyceps which has medicinal properties and benefits in cosmeceutical medicine. From the report, the use of plant hormone such as auxin group can promote the growth of mushroom stalk. Thus, this study aimed to investigate the effectiveness of some plant extracts and hormones on the growth of snowflake cordyceps (*Cordyceps tenuipes*) by spraying aqueous extract of bean sprouts, aqueous extract of baby corn and mushroom hormone. Each plant extract and hormone at the amount of 0.5 ml were sprayed on fruiting bodies of snowflake cordyceps cultivated on Khao Dawk Mali 105 rice mixed with silkworm pupae as substrate. The result indicated that aqueous extract of bean sprouts spraying on the cordyceps in day 1, day 4 and day 7 at total amount of 1.5 ml/bottle was the most suitable for promoting the growth of cordyceps. After application, the average height, fresh weight, dry weight and adenosine content of fruiting body were 2.28 cm, 17.23 g/bottle, 1.90 g/bottle and 49.22 mg/100 g, respectively.

Keywords: Snowflake cordyceps, *Cordyceps tenuipes,* plant extract, silkworm pupa

บทคัดย่อ: ไหม (*Bombyx mori*) เป็นแมลงสำคัญทางเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกร ดักแด้ไหมมีส่วนประกอบของโปรตีน และสารอาหารที่มีประโยชน์หลายชนิด สามารถใช้เป็นวัสดุเพาะเลี้ยงเห็ดถั่งเช่าให้สรรพคุณเป็นยาสมุนไพร และมีประโยชน์ทางเวชสำอางได้ และพบว่าการใช้ฮอร์โมนพืชในกลุ่มของออกซิน มีส่วนช่วยในการสร้างก้านดอกเห็ดให้เติบโตได้ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมีเป้าประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้สารสกัดจากพืชต่อการเติบโตของเห็ดถั่งเช่าหิมะ (*Cordyceps tenuipes*) โดยทำการพ่นสารสกัดจากพืช ได้แก่ ถั่วงอก ข้าวโพดฝักอ่อน และ ฮอร์โมนเห็ดบนก้านดอกเห็ดถั่งเช่าหิมะเพาะเลี้ยงบนวัสดุเพาะข้าวขาวหอมมะลิ 105 ผสมดักแด้ไหม โดยพ่น 0.5 มิลลิลิตรต่อครั้ง ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน พบว่า การพ่นสารสกัดถั่วงอก ในวันที่ 1, 4 และ 7 ใช้ปริมาณรวมทั้งหมด 1.5 มิลลิลิตรต่อขวดเพาะ เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการเร่งการเติบโตให้กับเห็ดถั่งเช่าหิมะ เมื่อทำการพ่นแล้วให้ความสูงเฉลี่ยที่ 2.28 เซนติเมตร มีน้ำหนักก้านดอกเห็ดสดและแห้ง เท่ากับ 17.23 กรัมต่อขวดเพาะ และ 1.90 กรัมต่อขวดเพาะ นอกจากนี้ยังให้ปริมาณสาร adenosine ที่ 49.22 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

คำสำคัญ: เห็ดถั่งเช่าหิมะ *Cordyceps tenuipes* สารสกัดจากพืช ดักแด้ไหม

คำนำ

เห็ดถั่งเช่าหิมะ (snowflake cordyceps) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cordyceps tenuipes* (Peck) อยู่ในวงศ์ Cordycipitaceae (Kepler *et al*., 2017) มีการค้นพบเห็ดถั่งเช่าแล้วมากกว่า 700 ชนิด ในอดีตชาวจีน เกาหลี และทิเบต นำถั่งเช่ามาทำเป็นยาอายุวัฒนะ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยทางด้านเภสัชวิทยา พบว่า เห็ดถั่งเช่าประกอบด้วยสารสำคัญหลายชนิด ได้แก่ โพลีแซคคาไรด์ ช่วยต้านอนุมูลอิสระ คอร์ไดเซปิน (cordycepin) มีฤทธิ์บำรุงไต กรดคอร์ไดเซปิก (cordycepic acid) ช่วยเพิ่มเมแทบอลิซึมของร่างกาย อะดีโนซีน (adenosine) ช่วยต้านการแข็งตัวของเลือด (Tapingkae, 2012)

ไหมเป็นแมลงกลุ่มผีเสื้อที่อยู่ในวงศ์ Bombycidae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Bombyx mori* L. (Konala *et al*., 2013) ไหมเป็นผีเสื้อกลางคืน ลักษณะตัวสีครีม เมื่อกางปีกออกมีความยาวประมาณ 2 นิ้ว ตัวอ้วน ตัวเต็มวัยไม่กินอาหาร อายุสั้นเพียง 2-3 วัน วางไข่ประมาณ 300-500 ฟอง เมื่อตัวหนอนฟักออกมาตัวหนอนกินใบหม่อนเป็นอาหารจนหมดอายุ 35-40 วัน จึงเข้าดักแด้ ซึ่งเป็นระยะที่ได้รับความนิยมในการรับประทาน (Wongsiri, 2012) จากการวิจัยของ Wattanathorn and Muchimapura (2012) พบว่า ดักแด้ไหมสามารถเพิ่มการเรียนรู้และความจำของมนุษย์ได้ นอกจากนี้สามารถป้องกันภาวะความจำบกพร่องที่พบในโรคสมองเสื่อม หรืออัลไซม์เมอร์ (Alzheimer's disease) ซึ่งคุณค่าทางอาหารของดักแด้ไหม มีโปรตีนสูงถึง 60-62% และไขมัน 15-18% นอกจากนี้ ไม่พบปัญหาเรื่องสารพิษตกค้าง และสามารถนำดักแด้ไหมมาบริโภคได้ทุกสายพันธุ์ (Liengpornpan, 2007) ในประเทศจีนนิยมใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเลี้ยงไหม หนอนไหม และดักแด้ไหมมาเป็นส่วนผสมของอาหารเลี้ยงเชื้อรา Cordyceps หรือที่รู้จักกันดีในชื่อของ ถั่งเช่า (Russell and Paterson, 2008) จากการวิจัยของ Ji *et al*. (2011) ได้ทำการผสมผงดักแด้ไหมกับข้าว เพื่อเป็นส่วนประกอบหลักในการทำเป็นวัสดุเพาะเชื้อเห็ดถั่งเช่าหิมะ และทำให้เชื้อเห็ดถั่งเช่าหิมะสามารถขยายจำนวนได้ดีขึ้น ในปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำสารฮอร์โมนพืชมาใช้กับการเพาะเห็ดถั่งเช่า จากการศึกษาของ Wen *et al*. (2014) พบว่าเห็ดถั่งเช่าสีทองสามารถใช้ฮอร์โมนพืช nephthyl acetic acid (NAA) และ indole butyric acid (IBA) ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชในกลุ่มออกซิน ทำให้ได้ผลผลิตในส่วนของก้านดอกเห็ดมากขึ้น และได้สารออกฤทธิ์สำคัญที่พบบนก้านดอกเห็ด ได้แก่ คอร์ไดเซปิน ที่มีปริมาณสูงมากกว่าเดิม ในขณะนี้ยังไม่พบรายงานว่า ฮอร์โมนพืชเหล่านี้ส่งผลเสียต่อเห็ด หรือมีสารพิษตกค้างบนเห็ดแต่อย่างใด นอกจากนี้ยังพบว่าในพืชบางชนิดสามารถสังเคราะห์สาร indole-3-acetic acid (IAA) หรือออกซิน ได้เอง เช่น ข้าวโอ๊ต ยาสูบ มะเขือเทศ ทานตะวัน และข้าวบาร์เลย์ โดยสังเคราะห์ได้ที่ใบอ่อน หรือจุดกำเนิดของใบและเมล็ดที่กำลังเจริญเติบโต

ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่มีอายุน้อย จะพบออกซินในปริมาณมากที่สุด (Jarassamrit, 1994) ซึ่งสามารถนำมาสกัดและนำไปศึกษา ผลของสารสกัดจากพืชบางชนิดต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าหิมะ โดยข้อมูลเหล่านี้จะช่วยเป็นแนวทางในการเพาะเห็ดถั่งเช่าหิมะให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาปริมาณและการใช้สารสกัดจากพืชบางชนิดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าหิมะ

ทำการเพาะเลี้ยง *C. tenuipes* บน potato dextrose agar (PDA) จากนั้นนำมาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 5 x 5 มิลลิเมตร ใช้เข็มเขี่ยเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้วจิ้มชิ้นวุ้นใส่ลงไปในอาหารเหลว Sabouraud dextrose broth (SDB) ผสมดักแด้ไหม ประมาณ 6 ชิ้น ต่อ 150 มิลลิลิตร นำไปเขย่าในที่มืดที่อุณหภูมิ 18-22 องศาเซลเซียส (Luerdara *et al.*, 2016) เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ เพาะเลี้ยงบนวัสดุเพาะที่ทำจาก ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับดักแด้ไหมที่ต้มสุกในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 ทำการใส่เชื้อราเห็ดถั่งเช่าหิมะที่ได้จากการเพิ่มปริมาณในอาหารเหลว SDB ผสมดักแด้ไหม ปริมาณ ขวดละ 4 มิลลิลิตร นำวัสดุเพาะที่ได้เก็บไว้ในตู้มืดที่อุณหภูมิประมาณ 18-22 องศาเซลเซียส รอให้เส้นใยของเชื้อราเจริญคลุมทั่ววัสดุเพาะ

ทำการเตรียมสารสกัดจากพืชโดย นำถั่วงอกและ ข้าวโพดฝักอ่อน อย่างละ 100 กรัม มาปั่นคั้นน้ำและกรองกาก ซึ่งหลังจากกรองกากออกแล้ว ได้สารสกัดถั่วงอก 40 มิลลิลิตร และสารสกัดข้าวโพดฝักอ่อน 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ต้มด้วยไฟอ่อนเป็น เวลา 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาพ่นบนวัสดุเพาะหลังจากเส้นใยของเชื้อรา *C. tenuipes* เจริญคลุมทั่ววัสดุเพาะและเริ่มสร้างก้านดอกเห็ดแล้ว ทำการเปรียบเทียบกับฮอร์โมนเห็ด

ทำการวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทดสอบปริมาณและการใช้สารสกัดจากถั่วงอกและข้าวโพดอ่อนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าหิมะ ทำการพ่นสารสกัดจากพืชและฮอร์โมนเห็ด โดยพ่นลงบนวัสดุเพาะในปริมาณครั้งละ 0.5 มิลลิลิตร ในความถี่ของระยะเวลาที่แตกต่างกัน โดยทำการพ่นในวันที่ 1, พ่นวันที่ 1 และ 2, พ่นวันที่ 1 และ 3, พ่นวันที่ 1 และ 4, พ่นวันที่ 1 และ 5, พ่นวันที่ 1 และ 6, พ่นวันที่ 1 และ 7, พ่นวันที่ 1 และ 8, พ่นวันที่ 1, 4, 7, พ่นวันที่ 1, 5, 9 และ พ่นวันที่ 1, 3, 5, 7, 9 ทำการเพาะเลี้ยงในตู้มืด สังเกตผลการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดถั่งเช่าหิมะ บันทึกลักษณะทางสัณฐานวิทยา ความสูงเฉลี่ยของเห็ดถั่งเช่าหิมะ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์สำคัญของเห็ดถั่งเช่าหิมะบนก้านดอกเห็ดและบนวัสดุเพาะ

ทำการวิเคราะห์สาร adenosine ในเห็ดถั่งเช่าหิมะ โดยสกัดสารจากเห็ดถั่งเช่าหิมะบดละเอียด 1 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และ methanol อย่างละ 5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จากนั้นกรองเฉพาะส่วนที่เป็นสารสกัดใส ไปวิเคราะห์สาร adenosine ด้วยเครื่อง high-performance liquid chromatography (HPLC) (Huang *et al.*, 2009) นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของปริมาณและการใช้สารสกัดจากพืชบางชนิดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าหิมะ

จากการทดสอบความถี่ในการพ่นสารสกัดจากถั่วงอก พบว่า การพ่นสารสกัดถั่วงอกวันที่ 1, 4, 7 ให้ผลที่ดีที่สุด โดยให้ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 2.38 เซนติเมตร น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 17.23 และ 1.90 กรัมต่อขวดเพาะ รองลงมาคือการพ่นสารสกัดถั่วงอกวันที่ 1, 5, 9 โดยให้ความสูงเฉลี่ย 2.03 เซนติเมตร ให้น้ำหนักก้านสดและแห้งคือ 15.91 และ 1.77 กรัมต่อขวดเพาะ ซึ่งทั้ง 2 กรรมวิธี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) จากการทดสอบพ่นฮอร์โมนการเจริญเติบโตลงบนเห็ดถั่งเช่าหิมะด้วยสารสกัดข้าวโพดฝักอ่อน การพ่นสารสกัดข้าวโพดฝักอ่อน ในวันที่วันที่ 1, 4, 7 ให้ผลที่ดีที่สุดโดยให้ความสูงเฉลี่ยที่ 2.28 เซนติเมตร ให้น้ำหนักสดและแห้งที่ 12.42 และ 1.83 กรัมต่อขวดเพาะ รองลงมาคือการพ่นสารสกัดข้าวโพดฝักอ่อนในวันที่ 1 และ 4 โดยให้

ความสูงเฉลี่ย 1.85 เซนติเมตร ให้น้ำหนักสดและแห้งที่ 12.35 และ 1.76 กรัมต่อขวดเพาะ ซึ่งทั้ง 2 กรรมวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) และเมื่อพิจารณาการพ่นฮอร์โมนเห็ด ลงบนเห็ดถั่งเช่าหิมะ การพ่นในวันที่วันที่ 1, 4, 7 ให้ผลที่ดีที่สุดกว่าทุกกรรมวิธี โดยให้ความสูงเฉลี่ยที่ 2.58 เซนติเมตร ให้น้ำหนักก้านสดและแห้งเฉลี่ยที่ 19.91 และ 2.20 กรัมต่อขวดเพาะ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับทุกกรรมวิธี (Table 1) จากการทดลองพบว่าการพ่นสารสกัดจากพืชมีผลต่อการสร้างก้านดอกเห็ดของเห็ดถั่งเช่าหิมะ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramachela and Sihlagu (2016) ได้ทำการทดสอบพ่นฮอร์โมนพืชกลุ่มออกซินกับเห็ดนางรม ทำให้ทราบว่าการสร้างเส้นใยและการสร้างดอกเห็ดของเห็ดนางรม เร็วกว่าการใช้ฮอร์โมนพืชจากกลุ่มอื่นและการไม่ใช้ฮอร์โมนพืช โดยการใช้ฮอร์โมนพืชในกลุ่มออกซิน ทำให้เชื้อเห็ดนางรมเดินเส้นใยได้เร็วที่สุดที่ 38% รองลงมาคือ จิบเบอเรลลินที่ 29% ตามด้วย ไซโตไคนิน และกรรมวิธีที่ไม่ใช้ฮอร์โมนพืช โดยเส้นใยของเห็ดนางรมเจริญให้ค่าเท่ากันที่ 20%

จากนั้นนำข้อมูลจากตารางที่ 1 มาทำการเปรียบเทียบสารสกัดถั่วงอก สารสกัดข้าวโพดฝักอ่อนและฮอร์โมนเห็ดอีกครั้ง เพื่อหาความถี่ในการพ่นที่เหมาะสม โดยพิจารณาความสูงเฉลี่ย น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ย จึงได้คัดเลือก กรรมวิธีที่ให้ผลดีที่สุด 3 กรรมวิธีคือ การพ่นวันที่ 1, 4, 7 ซึ่งให้ผลที่ดีที่สุดจากการพ่นสารสกัดจากถั่วงอก สารสกัดข้าวโพดฝักอ่อน และฮอร์โมนเห็ด การพ่นในวันที่ 1, 5, 9 เป็นผลที่ดีจากการพ่นสารสกัดถั่วงอก และคัดเลือกการพ่นวันที่ 1 และ 4 ซึ่งเป็นผลที่ดีจากกรรมวิธีพ่นสารสกัดข้าวโพดฝักอ่อน พบว่าการพ่นฮอร์โมน ในวันที่ 1, 4, 7 ให้ผลดีที่สุด โดยฮอร์โมนเห็ด ให้ความสูงเฉลี่ยมากที่สุดที่ 2.58 เซนติเมตร รองลงมาคือ สารสกัดข้าวโพดฝักอ่อนและสารสกัดถั่วงอก โดยมีความสูง 2.38 และ 2.28 เซนติเมตร ตามด้วยฮอร์โมนเห็ดและสารสกัดถั่วงอก พ่นวันที่ 1, 5, 9 มีความสูงเฉลี่ย 2.23 และ 1.98 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาน้ำหนักสดเฉลี่ยของก้านดอกเห็ด พบว่า การพ่นฮอร์โมนเห็ดโดยพ่นวันที่ 1, 4, 7 ให้น้ำหนักสดเฉลี่ยมากที่สุดที่ 19.91 กรัมต่อขวดเพาะ รองลงมาคือ การพ่นสารสกัดถั่วงอก

Table 1. Average of the height and the fresh and dry weight of *Cordyceps tenuipes* fruiting body after application of the extracts of bean sprouts and baby corn compared to commercial mushroom hormone

Spraying frequency	Fruiting body								
	Bean sprouts			Baby corn			Mushroom hormone		
	Average height (cm)	Average fresh weight (g/bottle)	Average dry weight (g/bottle)	Average height (cm)	Average fresh weight (g/bottle)	Average dry weight (g/bottle)	Average height (cm)	Average fresh weight (g/bottle)	Average dry weight (g/bottle)
Day 1	1.34 $^{e\,1}$	7.70 ^{d}	1.64 ^{bc}	0.78 ^{e}	9.81 ^{bcd}	0.96 ^{e}	1.65 ^{bcd}	9.43 ^{d}	1.49 ^{cde}
Day 1-2	2.00 ^{abcd}	14.30 ^{b}	1.67 ^{bc}	1.98 ^{ab}	11.24 ^{ab}	1.36 ^{bc}	2.00 ^{abc}	9.66 ^{cd}	1.30 ^{de}
Day 1-3	1.24 ^{e}	11.95 ^{c}	1.60 ^{c}	1.63 ^{bcd}	9.20 ^{cde}	1.39 ^{b}	1.93 ^{bc}	8.75 ^{d}	1.25 ^{e}
Day 1-4	1.80 ^{bcde}	14.33 ^{b}	1.18 ^{f}	1.85 ^{ab}	12.35 ^{a}	1.76 ^{a}	1.63 ^{bcd}	13.13 ^{b}	1.61 ^{bcd}
Day 1-5	2.10 ^{ab}	12.00 ^{c}	1.63 ^{bc}	1.33 ^{cd}	8.58 ^{cde}	1.25 ^{cd}	0.88 ^{e}	6.83 ^{e}	1.74 ^{bc}
Day 1-6	1.95 ^{abcd}	4.66 ^{e}	0.83 ^{g}	1.85 ^{ab}	8.42 ^{de}	1.43 ^{b}	1.43 ^{cde}	6.46 ^{e}	0.83 ^{f}
Day 1-7	1.50 ^{cde}	11.16 ^{c}	1.43 ^{d}	1.50 ^{bcd}	6.31 ^{f}	1.21 ^{d}	1.48 ^{cde}	6.82 ^{e}	1.36 ^{de}
Day 1-8	1.45 ^{de}	7.45 ^{d}	0.83 ^{g}	1.20 ^{de}	9.80 ^{bcd}	1.25 ^{cd}	1.10 ^{de}	10.13 ^{cd}	1.52 ^{bcde}
Day 1,4,7	2.38 ^{a}	17.23 ^{a}	1.90 ^{a}	2.28 ^{a}	12.42 ^{a}	1.83 ^{a}	2.58 ^{a}	19.91 ^{a}	2.20 ^{a}
Day 1,5,9	2.03 ^{abc}	15.91 ^{ab}	1.77 ^{ab}	1.98 ^{ab}	10.21 ^{bc}	1.44 ^{b}	2.23 ^{ab}	13.23 ^{b}	1.84 ^{b}
Day 1,3,5,7,9	1.63 ^{bcde}	8.47 ^{d}	1.24 ^{ef}	1.65 ^{bcd}	8.14 ^{e}	1.25 ^{cd}	1.50 ^{cde}	9.72 ^{cd}	1.53 ^{bcde}
Control	1.78 ^{bcde}	11.27 ^{c}	1.37 ^{de}	1.78 ^{bc}	8.62 ^{cde}	0.68 ^{f}	1.78 ^{bc}	11.23 ^{c}	1.39 ^{de}

[1]Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at $P \geq 0.05$

มีน้ำหนักสดเฉลี่ยก้านดอกเห็ดที่ 17.23 กรัมต่อขวดเพาะ ในส่วนของน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของก้านดอกเห็ด พบว่า การพ่นในวันที่ 1, 4, 7 ให้ผลดีที่สุดเมื่อพ่นด้วยฮอร์โมนเห็ด ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยมากที่สุดที่ 2.20 กรัมต่อขวดเพาะ รองลงมาคือ สารสกัดถั่วงอกให้ผลที่ 1.90 กรัมต่อขวดเพาะ สารสกัดข้าวโพดฝักอ่อน 1.83 กรัมต่อขวด ตามด้วย สารสกัดถั่วงอกพ่นวันที่ 1, 5, 9 ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ย ที่ 1.77 กรัมต่อขวดเพาะ ดังนั้นจึงได้คัดเลือก สารสกัด จากพืชและฮอร์โมนเห็ดทั้ง 3 ชนิด พ่นวันที่ 1, 4, 7 และ คัดเลือก สารสกัดถั่วงอกและฮอร์โมนเห็ด พ่นวันที่ 1, 5, 9 เพื่อทำการทดลองในขั้นต่อไป

จากการพ่นด้วยฮอร์โมนการเจริญเติบโตจาก สารสกัดถั่วงอก พบว่า ลักษณะของก้านดอกเห็ดถั่งเช่า หิมะ มีสีเหลืองและอวบในทุกกรรมวิธี มีความสูงของก้าน ดอกเห็ดประมาณ 2.00 เซนติเมตร (Figure 1A, 1B, 1C) ส่วนก้านดอกเห็ดที่ถูกพ่นด้วยสารสกัดข้าวโพดฝักอ่อน มีสีเหลืองและอวบ (Figure 1D, 1E) ความสูงประมาณ 2.00 เซนติเมตร แต่ในกรรมวิธีที่พ่นในวันที่ 1, 5 และ 9 มีจำนวนก้านดอกเห็ดที่ไม่หนาแน่นเต็มขวดเท่า กรรมวิธีอื่น (Figure 1F) ในส่วนของก้านดอกเห็ด ที่ถูกพ่น ด้วยฮอร์โมนเห็ด มีสีเหลืองแต่ก้านดอกเห็ดมีลักษณะลีบ เล็กกว่าก้านดอกเห็ดที่ถูกพ่นด้วยฮอร์โมนการเจริญเติบโต ชนิดอื่นเล็กน้อย และมีจำนวนก้านดอกเห็ดแน่นเต็ม วัสดุเพาะ (Figure 1G, 1H, 1I)

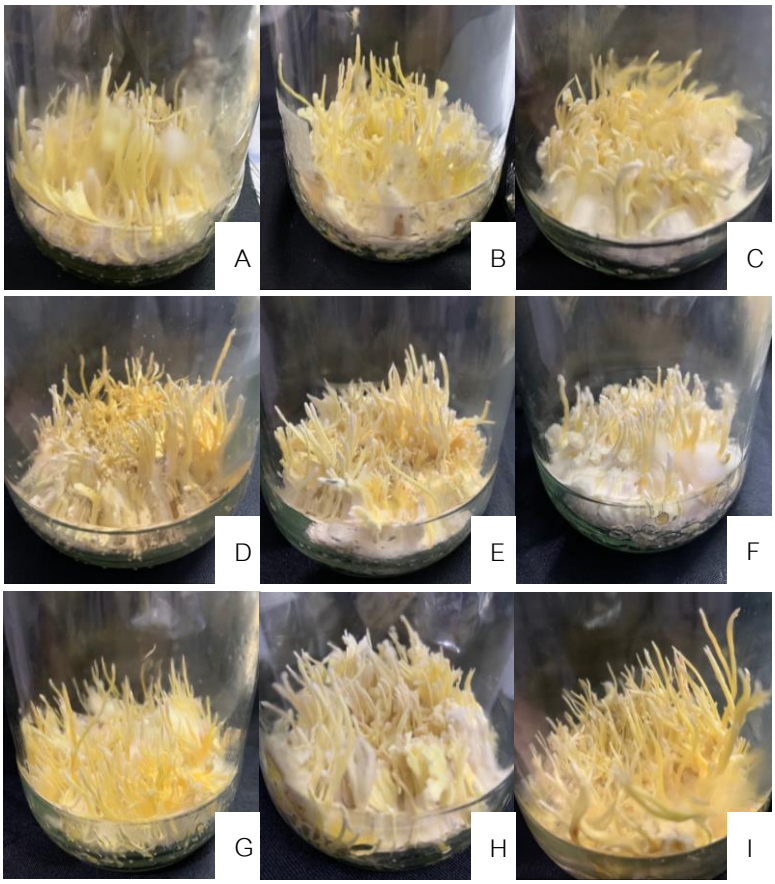


Figure 1. Morphology of snowflake cordyceps after sprayed with various boiled aqueous plant extracts and a commercial mushroom hormone; (A) Bean sprouts at day 1-4 (B) Bean sprouts at day 1, 4, 7 (C) Bean sprouts at day 1, 5, 9 (D) Baby corn at day 1-4 (E) Baby corn at day 1, 4, 7 (F) Baby corn at day 1, 5, 9 (G) Commercial mushroom hormone at day 1-4 (H) Commercial mushroom hormone at day 1, 4, 7 (I) Commercial mushroom hormone at day 1, 5, 9

ผลการวิเคราะห์สารออกฤทธิ์สำคัญของเห็ดถั่งเช่าหิมะบนก้านดอกเห็ด

ในส่วนของการพ่นฮอร์โมนเห็ด พบว่า มีหยดน้ำสีเขียวตกค้างอยู่บนวัสดุเพาะ (Figure 2) จึงไม่นำไปวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ เนื่องจากสีตกค้างอยู่บนวัสดุเพาะเป็นสีที่ไม่ได้จากธรรมชาติ อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค และทำให้ปริมาณสารออกฤทธิ์ที่วิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนได้

ดังนั้นจึงวิเคราะห์สาร adenosine ด้วยวิธี high-performance liquid chromatography (HPLC) จากก้านดอกเห็ด จากกรรมวิธีที่ใช้สารสกัดถั่วงอก พ่นวันที่ 1, 4 และ 7 และพ่นวันที่ 1, 5 และ 9 และสารสกัดข้าวโพดฝักอ่อน พ่นวันที่ 1, 4 และ 7 พบว่า การพ่นสารสกัดถั่วงอกพ่นวันที่ 1, 4 และ 7 ทำให้ก้านดอกเห็ดมีปริมาณสาร adenosine มากที่สุดที่ 49.22 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม รองลงมาเป็นกรรมวิธีที่พ่นด้วยสารสกัดถั่วงอกในวันที่ 1, 5 และ 9 และ สารสกัดข้าวโพดฝักอ่อนพ่นวันที่ 1, 4 และ 7 มีปริมาณ adenosine ในก้านดอกเห็ด 41.84 และ 39.04 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (Table 2) ซึ่งมากกว่าการทดลองของ Manorat (2015) ที่ได้ทำการวิเคราะห์สาร adenosine บนก้านดอกเห็ดบนวัสดุเพาะข้าวหอมมะลิ 105 ผสมดักแด้ไหม ที่ไม่มีการฉีดพ่นฮอร์โมนการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าหิมะ พบสาร adenosine เพียง 6.70 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และจากการทดลองของ Sun *et al.* (2013) ได้ทำการวิเคราะห์ฮอร์โมนที่พบในต้นถั่วงอก ด้วยวิธี Micellar Electrokinetic Chromatography (MEKC) ซึ่งพบฮอร์โมนพืช IAA, IBA, GA3, ABA และ NAA ในความเข้มข้น 0.076, 3.302, 0.528, 0.721 และ 0.164 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งฮอร์โมนเหล่านี้มีส่วนช่วยให้ต้นถั่วงอกเจริญเติบโตและอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าหิมะ

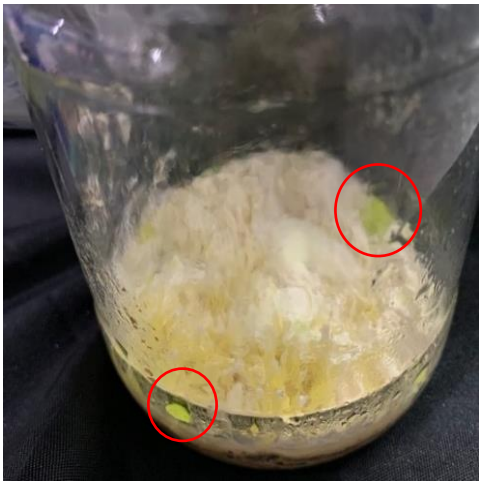


Figure 2. Green water drop on *Cordyceps tenuipes* media

Table 2. Adenosine content in fruiting body of *Cordyceps tenuipes* grown on media after spraying with boiled aqueous plant extracts at different times

Plant extracts	Application time	Adenosine content (mg/100g)
Bean sprouts	Day 1, 4, 7	49.22 ns
Bean sprouts	Day 1, 5, 9	41.84 ns
Baby corn	Day 1, 4, 7	39.04 ns

ns=Not significant

สรุป

จากการศึกษาปริมาณและการใช้สารสกัดจากพืชบางชนิดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดถั่งเช่าหิมะ (*Cordyceps tenuipes*) พบว่า การพ่นสารสกัดจากพืชทั้ง 2 ชนิด และฮอร์โมนเห็ด ในวันที่ 1, 4, 7 ให้ผลดีที่สุด ฮอร์โมนเห็ด มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุดที่ 2.58 เซนติเมตร และมีน้ำหนักก้านดอกเห็ดสดและแห้งมากที่สุดที่ 19.91 กรัม และ 2.20 กรัม รองลงมาคือ การพ่นด้วยสารสกัดถั่วงอก ให้ความสูงเฉลี่ยที่ 2.38 เซนติเมตร และมีน้ำหนักก้านดอกเห็ดสดและแห้ง 17.23 กรัม และ 1.90 กรัม ในลำดับสุดท้ายคือสารสกัดข้าวโพดฝักอ่อน ให้ความสูงเฉลี่ยที่ 2.28 เซนติเมตร ให้น้ำหนักก้านสดและแห้งที่ 12.42 กรัม และ 1.83 กรัม เมื่อคัดเลือกก้านดอกเห็ดถังเช่าหิมะที่พ่นด้วย สารสกัดถั่วงอกและสารสกัดข้าวโพดฝักอ่อน ไปวิเคราะห์สาร adenosine พบว่า ก้านดอกเห็ดถั่งเช่าหิมะที่ถูกพ่นด้วยสารสกัดถั่วงอกในวันที่ 1, 4 และ 7 พบสาร adenosine 49.22 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ดังนั้นการพ่นสารสกัดถั่วงอกลงบนวัสดุเพาะหลังจากเริ่มสร้างก้านดอกเห็ดถั่งเช่าหิมะ ในวันที่ 1, 4, 7 ในปริมาณ 0.5 มิลลิตรต่อครั้ง ใช้ปริมาณรวมทั้งหมด 1.5 มิลลิลิตรต่อขวดเพาะ เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการเร่งการเจริญเติบโตให้กับเห็ดถั่งเช่าหิมะ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ จังหวัดเชียงใหม่ กรมหม่อนไหม กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย และ ขอขอบคุณ ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

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.

Jarassamrit, N. 1994. Plant hormone and plant growth regulators. Sahamit Press, Bangkok. 124 p. (in Thai)

Ji, S.D., G.B. Sung, P.D. Kang, K.Y. Kim, Y.S. Choi, N.S. Kim, S.O. Woo, S.M. Han, I.P. Hong and N.G. Ha. 2011. Synnemata production using silkworm variety, female Yangwonjam by *Isaria tenuipes*. Mycobiology 39(3): 158-163.

Kepler, R.M., J.J. Luangsa-ard, N.L. Hywel-Jones, C.A. Quandt, G.H. Sung, S.A. Rehner, M.C. Aime, T.W. Henkel, T. Sanjuan, R. Zare, M.J. Chen, Z.Z. Li, A.Y. Rossman, J.W. Spatafora and B. Shrestha. 2017. A phylogenetically-based nomenclature for Cordycipitaceae (Hypocreales). International Mycological Association Fungus 8(2): 335-353.

Konala, N., P. Abburi, V.R. Bovilla and A. Mamillapalli. 2013. The effect of bovine milk on the growth of *Bombyx mori*. Journal of Insect Science 13: 98, doi: 10.1673/031.013.9801.

Liengpornpan, S. 2007. How does insect eating affect human being? Thaksin University Journal 10(2): 1-11. (in Thai)

Luerdara, K., J. Kulsarin, S. Buranapanichpan and T. Tapingkae. 2016. Growth of gold cordyceps (*Cordyceps militaris*) on pupae of Nanglai Thai native silkworm and eri silkworm. Journal of Agriculture 32(1): 95-102. (in Thai)

Manorat, P. 2015. Effect of mixed silkworm pupa culture media on growth and development of snowflake cordyceps (*Isaria tenuipes*). B.S. Special Problem. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 26 p. (in Thai)

Ramachela, K. and S.M. Sihlangu. 2016. Effects of various hormonal treated plant substrates on development and yield of *Pleurotus ostreatus*. Cogent Food & Agriculture 2: 1, doi: 10.1080/23311932.2016.1276510.

Russell R. and M. Paterson. 2008. Cordyceps-a traditional Chinese medicine and another fungal therapeutic biofactory. Phytochemistry 69(7): 1469-1495.

Tapingkae, T. 2012. Cordyceps mushroom cultivation. Twofour Printing, Bangkok. 94 p. (in Thai)

Sun, Y.N., X.Y. Qin, Y.K. Lv, S.Z. Li and C. Wei. 2013. Simultaneous determination of five phytohormones in mungbean sprouts of China by micellar electrokinetic chromatography. Journal of Chromatographic Science 52(7): 1-5.

Wattanathorn, J. and S. Muchimapura. 2012. Silkworm pupae protect against Alzheimer's disease. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 7(3): 330-336.

Wen, T.C., G.R. Li, J.C. Kang, C. Kang and K.D. Hyde. 2014. Optimization of solid-state fermentation for fruiting body growth and cordycepin production by *Cordyceps militaris*. Chiang Mai Journal of Science 41(4): 858-872.

Wongsiri, S. 2012. Edible insects to be used as food during natural disasters. The Journal of the Royal Institute of Thailand 37(1): 125-139. (in Thai)

การใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรเป็นพลังงานทดแทนผลิตกระแสไฟฟ้าในชุมชนของโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง

Use of Biogas from Swine Manure as a Renewable Energy to Produce Electricity in Community of Highland Development Project Using the Royal Project Model

สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์* องอาจ ส่องสี บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และ กัญญารัตน์ พวกเจริญ

Suchon Tangtaweewipat* Ongart Songsi Boonlom Cheva-Isarakul and Kanyarat Puakchareon

ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

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

(Received: 4 April 2020; Accepted: 3 July 2020)

Abstract: This study aimed to apply biogas with a 7.5 hp engine motor and 3 kW generator for producing electricity to investigate the optimum biogas generator in 4 highland farms of Highland Development Project Using Royal Project Model. The first 3 farmers lived in Mae Song sub-district, Tha Song Yang district, Tak province, while the forth farmer lived in Mae Sam Laep sub-district, Sop Moei district, Mae Hong Son province. The result revealed that the biogas which was produced from 8, 12, 8+8 and 16 m^3 biogas unit in 4 highland household farms contained 755.00, 894.00, 836.67 and 1,493.33 ppm hydrogen sulfide (H_2S), respectively. The filter using granular ferric hydroxide can reduce 99.73-99.91% of H_2S from biogas. The biogas generator can produced electricity 1.84, 2.23, 3.14 and 4.01 hours/day. It helped farmers to save electricity charge 76.63, 96.31, 111.34 and 130.83 Baht/month, respectively. These data varied significantly according to the size of the digester (P<0.01). In conclusion, the biogas can be produced even at the attitude above 1,000 m MSL. It can be an alternative energy for electricity in highland farms. The satisfaction of the farmers to the developed equipment was evaluated by scoring. They were highly satisfied and gave the score rated 4.99 out of 5.

Keywords: Biogas, renewable energy, electricity, Highland Development Project, Royal Project Foundation

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำก๊าซชีวภาพมาประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันก๊าซโซลีน (น้ำมันเบนซิน) กับเครื่องยนต์ขนาด 7.5 แรงม้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3 กิโลวัตต์ ผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในชุมชนของโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สอง อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก จำนวน 3 ราย และแบบโครงการหลวงแม่สามแลบ อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 1 ราย โดยใช้บ่อผลิตก๊าซชีวภาพของเกษตรกรทั้ง 4 ราย ซึ่งมีขนาด 8, 12, 8+8 และ 16 ลูกบาศก์เมตร พบว่า มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือไข่เน่า (H_2S) ปนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 755.00, 894.00, 836.67 และ 1,493.33 ppm ตามลำดับ โดยชุดกรองที่จัดทำขึ้นจากสารเคลือบด้วยเฟอริกไฮดรอกไซด์ $Fe(OH)_3$ สามารถกำจัดก๊าซไข่เน่าได้ 99.73-99.91% และสามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าตามความต้องการใช้งานของเกษตรกรทั้ง 4 ราย ได้นาน 1.84, 2.23, 3.14 และ 4.01 ชั่วโมงต่อวัน ช่วยลดค่าใช้จ่ายได้ 76.63, 96.31, 111.34 และ 130.83 บาทต่อเดือน ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามขนาดของบ่อก๊าซชีวภาพ (P<0.01) สรุปได้ว่า การผลิตก๊าซชีวภาพสามารถผลิตได้แม้จะอยู่ในที่สูงกว่า 1,000 เมตร และสามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าบนพื้นที่สูงได้ โดยเกษตรกรผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับ “มากที่สุด” มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.99 จากคะแนนเต็ม 5

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ พลังงานทดแทน กระแสไฟฟ้า โครงการพัฒนาพื้นที่สูง มูลนิธิโครงการหลวง

คำนำ

มูลนิธิโครงการหลวง มีกิจกรรมส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์ให้เกษตรกรบนพื้นที่สูง ซึ่งเป็นการสืบสานวิถีชีวิตของเกษตรกรที่ปฏิบัติกันมาช้านาน เช่น การเลี้ยงไก่ สุกร หรือโคกระบือ แบบหลังบ้านทั่วไป (raising backyard animals) เป็นต้น ต่อมางานวิจัยและพัฒนาปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง ได้พัฒนาและส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นอาชีพเสริมและเพิ่มรายได้ เช่น ไก่เบรส ไก่ฟ้า ไก่กระดูกดำ สุกร ควายนม และแพะนม เพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดรายได้ที่ดีพอควร แต่มีปัญหาที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์ คือ เรื่องกลิ่นเหม็น น้ำเสีย และแมลงวันที่บินไปรบกวนเพื่อนบ้าน งานวิจัยและพัฒนาปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง จึงได้สนับสนุนให้เกษตรกรจัดทำบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) เพื่อลดมลภาวะ รวมทั้งยังได้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนในการหุงต้ม และใช้ผลพลอยได้ซึ่งเป็นกากตะกอนที่ล้นออกจากบ่อทดแทนปุ๋ยเคมี ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนและลดปัญหามลภาวะทางกลิ่นได้เป็นอย่างดีอีกด้วย (Tangtaweewipat *et al.,* 2011a) สอดคล้องกับ Department of Alternative Energy Development and Efficiency (2013) ที่ว่าก๊าซชีวภาพจัดเป็นพลังงานสะอาดที่เกิดจากการนำของเสียอินทรียวัตถุมาผ่านกระบวนการหมัก ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมได้ก๊าซชีวภาพที่เป็นพลังงานความร้อนหรือพลังงานเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้

การผลิตก๊าซชีวภาพแบบบอลลูนหรือ CMU balloon digester ซึ่งสุชนและคณะเป็นผู้คิดค้นขึ้น โดยใช้พลาสติกชนิดพีวีซีหรือ LDPE ที่มีลักษณะเป็นถุงทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เมตร มีความยาว 6 เมตร (หรือมากกว่าขึ้นกับปริมาณอินทรียวัตถุ) นำไปวางลงในบ่อที่มีความกว้าง 2 เมตร ยาว 4 เมตร ลึก 1 เมตร ถุงดังกล่าวมีปริมาตรความจุประมาณ 8 ลูกบาศก์เมตร แยกเป็นส่วนหมักที่เป็นของเหลว คือ มูลสัตว์และน้ำปริมาตรรวมกัน 5 ลูกบาศก์เมตร และส่วนเก็บก๊าซชีวภาพ 3 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันได้ประมาณ 35% ของของเหลว หรือเท่ากับ 2 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเพียงพอต่อการใช้กับเตาหุงต้มจำนวน 2 เตา ใช้ก๊าซ 0.15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (Tangtaweewipat *et al.,* 2009; Tangtaweewipat *et al.,* 2018) หรือเพียงพอต่อการใช้กับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน (gasoline engine) ขนาด 5.5 แรงม้า (hp) ผลิตกระแสไฟฟ้าจำนวน 3 กิโลวัตต์ หรือใช้กับเครื่องยนต์สูบน้ำ ซึ่งจะใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1.2-1.4 หรือ 0.8-1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ (Songsee, 2012)

Tangtaweewipat *et al.* (2011a) รายงานว่า การใช้ถุงผลิตก๊าซชีวภาพแบบบอลลูนที่มีขนาด 5.0, 7.5 และ 10.0 ลูกบาศก์เมตร เพื่อหาปริมาณการผลิต

ก๊าซชีวภาพบนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล <800, 800-1,000 และ >1,000 เมตร พบว่า ในสภาพแสงแดดปกติ ผลิตก๊าซชีวภาพได้เท่ากับ 0.16, 0.37 และ 0.41 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนความสูงจากระดับน้ำทะเลที่แตกต่างกัน พบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพมีปริมาณไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเก็บข้อมูลของทุกพื้นที่ระดับความสูงมีแสงแดดและอุณหภูมิใกล้เคียงกัน

Landahl (2003) กล่าวว่า ก๊าซชีวภาพเกิดจากขบวนการหมักอินทรียวัตถุ (biomass มูล ปัสสาวะ น้ำเสีย เศษซากพืชซากสัตว์) ในสภาพไร้อากาศ ได้ก๊าซที่ประกอบด้วยมีเทน (CH_4) 50-80%, คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 15-45%, ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 0-2% และน้ำ 5% Kristoferson and Bokalders (1991) รายงานว่า ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร มีคุณค่าเท่ากับหลอดไฟฟ้าที่ให้แสงสว่างขนาด 60-100 วัตต์ นาน 6 ชั่วโมง หรือใช้ประกอบอาหารสำหรับครอบครัว 5-6 คนได้ 3 มื้อ ทดแทนน้ำมันเบนซินได้ 0.7 กิโลกรัม หรือขับมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าได้นาน 2 ชั่วโมง และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1.25 กิโลวัตต์ชั่วโมง สำหรับการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์นั้น Persson (2007) ระบุว่า ก๊าซชีวภาพที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนต้องมี CO_2 น้อยกว่า 20% ซัลเฟอร์ต่ำกว่า 23 mg/Nm^3 ฝุ่นละอองต่ำกว่า 1 μm น้ำน้อยกว่า 32 mg/Nm^3 ออกซิเจนต่ำกว่า 1 Vol% และต้องมี CH_4 มากกว่า 92%

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า (H_2S) เป็นก๊าซที่มีพิษ หรือก๊าซที่ไม่พึงประสงค์ มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนโลหะและมีกลิ่นเหม็น การขจัดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การให้ก๊าซไหลผ่านฝอยเหล็ก (iron sponge bed) การนำไปผ่านละอองน้ำ เป็นต้น การนำไปผ่านฝอยเหล็กมีจุดอ่อนตรงที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากมีความสามารถในการกักเก็บซัลเฟอร์ได้น้อย โดยฝอยเหล็กจะเป็นสนิมและผุกร่อน ตัวกรองบางชนิดนอกจากนำกลับคืนมาใช้ใหม่ไม่ได้แล้ว ยังเกิดของเสียที่เป็นอันตรายอีกด้วย จึงมีผู้พยายามคิดค้นหาตัวกรองที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ดังเช่น Thirunavukkarasu *et al.* (2003) รายงานว่า granular ferric hydroxide (GFH) ที่ผลิตจากสารละลาย ferric chloride โดยวิธี neutralization และ precipitation ด้วย sodium hydroxide (NaOH) ทำให้ตกตะกอนโดยการปั่นเหวี่ยง และทำให้เป็นเม็ดด้วยขบวนการอัดแรงดันสูง GFH ที่ได้นี้ประกอบด้วย ferric oxihydroxide ปริมาณ 52-57% โดยน้ำหนัก ความชื้น 43-48% grain porosity 72-77% (Driehaus *et al.,* 1998) โดยขนาดของ GFH ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการกรอง คือ 0.8-1.2 มิลลิเมตร นอกจากนี้ การใช้ $Fe(NO_3)_3$ 180 กรัม และ NaOH 28 กรัม ทำปฏิกิริยากันในน้ำเดือด 500 มิลลิลิตร pH 8.0 จะได้ $Fe(OH)_3$ 50 กรัม (Patzer, 1997)

ดินเบา (diatomaceous earth) เป็นวัตถุดิบที่ได้จากการทับถมของซากสัตว์ชนิดไดอะตอม ประกอบด้วยซิลิกา ดินเบาจากจังหวัดลำปาง ซึ่งมีซิลิกาในรูปไดอะตอมปริมาณ 30-50% มีผิวเป็นประจุลบ สามารถจับกับ $Fe(OH)_3$ ที่มีประจุเป็นบวกได้ดี (Supasathitkul, 1986) ต่อมา Tangtaweewipat *et al.* (2011b) ได้พัฒนากระบวนการผลิตสารตัวกลางในการดูดซับก๊าซ H_2S ที่เคลือบด้วย ferric hydroxide และพัฒนาชุดกำจัดก๊าซ CO_2 เพื่อเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนให้สูงกว่า 92% (Figure 1) ด้วยการผลิตเม็ด ferric hydroxide ที่ได้จากการใช้วัสดุตัวกลางต่างกัน คือ ดินเบาและทราย เปรียบเทียบกับฝอยเหล็ก พบว่า ทรายมีประสิทธิภาพดีกว่าอีกสองชนิด เมื่อนำเม็ดที่ผลิตได้นี้ไปใส่ในชุดตัวกรองดูดซับ (ท่อ) ที่มีความยาวต่างกัน (50, 75 และ 100 เซนติเมตร) พบว่า ท่อที่มีความยาว 100 เซนติเมตร สามารถดูดซับ H_2S ดีกว่าท่อที่มีความยาว 75 และ 50 เซนติเมตร ตามลำดับ จากนั้นได้ทำชุดดูดซับแบบท่อคู่ขนาดผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 1 เมตร ปรากฏว่าเหมาะสมกับระบบครัวเรือน ทั้งนี้เพราะสามารถลดกลิ่นเหม็นจาก H_2S ได้เกือบ 100% เมื่อนำไปใช้งาน ตัวกลางดูดซับเปลี่ยนเป็นสีดำ จากนั้นให้อากาศเข้าไปช่วยทำปฏิกิริยา oxidation เปลี่ยนตัวกลางดูดซับให้กลับสู่สภาพเดิม (เป็นเม็ดสีน้ำตาล) ใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง มีความสะดวกต่อการใช้งาน ไม่ต้องเสียเวลา แรงงาน และไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม ส่วนการผลิตชุดกรอง CO_2 ได้ใช้แบบสเปรย์น้ำหมุนเวียนใน column ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูง 1.80 เมตร ภายในบรรจุตาข่ายพลาสติกเป็นสื่อเพิ่มการกระจายของละอองน้ำให้สัมผัสกับก๊าซมากที่สุด และทำการแยก CO_2 ออกจากน้ำด้วยการพ่นน้ำเป็นละอองไหล

ผ่านอากาศในท่อเปิด หมุนเวียนกลับมาเข้าสู่ระบบด้วยปั๊มน้ำแบบแช่ขนาด 3/4 นิ้ว เมื่อนำไปทดสอบกับก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลสุกรแม่พันธุ์ จะช่วยลด CO_2 ได้ 17.7% ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนจาก 74.5% เป็น 92.2%

อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง (air fuel ratio) ที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้การสันดาปหรือการระเบิดของน้ำมันในกระบอกสมบูรณ์ที่สุดนั้นมีค่าเท่ากับ 14.5:1 นั่นคือ มวลอากาศ 14.5 กรัมต่อมวลน้ำมัน 1 กรัม ส่วนก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ 10:1 (Ayade and Latey, 2016) ซึ่งมีค่าสูงกว่าการศึกษาของ Tangtaweewipat *et al.* (2019) ที่รายงานว่า การจุดติดของเครื่องยนต์ขนาด 6.5-7.5 แรงม้าสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าและสูบน้ำ ใช้ก๊าซชีวภาพที่มีความเข้มข้น CH_4 63% 1 ส่วนต่ออากาศ 2-4 ส่วน ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับ Irvan *et al.* (2017) ที่รายงานว่า อัตราส่วนของอากาศต่อก๊าซชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์ 1 กิโลวัตต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้กับหลอดไฟ 100 วัตต์ จำนวน 5 หลอด มีค่าเท่ากับ 4.5:1 โดยวัดกำลังไฟฟ้าได้ 424.74 วัตต์ ที่ความเร็วรอบ 3,898.5 rpm เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันจะใช้อากาศ 13 ส่วน ส่วนปริมาณก๊าซ H_2S ในก๊าซชีวภาพที่ใช้กับเครื่องยนต์ต้องมีค่าน้อยกว่า 500 ppm และการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ ต้องมีสัดส่วนของก๊าซ CH_4 5-15% (Mihic, 2004) และ 12.6 ± 1.25-21.0 ± 2.06% (Tangtaweewipat *et al.*, 2019)

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้พัฒนาชุดเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน ผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในบ้าน ในสภาพใช้จริงของเกษตรกรและของเพื่อนบ้านในชุมชนของโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สอง อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก และโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สามแลบ อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งทั้ง 2 พื้นที่นี้อยู่ในถิ่นทุรกันดาร ไม่มีไฟฟ้าใช้ โดยเกษตรกรเหล่านี้มีการเลี้ยงสัตว์ และได้นำมูลสัตว์มาผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะมีก๊าซชีวภาพเหลือจากการใช้หุงต้มในครัวเรือน จึงนำก๊าซที่เหลือใช้ดังกล่าวมาเป็นพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยจะทำการเปรียบเทียบและประเมินความเหมาะสมของขนาดบ่อผลิตก๊าซชีวภาพของเกษตรกรทั้ง 4 ราย รวมถึงประเมินปริมาณก๊าซ H_2S ก่อนผ่านชุดกรองและก่อนเข้าเครื่องยนต์ ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า และความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้า

อุปกรณ์และวิธีการ

เกษตรกรที่ร่วมศึกษาวิจัย

ได้ทำการศึกษากับเกษตรกรจำนวน 4 ราย โดย 3 รายแรก อาศัยอยู่ในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สอง อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก ส่วนรายที่ 4 อยู่ที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง

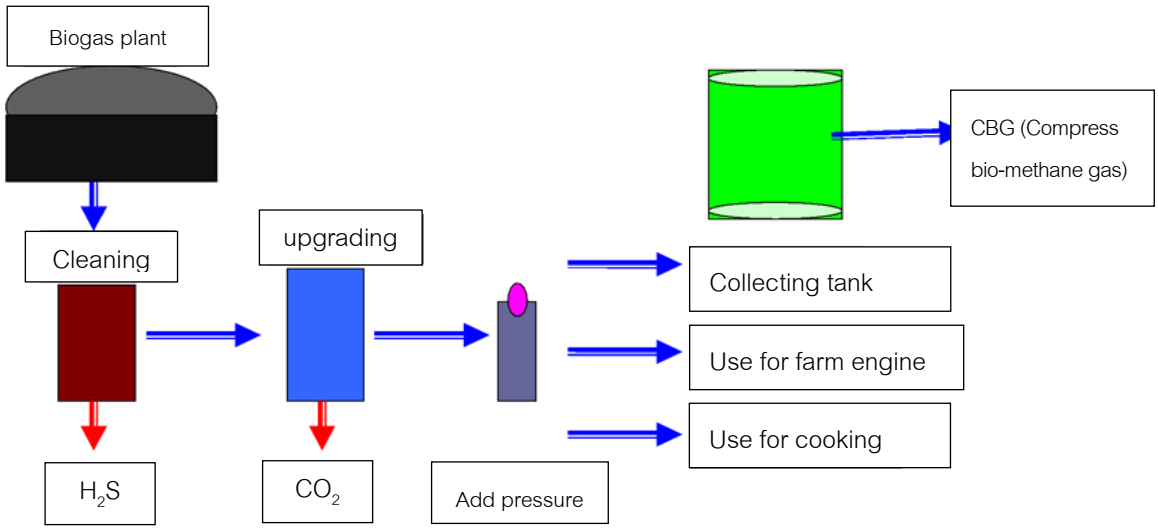


Figure 1. H_2S and CO_2 elimination and biogas utilization

แม่สามแลบ อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยพื้นที่แรก (แม่สอง) มีความสูงจากระดับน้ำทะเลเฉลี่ยปานกลาง 1,200 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 28 องศาเซลเซียส และต่ำสุด 11 องศาเซลเซียส ส่วนพื้นที่หลัง (แม่สามแลบ) มีความสูงจากระดับน้ำทะเลเฉลี่ย 800 เมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 41 องศาเซลเซียส และต่ำสุด 10 องศาเซลเซียส เกษตรกรทั้ง 4 รายข้างต้น มีจำนวนสุกรที่เลี้ยงและขนาดบ่อก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกัน (Table 1)

การจัดทำชุดเครื่องยนต์สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า มีรายละเอียดดังนี้ (Figure 2)

- ชุดเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานแทนก๊าซโซลีนเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ขนาด 7.5 แรงม้า มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 กิโลวัตต์
- ชุดผสมก๊าซชีวภาพและอากาศ (mixer)
- ชุดกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือไข่เน่า (H_2S) ที่ทำจากเม็ดตัวกลางเคลือบด้วยเฟอริกไฮดรอกไซด์ $Fe(OH)_3$ บรรจุในกล่องอะลูมิเนียมขนาด 15 x 60 x 60 เซนติเมตร
- หลอดไฟฟ้าแบบ LED ขนาด 9 วัตต์ จำนวน 133 หลอด
- มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า ขนาด 5 A
- บ่อผลิตก๊าซชีวภาพ จำนวน 4 บ่อ มีขนาด 8, 12, 8+8 และ 16 ลูกบาศก์เมตร

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

No.	Name-Surname	Type of animal	No. of animals (head)	Size of biogas digester (m^3)
1	Mr. Prasert Sutthiphanasawan	Fattening pigs and sows	25	8+8
2	Miss Kulpreeya Oonwanarakkeeree	Fattening pigs	6	12
3	Mr. Rija Wiangmanmek	Fattening pigs	4	8
4	Mr. Arthorn Phimanthara	Fattening pigs	35	16

Figure 2. 3 kW biogas generator (A), hydrogen sulfide (H_2S) filter (B), air and biogas mixer (C), electricity meter (D), 9-watt LED bulb (E)

ทำการศึกษาเป็นเวลา 9 เดือน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-ตุลาคม 2562 โดยทำการบันทึกข้อมูลทุกเดือนในช่วงเดือนเมษายน- สิงหาคม เป็นเวลา 5 เดือน ได้ข้อมูล 5 ชุด ซึ่งถือเป็นจำนวน 5 ซ้ำ ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วยคุณภาพก๊าซชีวภาพในช่วงก่อนและหลังผ่านชุดกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระยะเวลาการใช้กระแสไฟฟ้า จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างตามขนาดของบ่อก๊าซชีวภาพ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Duncan's new multiple range test ตามที่ระบุไว้โดย Steel and Torrie (1980) พร้อมกับประเมินความพึงพอใจจากผู้เข้าร่วมวิจัยและผู้ร่วมใช้ไฟฟ้า

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการติดตั้งเครื่องยนต์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หลอดไฟฟ้าและการใช้งาน

ได้ทำการติดตั้งเครื่องยนต์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหลอดไฟฟ้าชนิด LED รวมทั้งระบบควบคุมความปลอดภัยและมิเตอร์ไฟฟ้า ให้เกษตรกรแต่ละรายโดยจำนวนหลอดไฟที่เหมาะสมสำหรับแต่ละราย ขึ้นอยู่กับขนาดของบ่อและปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ดังนี้ บ้านเกษตรกรรายที่ 1 ซึ่งปลูกองุ่นในสวนบริเวณบ้าน ได้เลี้ยงสุกรขุนและแม่พันธุ์จำนวนรวม 25 ตัว ด้วยอาหารสำเร็จรูปทางการค้าผสมต้นกล้วยและรำหยาบ ทำบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรจำนวน 2 บ่อ (8 + 8 ลูกบาศก์เมตร) โดยรวมท่อส่งก๊าซชีวภาพมายังเครื่องยนต์ร่วมกัน ได้ติดตั้งหลอดไฟฟ้าที่บ้านตนเองและเพื่อนบ้านอีก 1 ครอบครัว จำนวนรวม 9 หลอด หรือเท่ากับ 81 วัตต์ บ้านเกษตรกรรายที่ 2 ผู้เลี้ยงสุกรขุนจำนวน 6 ตัว ด้วยอาหารสำเร็จรูปทางการค้าผสมต้นกล้วยและรำหยาบ ทำบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 12 ลูกบาศก์เมตร ได้ติดตั้งหลอดไฟฟ้าที่บ้านตนเองและเพื่อนบ้านอีก 2 ครอบครัว จำนวนรวม 9 หลอด หรือเท่ากับ 81 วัตต์ บ้านเกษตรกรรายที่ 3 ผู้เลี้ยงสุกรขุนจำนวน 4 ตัว ด้วยอาหารสำเร็จรูปทางการค้าผสมปลายข้าวและรำหยาบ ทำบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร ได้ติดตั้งหลอดไฟฟ้าที่บ้านตนเองและเพื่อนบ้านอีก 1 ครอบครัว จำนวนรวม 5 หลอด หรือเท่ากับ 45 วัตต์ และบ้านเกษตรกรรายที่ 4 ผู้เลี้ยงสุกรขุนจำนวน 35 ตัว ด้วยอาหารสำเร็จรูปทางการค้า ได้ทำบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 16 ลูกบาศก์เมตร ติดตั้งหลอดไฟฟ้าที่บ้านตนเองและเพื่อนบ้านอีก 2 ครัวเรือน จำนวนรวม 14 หลอด หรือเท่ากับ 126 วัตต์ (Table 2 และ Figure 3)

ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

คุณภาพก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรขุนที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปทางการค้าจากบ่อขนาด 16 ลูกบาศก์เมตร มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่ามากที่สุด คือ 1,493.33 ppm มากกว่าบ่อก๊าซชีวภาพขนาด 12, 8+8 และ 8 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งได้จากมูลสุกรขุนและสุกรแม่พันธุ์ที่ได้รับอาหารทางการค้าผสมต้นกล้วยและรำหยาบ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ (1,493.33 vs. 894.00 vs. 836.67 vs. 755.00 ppm; P<0.01) ชุดกรองสามารถลดปริมาณก๊าซ H_2S ได้ถึง 99.73-99.91% (Table 3) สอดคล้องกับการศึกษาของ Tangtaweewipat *et al.* (2011b) ที่ได้พัฒนากระบวนการผลิตสารตัวกลางในการดูดซับก๊าซ H_2S ที่เป็นเม็ดปูนผสมทรายเคลือบด้วย ferric hydroxide โดยนำไปทดสอบกับบ่อผลิตก๊าซชีวภาพของเกษตรกรที่ใช้มูลสุกรแม่พันธุ์ สุกรขุน และมูลนกกระทาไข่ ซึ่งพบว่ามี H_2S 480, 1,773 และ 3,509 ppm ตามลำดับ เมื่อนำไปผ่านตัวกลางที่เคลือบด้วย ferric hydroxide สามารถลดได้ 97.3-99.3% ในขณะที่นำไปผ่านดินเบาผสมปูนซีเมนต์ และการใช้ฝอยเหล็ก ลดลงได้ 78.0-74.0 และ 69.4-49.9% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) เมื่อนำตัวกลางที่พัฒนาขึ้นดังกล่าวบรรจุลงในท่อ PVC ที่มีความยาว 50, 75 และ 100 เซนติเมตร พบว่า มีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามความยาวของท่อด้วย คือ ลด H_2S ได้เท่ากับ 97.3-99.3, 99.0-99.8 และ 99.6-100% ตามลำดับ โดยชุดดูดซับที่มีความยาว 100 เซนติเมตร สามารถลด H_2S จาก 2,400 ppm เป็น 0 ppm ในวันแรก และ 3 ppm หลังใช้งานนาน 30 วัน โดยเม็ดตัวกลางจะเปลี่ยนสีจากน้ำตาลแดงเป็นสีน้ำตาลเข้ม การศึกษาในครั้งนี้

ยังพบว่าบ่อก๊าซชีวภาพที่ใช้มูลสุกรเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปอย่างเดียว มีการผลิตก๊าซ H_2S มากกว่าการเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปผสมต้นกล้วยและรำหยาบ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อาหารสำเร็จรูปผสมด้วยต้นกล้วยและรำหยาบทำให้อาหารมีปริมาณโปรตีน โดยเฉพาะกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบลดลง เช่นเดียวกับรายงานของ Tangtaweewipat *et al.* (2011b) ที่ระบุว่า ก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากมูลสุกรแม่พันธุ์มีปริมาณ H_2S น้อยกว่าจากมูลสุกรขุน และนกกระทา เนื่องจากสุกรแม่พันธุ์ได้รับอาหารที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่า นั่นเอง

No.				Name and address
1				Farmer No. 1 (Mr. Prasert) Moo 3, Mae Song sub-district, Tha Song Yang district, Tak province
2				Farmer No. 2 (Miss Kulpreeya) Moo 15, Mae Song sub-district, Tha Song Yang district, Tak province
3				Farmer No. 3 (Mr. Rija) Moo 8, Mae Song sub-district, Tha Song Yang district, Tak province
4				Farmer No. 4 (Mr. Arthorn) Moo 10, Mae Sam Laep sub-district, Sop Moei district, Mae Hong Son province

Figure 3. Installation of small engine to produce electricity in the participating farms

Table 2. Number of household and electrical equipment of the participating farmers

Name	No. of household using electricity (House)	Amount of electricity installed (9 Watt LED bulb)		Other electrical appliances	
		(Number)	(Watts)	TV	Others
Mr. Prasert	2	9	81	-	Charge batteries, mobile phones
Miss Kulpreeya	3	9	81	-	Charge batteries, mobile phones
Mr. Rija	2	5	45	1	Charge batteries, mobile phones
Mr. Arthorn	3	14	126	1	Charge batteries, mobile phones
Total	*10*	*37*	*333*	*2*	

ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าและค่าใช้จ่าย

เมื่อประเมินการใช้ไฟฟ้าจากหมายเลขมิเตอร์ในช่วงทดลองระหว่างเดือนเมษายน-สิงหาคม 2562 พบว่า เกษตรกรทุกรายได้ใช้ก๊าซชีวภาพผลิตแสงสว่างให้กับครัวเรือนในเวลากลางคืน และชาร์จแบตเตอรี่สำหรับใช้กับแผงโซล่าเซลล์ ไฟฉาย รวมทั้งโทรศัพท์มือถือ มี 2 รายใช้กับโทรทัศน์ด้วย โดยเกษตรกรที่เลี้ยงสุกรจำนวนมากและมีบ่อขนาด 16 ลูกบาศก์เมตร ใช้กระแสไฟฟ้าแต่ละวันได้นานกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (4.01 vs. 3.14 vs. 2.23 vs. 1.84 ชั่วโมงต่อวัน; $P<0.01$ ตามลำดับ) และยังมีการใช้ไฟฟ้าต่อเดือนมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (22.352 vs. 17.521 vs. 13.750 vs. 8.670 กิโลวัตต์ต่อเดือน ตามลำดับ; $P<0.01$) นอกจากนี้ยังสามารถลดค่าไฟฟ้ารายเดือนได้มากกว่าผู้ที่มีขนาดบ่อเล็กหรือมีจำนวนสัตว์เลี้ยงน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย (130.83 vs. 111.34 vs. 96.31 vs. 76.63 บาทต่อเดือน ตามลำดับ; Table 3) การที่บ่อก๊าซชีวภาพขนาด 16 ลูกบาศก์เมตร ให้ระยะเวลาในการใช้กระแสไฟฟ้าได้นานกว่าบ่อที่เล็กกว่า เนื่องจากบ่อขนาดใหญ่ 16 ลูกบาศก์เมตร ใช้มูลสุกรขุนที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปล้วน ๆ มีจำนวน 35 ตัว จึงมีมูลจำนวนมากและมีความเข้มข้นของโภชนะที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์มากกว่าบ่อขนาดเล็กและมีจำนวนสุกรน้อยกว่า ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพนอกจากสัมพันธ์กับจำนวนสุกรและขนาดของบ่อหมักแล้ว ชนิดของสุกรและอาหารที่สัตว์ได้รับก็มีผลเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Amaral *et al.* (2015) ที่รายงานว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากมูลสุกรของโรงเรือนลูกสุกรอนุบาลมีมากกว่าโรงเรือนแม่สุกรเลี้ยงลูก โรงเรือนสุกรขุน และโรงเรือนสุกรอุ้มท้อง (0.970 vs. 0.865 vs. 0.474 vs. 0.326 m^3N/kg volatile solid; $P<0.05$ ตามลำดับ) ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนจากมูลสุกรทั้งสี่ประเภทข้างต้นมีค่าไม่ต่างกัน ($P>0.05$) โดยมีค่าระหว่าง 52.0-66.2% รวมทั้ง Tangtaweewipat *et al.* (2011a) ยังได้รายงานว่า บ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 5.0, 7.5 และ 10.0 ลูกบาศก์เมตร ของเกษตรกรบนพื้นที่สูงจากน้ำทะเล <800, 800-1,000 และ >1,000 เมตร ในสภาพแสงแดดปกติ เมื่อเฉลี่ยจากทุกระดับความสูงสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพิ่มขึ้นตามขนาดของบ่อ คือมีปริมาณเท่ากับ 0.16, 0.37 และ 0.41 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ($P<0.05$) ตามลำดับ ส่วนความสูงจากระดับน้ำทะเลที่แตกต่างกัน พบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพมีปริมาณไม่ต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเก็บข้อมูลของทุกพื้นที่ระดับความสูงมีแสงแดดและอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ในส่วนการประหยัดค่าไฟฟ้าที่วัดจากมิเตอร์เมื่อเทียบกับราคาปกติของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะเห็นว่า ประหยัดได้เดือนละ 76.63-130.83 บาท สาเหตุที่มีค่าไม่สูงนั้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้หลอดไฟฟ้าแบบประหยัด หรือแบบ LED ที่ใช้ไฟเพียงหลอดละ 9 วัตต์เท่านั้น ซึ่งเทียบเท่ากับมีความสว่าง 40-60 วัตต์ของหลอดไฟฟ้าในอดีต อย่างไรก็ดี นอกจากการนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์แล้ว เกษตรกรยังสามารถใช้หุงต้มในครัวเรือน และการต้มน้ำ

Table 3. Efficiency of filter and electricity usage of each household

Item	Biogas size (m^3)				P-value	SEM
	8	12	8+8	16		
Hydrogen sulfide gas (ppm)						
Before passing through filter	755.00^{d}	894.00^{b}	836.67^{c}	1493.33^{a}	<0.01	90.17
After passing through filter	1.67	2.00	0.67	3.33	0.26	0.47
Filter set efficiency (%)	99.78	99.73	99.91	99.78	0.70	0.04
Electricity consumption						
Number of hours per day	1.84^{d}	2.23^{c}	3.14^{b}	4.01^{a}	<0.01	0.22
Monthly consumption (kW)	8.670^{d}	13.750^{c}	17.521^{b}	22.352^{a}	<0.01	1.32
Reducing electricity bill per month (Baht) *	76.63^{d}	96.31^{c}	111.34^{b}	130.83^{a}	<0.01	5.34

$^{a-d}$ Means within a row with different superscripts differ significantly ($P<0.05$).

* Electricity price 3.77 Baht per unit + service charge of 38 Baht + 7% VAT

สำหรับชำแหละสุกรในรายที่มีอาชีพชำแหละสุกรด้วย ซึ่งช่วยให้เกษตรกรบนพื้นที่สูงสามารถลดค่าใช้จ่ายจากค่าก๊าซหุงต้มที่ใช้ประจำวันได้ หรือลดการหาฟืนมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ว่า บ่อผลิตก๊าซชีวภาพบนพื้นที่สูงขนาดความจุ 12-16 ลูกบาศก์เมตร และมีจำนวนสุกรขุน 9-35 ตัว เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้วันละ 2-4 ชั่วโมง หลังคาเรือนละ 81-126 วัตต์ โดยใช้หลอดไฟฟ้า LED จำนวน 9-14 หลอดต่อบ่อ ใช้ได้ไม่น้อยกว่า 10 ครัวเรือน ช่วยลดค่าใช้จ่าย (ค่าไฟฟ้า) ได้เดือนละ 96-130 บาท ซึ่งมีส่วนช่วยให้เกษตรกรในพื้นที่สูงที่อยู่ห่างไกลหรือในถิ่นทุรกันดาร มีความสุขและสามารถติดตามข่าวสารของราชการ ตลอดจนรายการบันเทิงต่าง ๆ จากโทรทัศน์ในบ้านพักได้เช่นเดียวกับประชาชนในพื้นราบ

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้า

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องยนต์ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง จำนวน 11 ราย ในพื้นที่ตำบลแม่สอง อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก และตำบลแม่สามแลบ อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยสัมภาษณ์ตามแบบสอบถาม พบว่า เกษตรกรมีความพึงพอใจระดับ “มากที่สุด” (มีค่าคะแนนเฉลี่ย 4.99 จากคะแนนเต็ม 5) ในทุกด้าน เช่น การติดตั้งเครื่องยนต์มีประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิต ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าที่เพียงพอต่อการใช้งาน ครอบครัวมีความสุข ชีวิตความเป็นอยู่ดีขึ้น มีสัมพันธภาพที่ดีกับครอบครัวและเพื่อนบ้าน ได้รับความรู้ใหม่ สามารถลดค่าใช้จ่ายของครอบครัว สามารถเป็นต้นแบบให้กับคนในชุมชน และประทับใจต่อการดำเนินงานของเจ้าหน้าที่ เป็นต้น ทั้งนี้เพราะในพื้นที่ดังกล่าวไม่มีไฟฟ้าใช้ เมื่อโครงการวิจัยได้สนับสนุนให้เกษตรกรนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากมูลสัตว์เองมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้ ทำให้ครอบครัวมีความสุขมากขึ้น เนื่องจากสามารถใช้ไฟฟ้าได้กับอุปกรณ์หลาย ๆ ชนิดที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตประจำวัน เช่น ชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์ แบตเตอรี่ส่องแสงสว่าง หุงข้าว ตัดผม สว่านไฟฟ้า เป็นต้น

สรุป

จากการศึกษาขนาดบ่อก๊าซชีวภาพ 3 ขนาด คือ 8, 12 และ 16 ลูกบาศก์เมตร ในชุมชนของโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง 4 ราย คือ ชุมชนแบบโครงการหลวงแม่สอง อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก จำนวน 3 ราย และแบบโครงการหลวงแม่สามแลบ อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 1 ราย เพื่อนำก๊าซที่ผลิตได้มาใช้เป็นพลังงานทดแทนกับเครื่องยนต์ขนาด 7.5 แรงม้า ฉุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3 กิโลวัตต์ โดยศึกษาในสภาพจริงของเกษตรกรซึ่งอยู่ในพื้นที่ห่างไกลทุรกันดารและไม่มีไฟฟ้าใช้ สรุปได้ว่า บ่อก๊าซชีวภาพบนพื้นที่สูงขนาดความจุ 12-16 ลูกบาศก์เมตร และมีจำนวนสุกรขุน 9-35 ตัว เป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้วันละ 2-4 ชั่วโมง หลังคาเรือนละ 81-126 วัตต์ โดยใช้หลอดไฟฟ้า LED จำนวน 9-14 หลอดต่อครัวเรือน แบ่งปันให้เพื่อนบ้านใช้ได้อีกไม่น้อยกว่า 6 ครัวเรือน รวมทั้งสิ้น 10 ครัวเรือน ช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ 96-130 บาทต่อเดือน นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ใช้กระแสไฟไม่มาก เช่น การชาร์จแบตเตอรี่สำหรับใช้กับแผงโซล่าเซลล์ ไฟฉาย ทีวี พัดลม และโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น นอกเหนือจากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้หุงต้มในครัวเรือนทดแทนก๊าซ LPG หรือทดแทนการใช้ฟืนที่เป็นกิจกรรมประจำวันอยู่แล้วด้วย สำหรับการลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟล์หรือก๊าซไข่เน่าที่จะทำให้เครื่องยนต์เสียหาย เสื่อมสภาพเร็ว สามารถใช้ชุดกรองที่ทำขึ้นจากสารเคลือบด้วยเฟอริกไฮดรอกไซด์ [$Fe(OH)_3$] ซึ่งกำจัดก๊าซไข่เน่าได้ 99.73-99.91%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนทุนวิจัย และเกษตรกรทุกท่านที่เข้าร่วมศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งช่วยให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์และเป็นประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

Amaral, A.C., A. Kunz, R.L.R. Steinmetz, L.A. Scussiato and D.C. Tapparo. 2015. Anaerobic digestion of swine manure: stratified production units and its biogas potential. (Online). Available: https://www.researchgate.net/publication/278019082_anaerobic_digestion_of_swine_manure_stratified_production_units_and_its_biogas_potential (September 1, 2019)

Ayade, M. and A.A. Latey. 2016. Performance and emission characteristics of biogas-petrol dual fuel in SI engine. International Journal of Mechanical Engineering and Technology 7(2): 45-54.

Department of Alternative Energy Development and Efficiency. 2013. Thailand Energy Efficiency Situation 2013. Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Bangkok. 42 p. (in Thai)

Driehaus, W., M. Jekel and U. Hildebrandt. 1998. Granular ferric hydroxide-a new absorbent for the removal of arsenic from natural water. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua 47(1): 30-35.

Irvan, B. Trisakti, T. Husaini, A. Sitio and T.B. Sitorus. 2017. Performance evaluation on Otto engine generator using gasoline and biogas from palm oil mill effluent. IOP Conference Series: Materials Science Engineering 206 012028, doi: 10.1088/1757-899X/206/1/012028.

Kristoferson, L.A. and V. Bokalders. 1991. Renewable Energy Technologies: Their Applications in Developing Countries. ITDG Publishing, London.

Landahl, G. 2003. Biogas as Vehicle Fuel: A European Overview. Trendsetter Report No. 2003:3. Stockholm Environment Administration, Stockholm. 51 p.

Mihic, S. 2004. Biogas fuel for internal combustion engines. Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara. Tome II, Fascicole 3: 179-190.

Patzer, B. 1997. Colloidal suspensions and physical science: Possible classroom applications to Hanford and wastewater treatment. (Online). Available: https://legacy.voiland.wsu.edu/modules/97modules/patzer/module.htm (September 1, 2019)

Persson, M. 2007. Biogas upgrading and utilization as vehicle fuel. pp 59-64. In: Proceedings of European Biogas Workshop: The Future of Biogas in Europe III, University of Southern Denmark, Esbjerg, Denmark.

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

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

Supasathitkul, W.1986. Diatomite insulating brick. B.Sc. Special Problem, Department of Industrial Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)

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

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

Tangtaweewipat, S., O. Songsee, B. Cheva-Isarakul and A. Seepai. 2011b. Diminishing of hydrogen sulfide and carbon dioxide from biogas for community use. Final Report. National Science and Technology Development Agency (Northern Branch), Ministry of Science and Technology, Bangkok. 56 p. (in Thai)

Tangtaweewipat, S., B. Cheva-Isarakul, O. Songsee, W. Thantharak and K. Puakchareon. 2018. Biogas Production for Decreasing Environmental Problems and Using as an Energy Source in Kitchen. 8th ed. Trio Advertising & Media Co. Ltd., Chiang Mai. 36 p. (in Thai)

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

Thirunavukkarasu, O.S., T. Viraraghavan and K.S. Subramanian. 2003. Arsenic removal from drinking water using granular ferric hydroxide. Water SA 29(2): 161-170.

การใช้สารช่วยหมักร่วมกับเครื่องเทศในขาแกะรมควัน และสารช่วยย่อยในสตูเนื้อแกะ

Use of Marinade Solutions with Spices in Smoked Lamb Legs and Tenderizers in Mutton Stew

สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์[1*] ภัทวรา ปฐมรังษิยังกุล[2] บุญล้อม ชีวะอิสระกุล[1] วิไลพร ทัณฑะรักษ์[3] ณัฐกานต์ มณีทอง[3] เอื้องพลอย ใจลังกา[4] และ วุฒิชัย ลัดเครือ[4]

Suchon Tangtaweewipat[1,*], Pattavara Pathomrungsiyounggul[2], Boonlom Cheva-Isarakul[1], Wilaiporn Thantharak[3], Nuttakarn Maneethong[3], Auengploy Chailangka[4] and Vuttichai Ladkruea[4]

[1]ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

[2]สำนักวิชาอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

[2]School of Agro-Industry, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

[3]งานวิจัยและพัฒนาปศุสัตว์ มูลนิธิโครงการหลวง จ. เชียงใหม่ 50200

[3]Livestock Research and Development Division, Royal Project Foundation, Chiang Mai 50200, Thailand

[4]ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์เชียงใหม่ กองผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ จ. เชียงใหม่ 50200

[4]Chiang Mai Livestock Product Research and Development Center, Division of Livestock Products, Department of Livestock Development, Chiang Mai 50200, Thailand

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

(Received: 4 June 2020; Accepted: 7 August 2020)

Abstract: Six fattening male wool sheep with the average age 14.6 ± 1.9 months and weighed 37.1 ± 4.0 kg were slaughtered. It was found that the percentage of carcass was 50.1%. The carcass which composed of neck meat, shoulder meat, chest meat, legs, rib fillet, loin and hip meat was 38.8% of LW. When the visceral after cleaning (12.7% LW) was included, the edible part was 51.5% LW. The processing of smoked lamb legs was done by dividing 24 front and hind legs of sheep, with the average weight of 1.69 kg/leg, into 4 groups, each with 6 replicates. They were marinated overnight with 4 different solutions, either no spice or with spice plus different amount of other ingredients i.e. salt, sugar and sodium erythorbate ($C_6H_7NaO_6$). After smoking for 6 hours with sugar cane pulp, the tasting was done using 9-point hedonic scale on sensory evaluation by 56 persons. The result revealed that the taster significantly preferred the lamb meat being marinated in the solution No. 3 which contained spice, plus 25 g sodium erythorbate, 500 g salt and 1,250 g sugar (0.2, 4.0 and 10.1% of the solution, respectively) to the other solutions (P<0.05). The degree of satisfaction was at slightly like with the score of 6.93 ± 1.13%. The second preference was the marinade No. 4 which also contained spice but had higher salt content (1,000 g or 7.8%). The processing of lamb stew was done by using 1.5 kg hip mutton being cut into 24

small pieces and allotted to 3 groups, each with 3 replicates. They were mixed thoroughly with one of the 3 tenderizers. Group 1: with 50 g medium ripe pineapple, left for 15 min before discarding the pineapple. Group 2: with 1 spoonful baking soda, left for 1 hour. Group 3: with 1 spoonful commercial enzyme, left for 30 min. After that, each mixture was subjected to stew cooking and then being evaluated using 9-point Hedonic scale as in the case of smoke lamb legs. It was found that the marination with pineapple which contained Bromelain enzyme and tasty juice gained significantly more favor than the other 2 ingredients (P<0.05). The satisfaction was at medium level with the score of 7.20 ± 1.24 which might be due to the unfamiliar of lamb products among most Thai.

Keywords: Lamb, marinade, tenderizer, smoked lamb leg, mutton stew

บทคัดย่อ: แกะขนเพศผู้ที่ผ่านการขุนมาแล้วจำนวน 6 ตัว มีอายุเฉลี่ย 14.6 ± 1.9 เดือน มีน้ำหนักตัว 37.1 ± 4.0 กิโลกรัม เมื่อนำไปชำแหละ มีเปอร์เซ็นต์ซากเฉลี่ย (ไม่รวมเครื่องใน) 50.1% ซึ่งประกอบด้วยส่วนซาก 38.8% LW ได้แก่ เนื้อคอ เนื้อไหล่ เนื้ออก ขา สันซี่โครง สันสะเอว และเนื้อสะโพก เมื่อรวมเครื่องในหลังล้างซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ย 12.7% LW แล้ว นับเป็นส่วนที่รับประทานได้เท่ากับ 51.5% LW ในการนำเนื้อส่วนขาแกะทั้งขาหน้าและขาหลังไปรมควันได้ใช้จำนวน 24 ขา น้ำหนักเฉลี่ยขาละ 1.69 กิโลกรัม แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ใช้น้ำหมักที่ไม่ใส่และใส่เครื่องเทศ รวมทั้งมีสารช่วยหมัก ได้แก่ เกลือ น้ำตาลและโซเดียมอิริทอร์เบต ($C_6H_7NaO_6$) ระดับต่างกัน 4 สูตร ต้มให้เดือด ทิ้งไว้ให้เย็น ก่อนฉีดเข้าเนื้อขาละประมาณ 1.5 ลิตร นวดแล้วหมักทิ้งไว้ในตู้เย็นข้ามคืน แล้วนำไปรมด้วยควันอ้อยนาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบการชิมและประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ประเมินจำนวน 56 คน ผลปรากฏว่า ขาแกะรมควันสูตรน้ำหมักที่ 3 คือ สูตรที่ใส่เครื่องเทศ มีโซเดียมอิริทอร์เบตระดับ 25 กรัม เกลือ 500 กรัมและน้ำตาล 1,250 กรัม (0.2, 4.0 และ 10.1% ของน้ำหมัก ตามลำดับ) ผู้บริโภคมีความชอบโดยรวมมากที่สุด อยู่ในระดับ “ชอบเล็กน้อย” (คะแนน 6.93 ± 1.13) สูงกว่าสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) รองลงมาเป็นสูตรที่ 4 ซึ่งเป็นน้ำหมักที่ใส่เครื่องเทศเช่นเดียวกัน แต่มีระดับเกลือ 1,000 กรัม (7.8%) สำหรับการทำสตูเนื้อแกะ ได้ใช้เนื้อส่วนสะโพก จำนวน 1.5 กิโลกรัม หั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดีคำ จำนวน 24 ชิ้น แบ่งเนื้อออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ซ้ำ หรือรวมทั้งสูตร (กลุ่ม) ประมาณ 500 กรัม นำไปหมักกับสารช่วยย่อย หรือสารช่วยให้เนื้อนุ่ม (tenderizer) ต่างกัน 3 ชนิด ขยำให้เข้ากับเนื้อสะโพก คือ สูตรที่ 1 ใช้สับปะรดสุกปานกลาง 50 กรัม หมัก 15 นาที แล้วแยกเนื้อสับปะรดออก สูตรที่ 2 ใช้เบกกิ้งโซดา 1 ช้อนโต๊ะ หมัก 1 ชั่วโมง และสูตรที่ 3 ใช้เอนไซม์ทางการค้า 1 ช้อนโต๊ะ หมัก 30 นาที จากนั้นนำไปทำเป็นสตู แล้วทดสอบการชิมด้วยวิธี 9-point hedonic scale เช่นเดียวกับขาแกะรมควัน ปรากฏว่า ผู้ชิมชอบสูตรหมักที่ใช้สับปะรดซึ่งมีเอนไซม์โบรมีเลนและมีรสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อยจากน้ำสับปะรดมากกว่าสูตรเบกกิ้งโซดาและเอนไซม์การค้าอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยมีความชอบโดยรวมอยู่ในระดับ “ปานกลาง” มีค่าคะแนนเท่ากับ 7.20 ± 1.24

คำสำคัญ: แกะขน สารช่วยหมัก สารช่วยให้เนื้อนุ่ม ขาแกะรมควัน สตูเนื้อแกะ

คำนำ

แกะพันธุ์ขนที่เลี้ยงในพื้นที่สูง ส่วนใหญ่เลี้ยงไว้เพื่อตัดขน นำไปเป็นวัตถุดิบทำผ้าขนแกะ ซึ่งมีทั้งใช้ขนแกะล้วน ๆ และผสมกับผ้าฝ้ายตามความต้องการของผู้ซื้อ เช่น กลุ่มทอผ้าขนแกะบ้านห้วยห้อม ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ลาน้อย (SACICT, 2019) สำหรับลูกแกะเพศผู้ที่คัดออกจากฝูงส่วนใหญ่นำไปขุนจนโตและจำหน่ายเป็นเนื้อแกะเพื่อการบริโภค โดยสามารถทดแทนการนำเข้าเนื้อแกะจากต่างประเทศที่มีราคาค่อนข้างสูงได้ โดยทั่วไปในแต่ละปีแกะสามารถให้ลูกได้ 2 ครั้ง (ครอก) ซึ่งมีโอกาสเกิดลูกแฝดได้สูงถึงร้อยละ 60.8

(Cheva-Isarakul, 1998) ภายในฝูงแกะนี้จึงมีทั้งลูกแกะที่คลอดใหม่ทุกปี แกะรุ่นหนุ่ม-สาวที่ด้อยคุณภาพ และแกะพ่อแม่พันธุ์ที่ให้ผลผลิตขนและการให้ลูกต่ำ หากนำแกะเหล่านี้มาขุนแล้วนำเนื้อและหนังมาแปรรูป จะช่วยเพิ่มสมรรถภาพการผลิตและสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มได้ (Figure 1)

เนื้อแกะมีโปรตีนร้อยละ 15.7 มีไขมันร้อยละ 22.7 เป็นแหล่งของธาตุสังกะสี (zinc) ที่ช่วยเสริมระบบภูมิคุ้มกัน ช่วยรักษาแผลให้หายเร็วขึ้น ช่วยคงระดับน้ำตาลในเลือด และทำให้อัตราการเผาผลาญอาหารคงที่ (Pornchalermpong and Rattanapanont, 2018)

เนื้อแกะตามมาตรฐานของ National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (2006) ได้แบ่งออกเป็น 8 ส่วนใหญ่ ๆ (Figure 2) ได้แก่ 1) สันสะเอว (loin) เป็นชิ้นส่วนที่ได้จากการตัดผ่านกระดูกสันหลัง ระหว่างกระดูกซี่โครงซี่ที่ 12 กับซี่ที่ 13 จนถึงกระดูกสันหลังข้อสุดท้ายที่ต่อกับส่วนสะโพก (chump) 2) ขาหลัง (hind leg) เป็นชิ้นส่วนจากการตัดขวางตั้งฉากกับแนวยาวของกระดูกขาหลังที่กระดูกสันหลังข้อสุดท้ายต่อกระดูกหาง โดยมีส่วนหัวกระดูกขาหลัง (femur) ขนาดประมาณ 2.5 เซนติเมตร ติดอยู่ด้วย 3) สะโพก (chump) เป็นชิ้นส่วนที่ได้จากการตัดผ่านกระดูกสันหลังส่วนเอวข้อสุดท้าย 4) สันซี่โครง (rack) ได้จากการตัดตามยาวผ่านกระดูกสันหลังระหว่างซี่โครงซี่ที่ 3 และ 4 ถึงซี่โครงซี่ที่ 12 โดยตัดแยกส่วนอกออก 5) ไหล่ (shoulder) ได้จากการตัดตามยาวจากบริเวณส่วนคอต่อกับกระดูกสันหลัง ถึงกระดูกซี่โครงซี่ที่ 3 6) ขาหน้า (fore leg) ได้จากการตัดขาหน้าที่ติดกระดูกใบพายแยกจากส่วนไหล่ 7) อก (breast) เป็นชิ้นส่วนที่ได้จากการตัดตามขวางกระดูกซี่โครงให้ขนานกับแนวกระดูกสันหลัง กว้างประมาณ 1 ใน 3 ของความกว้างของกระดูกอกถึงกระดูกสันหลัง ให้ติดเนื้อส่วนพื้นท้อง และ 8) คอ (neck) เป็นชิ้นส่วนที่ได้จากการตัดแยกผ่านกระดูกส่วนคอต่อกับกระดูกสันหลัง

การแปรรูปเนื้อสัตว์มีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต หรือการแปรรูป รวมทั้งการปรุงแต่งรสชาติ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกัน การแปรรูปเนื้อสัตว์ หมายถึง กรรมวิธีหรือกระบวนการที่ทำให้เนื้อสดเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไปจากสภาพเดิม โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษา เพิ่มรสชาติ เพิ่มมูลค่าของเนื้อสัตว์ รวมทั้งเพื่อใช้เนื้อสัตว์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเนื้อสัตว์

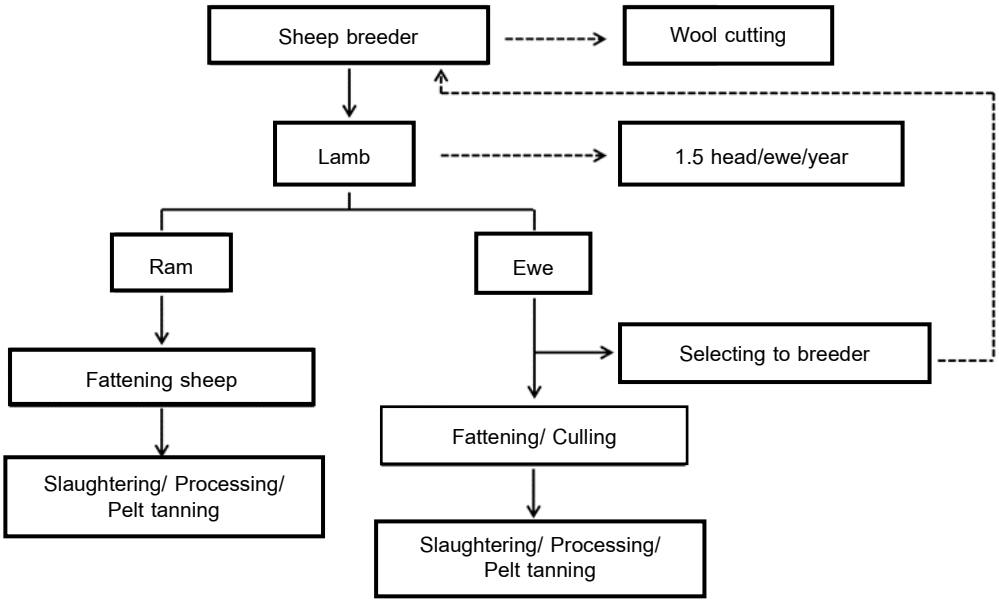
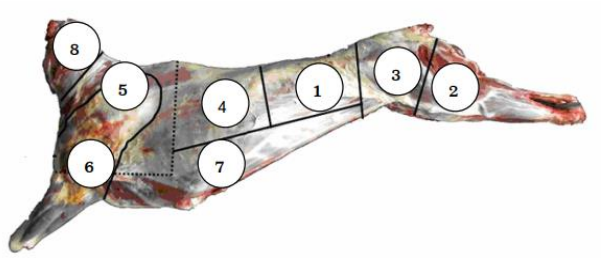


Figure 1. Wool sheep production
(Tangtaweewipat *et al.*, 2019)



Lamb carcass is divided into 8 parts

1. loin
2. hind legs
3. chump or hip
4. rack or rib
5. shoulder
6. fore legs
7. breast or chest
8. neck

Figure 2. Lamb carcass and its cuts

(National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2006)

ที่ผ่านการแปรรูปแล้วสามารถนำมาบริโภคได้โดยตรง หรืออาจต้องนำไปปรุงสุกด้วยวิธีการ ต้ม นึ่ง ทอด หรือ ย่าง ก่อน (Division of Livestock Extension and Development, 2019)

การทำให้เนื้อสัตว์มีความนุ่มทำได้หลายวิธี เช่น การหมักกับสับปะรด เพราะน้ำสับปะรดมีเอนไซม์โบรมีเลน (bromelain) ช่วยย่อยโปรตีนในเนื้อ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มรสชาติจากผลไม้ หรือการใช้เอนไซม์ทางการค้าช่วยย่อยเนื้อ หรือการใช้เบกกิ้งโซดา (โซเดียมไบคาร์โบเนต, $NaHCO_3$) ซึ่งทำให้เนื้อสัตว์อุ้มน้ำได้ดีขึ้น ส่งผลให้เนื้อนุ่ม รวมทั้งให้อิออนของไบคาร์โบเนต (HCO_3^-) เมื่อนำเนื้อไปต้มให้สุกจะเกิดฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แทรกตัวในชิ้นเนื้อ จึงเพิ่มรูพรุนในเนื้อต้มสุก ทำให้เนื้อมีความนุ่มละมุน (velveting) นอกจากนี้ยังมีการถนอมหรือปรุงแต่งเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ด้วยสารหลายชนิด เช่น เกลือ (NaCl) ซึ่งให้มีรสชาติเค็มและช่วยยืดอายุเนื้อสัตว์ โซเดียมไนไทรต์ (sodium nitrite, $NaNO_2$) และ โซเดียมไนเทรต (sodium nitrate, $NaNO_3$) ทำหน้าที่ในการสร้างสีแดงอมชมพู และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จำพวกคลอสตริเดียมบอทูลินั่ม ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 281 พ.ศ. 2547 ได้กำหนดปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารได้ไม่เกิน 125 และ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Santiparadorn, 2020) สารประกอบฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ช่วยทำให้เนื้ออุ้มน้ำได้มากขึ้น โปรตีนถั่วเหลือง (soy protein) เป็นสารช่วยในการรวมตัว น้ำตาลให้รสชาติหวาน โซเดียมอีริทอร์เบต (sodium erythorbate, $C_6H_7NaO_6$) เพื่อเร่งอัตราการ reduce สาร nitrite และ nitrate ให้เป็น nitric oxide ซึ่งเมื่อรวมตัวกับ myoglobin ในเนื้อสัตว์ เกิดเป็นสีชมพู และป้องกันการเกิดสารไนโตรซามีน (nitrosamine) ที่เป็นสารก่อมะเร็ง อีกทั้งยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ป้องกันการหืนจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ไขมัน (lipid oxidation) ด้วย (Pornchalermpong and Rattanapanont, 2020) นอกจากนี้ยังอาจมีการใส่เครื่องปรุงแต่งรสอื่น ๆ เช่น เครื่องเทศช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ (Samaunkid, 2005) การนำเนื้อแกะส่วนขามาแปรรูปด้วยวิธีรมควัน และนำส่วนสะโพกมาแปรรูปโดยการทำเป็นสตู ตามความนิยมของคนไทย อาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มชนิดของผลิตภัณฑ์เนื้อแกะของมูลนิธิโครงการหลวง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากคนทั่วไปชอบรับประทานสตูที่เนื้อนุ่มเคี้ยวง่าย รสชาติกลมกล่อม มีน้ำปรุงขลุกขลิก วัตถุประสงค์ในการทดลองนี้เพื่อต้องการศึกษาหาสูตรน้ำหมักขาแกะ และสูตรสารหมักเนื้อสะโพกแกะที่เหมาะสม ในการช่วยให้ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อแกะ ที่มีลักษณะน่ารับประทานเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

นำแกะขนเพศผู้ที่ผ่านการขุนแล้ว อายุระหว่าง 12-18 เดือน จำนวน 6 ตัว ซึ่งเลี้ยงที่สถานีเกษตรหลวงอินทนนท์ มูลนิธิโครงการหลวง มีการให้อาหาร และการจัดการเลี้ยงดูเช่นเดียวกัน มีอายุและน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 14.6 ± 1.9 เดือน และ 37.1 ± 4.0

กิโลกรัม ตามลำดับ มาชำแหละที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์เชียงใหม่ กรมปศุสัตว์ หลังจากเนื้อแกะผ่านการบ่มด้วยการใช้พลาสติกห่อซากแขวนไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 0-4 °C เป็นเวลา 3 วัน นำมาตัดแต่งออกเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2006) แล้วนำเนื้อส่วนขาไปแปรรูปเป็นเนื้อขาแกะรมควัน และเนื้อส่วนสะโพกนำไปทำสตูต่อไป โดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1: ศึกษาสูตรน้ำหมักที่เหมาะสมในการแปรรูปเนื้อขาแกะรมควัน

สูตรน้ำหมักขาแกะ ประกอบด้วยสารช่วยหมัก (marinade) ใส่ร่วมและไม่ร่วมกับเครื่องเทศ ซึ่งมี 4 สูตร (Table 1) กล่าวคือ สูตรที่ 1 และ 2 ไม่ใส่เครื่องเทศ โดยสูตรที่ 2 มีปริมาณเกลือมากกว่าสูตรที่ 1 สำหรับสูตรที่ 3 และ 4 ใส่เครื่องเทศ โดยสูตรที่ 4 มีปริมาณเกลือมากกว่าสูตรที่ 3 ใช้ขาแกะทั้งหมด 24 ขา น้ำหนักเฉลี่ยขาละ 1.69 กิโลกรัม สุ่มแบ่งขาแกะ 6 ขา (6 ซ้ำ) สำหรับน้ำหมักแต่ละสูตร วิธีการเตรียมน้ำหมัก คือ ละลายเกลือและน้ำตาลในน้ำ ใส่โป๊ยกั๊กและ (ตามที่ระบุในแต่ละสูตร) ใส่ลงไป คนให้ละลายเข้ากัน ใบกระวาน นำไปต้มจนเดือด ยกลง นำส่วนผสมที่เหลือเก็บไว้ 1 คืนที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นกรองเอากากออก แล้วนำน้ำหมักไปฉีดเข้าในเนื้อขาให้ทั่วในขณะที่เนื้อแกะเย็น พร้อมกับนวดให้น้ำหมักเข้าเนื้อ โดยใช้น้ำหมักประมาณ 1.5 ลิตรต่อขา แล้วเก็บขาแกะไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำไปแขวนกลางตู้รมควันขนาด 1x1x1 เมตร แล้วรมด้วยชานอ้อยเป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำขาแกะออกจากตู้รมควัน เพื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

การทดลองที่ 2: หาสูตรที่เหมาะสมในการหมักเนื้อสะโพกแกะให้นุ่มสำหรับทำสตูแกะ

หั่นเนื้อแกะส่วนสะโพก 1.5 กิโลกรัมเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมพอดีคำจำนวน 24 ชิ้น แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 500 กรัม แต่ละกลุ่มหมักด้วยสารช่วยย่อย หรือสารช่วยทำให้นุ่ม (tenderizer) ต่างกัน ดังนี้

สูตรที่ 1 หมักด้วยสับปะรดสุกปานกลาง 50 กรัม ขยำให้เข้ากับเนื้อสะโพก หมักทิ้งไว้ 15 นาที แล้วแยกเนื้อสับปะรดออก

สูตรที่ 2 หมักด้วยเบกกิ้งโซดา (McGarrett® บริษัทเจอาร์ เอฟแอนด์บี จำกัด) จำนวน 1 ช้อนโต๊ะ ขยำให้เข้ากับเนื้อสะโพก หมักทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

สูตรที่ 3 หมักด้วยเอนไซม์ทางการค้า (McCormick® บริษัทแม็คคอร์มิค ประเทศไทย จำกัด) จำนวน 1 ช้อนโต๊ะ ขยำให้เข้าเนื้อสะโพก หมักทิ้งไว้ 30 นาที

Table 1. Marinade solutions before injecting into the lamb legs prior to smoking

Ingredients	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 4
Water (L)[1]	10	10	10	10
Sugar (g)	50	50	1,250	1,250
Salt (g)	250	750	500	1,000
Sodium nitrite (g)	50	50	50	50
Sodium erythorbate (g)	80	80	25	25
Sodium phosphate (g)	-	-	25	25
Soy protein (g)	-	-	125	125
Pepper powder (g)	-	-	125	125
Cooking Chinese liquor (g)	-	-	50	50
Anise (g)	-	-	125	125
Bay leaves (g)	-	-	125	125
Total (kg)	10.43	10.93	12.40	12.90

[1] 1 L = 1 kg

หลังจากหมักครบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้แล้ว ให้นำไปประกอบอาหารประเภทสตู โดยมีขั้นตอนดำเนินการ ดังนี้

- เปิดไฟระดับกลาง ใส่เนย จำนวน 25 กรัม ลงหม้อผัดหอมใหญ่ 250 กรัม พอสุก แล้วตักใส่หม้อต้มพักไว้
- ใช้ไฟระดับกลางต่อ ใส่เนยจำนวน 25 กรัม ผัดกระเทียม 20 กรัม จนเหลือง แล้วใส่เนื้อแกะที่เตรียมไว้ ผัดจนเนื้อแกะมีสีเหลือง หรือประมาณ 4-5 นาที แล้วตักใส่หม้อต้มรวมกับหอมใหญ่ที่ผัดแล้ว
- ใส่น้ำจำนวน 600 มิลลิลิตร ลงในหม้อต้ม เปลี่ยนไปใช้ไฟอ่อน จากนั้นใส่ใบกระวานจำนวน 5 ใบ ออริกาโน ½ ช้อนโต๊ะ พริกไทยดำเม็ด 20 เม็ด ต้มทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
- ปรุงรสด้วยวูสเตอร์ซอส สูตร 2 จำนวน 5 ช้อนโต๊ะ ซอสมะเขือเทศเข้มข้นจำนวน 170 กรัม ซอสมะเขือเทศ 5 ช้อนโต๊ะ น้ำตาล ½ ช้อนโต๊ะ เกลือ 1 ช้อนโต๊ะ แครอทหั่นแบบลูกเต๋าขนาด 1 x 1 นิ้ว จำนวน 250 กรัม มันฝรั่งหั่นแบบลูกเต๋าขนาด 1 x 1 นิ้ว จำนวน 250 กรัม เช่นกัน แล้วตุ๋นต่อด้วยไฟอ่อนอีก 2 ชั่วโมง

จากนั้นนำสตูแกะที่ได้ไปทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบผลิตภัณฑ์เนื้อขาแกะรมควันและสตูแกะ ใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 9-points hedonic scale (คะแนน 1=ไม่ชอบมากที่สุด จนถึง 9=ชอบมากที่สุด, Peryam and Pilgrim, 1957) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 56 คน ประกอบด้วยกลุ่มผู้ผ่านการฝึกฝน กลุ่มนักวิชาการ และผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 15, 10 และ 31 ราย ตามลำดับ ทดสอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติเนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม ข้อมูลที่ได้จากการประเมินนำมาหาค่าเฉลี่ย (mean) และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variances) ด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) และหาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Duncan's new multiple range test ตามที่ระบุไว้โดย Steel *et al.* (1997) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ลูกแกะเพศผู้ที่ผ่านการขุนแล้วทั้ง 6 ตัว เมื่อนำมาชำแหละ พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ซากเฉลี่ย (ไม่รวมเครื่องใน) 50.3% ซึ่งประกอบด้วยส่วนซาก ได้แก่ เนื้อคอ เนื้อไหล่ เนื้ออก ขาหน้า ขาหลัง สันซี่โครง สันสะเอว และเนื้อสะโพก เท่ากับ 2.6, 2.7, 3.0, 9.0, 9.2, 3.2, 3.2 และ 6.0% LW (live weight) ตามลำดับ รวม 38.8% LW (Table 2) เมื่อรวมเครื่องในหลังล้าง 12.7% LW แล้ว นับว่ามีส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้ 51.5% LW ส่วนที่ใช้

Table 2. Carcass composition of male fattening sheep (n = 6)

	Mean ± SD		
Carcass percentage	50.3 ± 2.0		
Edible part (% LW)		**Inedible part** (% LW)	
Body carcass	38.8	Blood	2.7
Neck meat	*2.6*	Front ankle	1.6
Shoulder meat	*2.7*	Rear ankle	1.3
Chest (breast meat)	*3.0*	Head	7.0
Fore legs	*9.0*	Sex organ	1.3
Hind legs	*9.2*	Stomach and intestinal food residue	14.5
Rib fillet (rack)	*3.2*	Skin	14.6
Loin	*3.2*		
Hip meat (chump)	*6.0*		
Visceral after cleaning	12.7		

ประโยชน์ไม่ได้ คือ เลือด ข้อขาหน้า ข้อขาหลัง หัว อวัยวะเพศ เศษอาหารที่ค้างในลำไส้กับกระเพาะ และหนัง มีสัดส่วนเท่ากับ 2.7, 1.6, 1.3, 7.0, 1.3, 14.5, และ 14.6% LW ตามลำดับ หรือคิดรวมทั้งตัวเท่ากับ 43.0% LW จะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์ขาแกะทั้งขาหน้าและหลังในการทดลองนี้ ซึ่งมีสัดส่วน 9.0 และ 9.2% รวมเท่ากับ 18.2% LW หรือประมาณ 36.3% carcass weight (CW) มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Kirton *et al.* (1999) ที่ระบุว่า ขาแกะส่งออกของประเทศนิวซีแลนด์ คุณภาพต่าง ๆ จำนวน 11 เกรด จากซากแกะทั้งหมด 1,621 ตัว มีสัดส่วนของขาเท่ากับ 33.2-35.0% เฉลี่ย 34.1% CW นอกจากนี้ Kirton *et al.* (1999) ยังได้รายงานว่า ขาแกะดังกล่าว มีส่วนไขมัน 12.7-23.2% เฉลี่ย 19.1% เนื้อแดง 62.8-69.2% เฉลี่ย 66.4% และกระดูก 12.7-16.9% เฉลี่ย 14.4% ซึ่งจะเห็นได้ว่า ขาของแกะขุนที่ส่งออกข้างต้นมีไขมันและกระดูกในสัดส่วนใกล้เคียงกัน โดยไขมันมีค่าแปรผันมากกว่า ในขณะที่มีเนื้อแดงประมาณ 2 เท่าของไขมันและกระดูกรวมกัน (66.4 vs. 33.5% ตามลำดับ)

ผลการทดลองที่ 1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสเนื้อขาแกะรมควัน

หลังจากได้รมควันขาแกะที่ผ่านการหมักในตู้รมควันเป็นเวลา 6 ชั่วโมงแล้ว ได้ขาแกะรมควันที่รอการตัดแต่ง และรอการตรวจชิม (Figure 3)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนื้อขาแกะรมควันที่แปรรูปด้วยน้ำหมักต่างกัน 4 สูตร (Table 3) มีดังนี้

ผู้ชิมให้คะแนนความชอบลักษณะปรากฏ (appearance) ของเนื้อขาแกะที่หมักด้วยสูตรที่ 3 มากที่สุด ซึ่งมากกว่าการหมักด้วยสูตรที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) คุณลักษณะด้านสี (color) พบว่า ผู้ทดสอบมีความชอบสีของเนื้อขาแกะรมควันที่หมักจากน้ำหมักทุกสูตรไม่ต่างกันในทางสถิติ (P>0.05) ส่วนคุณลักษณะด้านกลิ่น (aroma) พบว่า การใช้น้ำหมักสูตรที่ 3 และ 4 ซึ่งมีเครื่องเทศเป็นส่วนผสม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนน 6.43-6.71 สูงกว่าการใช้น้ำหมักสูตรที่ 1 และ 2 (คะแนน 5.34-5.95) ซึ่งไม่มีการใช้เครื่องเทศ ทั้งนี้

Figure 3. Smoked lamb legs ready for trimming and tasting

Table 3. Sensory evaluation of smoked lamb leg meat by all taste panels (n= 56)[1]

	Marinade sol. 1	Marinade sol. 2	Marinade sol. 3	Marinade sol. 4	*P* - value
Appearance	5.84±1.35[b]	6.32±1.21[ab]	6.66±1.15[a]	6.21±1.26[ab]	0.007
Color	5.89±1.36	5.98±1.36	6.41±1.29	6.00±1.28	0.165
Aroma	5.34±1.61[c]	5.95±1.52[b]	6.71±1.20[a]	6.43±1.20[ab]	<0.001
Taste	5.75±1.49[c]	6.21±1.63[bc]	6.88±1.38[a]	6.41±1.44[ab]	0.001
Texture	6.14±1.38[b]	6.29±1.72[ab]	6.79±1.42[a]	6.64±1.54[ab]	0.042
Overall liking	5.70±1.37[c]	6.14±1.63[bc]	6.93±1.13[a]	6.30±1.39[b]	<0.001

[a, b, c] Mean in the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

[1] Degree of liking; 0.9-1.8 = totally unlike; 1.9-2.7 = very unlike; 2.8-3.6 = medium unlike; 3.7-4.5 = slightly unlike; 4.6-5.7 = neutral; 5.5-6.3 = slightly like; 6.4-7.2 = medium like; 7.3-8.1 = very like and 8.2-9.0 = like most

อาจเนื่องมาจากเครื่องเทศช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมชวนรับประทานมากขึ้น โดยขาแกะสูตรที่ 3 มีคะแนนสูงที่สุด (P>0.05)

เมื่อพิจารณาความชอบด้านรสชาติ (taste) พบว่า น้ำหมักที่ใช้เครื่องเทศ (น้ำหมักสูตรที่ 3 และ 4) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติเป็นที่ยอมรับมากกว่า (คะแนน 6.41-6.88) น้ำหมักที่ไม่ใช้เครื่องเทศดังสูตรที่ 1 และ 2 (คะแนน 5.75-6.21) โดยน้ำหมักสูตรที่ 3 ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติดีที่สุด (P>0.05) สำหรับคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส (texture) พบว่า ผู้ทดสอบชอบเนื้อแกะรมควันที่หมักด้วยน้ำหมักสูตรที่ 3 มากที่สุด (P>0.05)

เมื่อพิจารณาด้านการยอมรับโดยรวม (overall liking) พบว่า การใช้เครื่องเทศและน้ำหมักสูตรที่ 3 และ 4 ทำให้เนื้อขาแกะรมควันได้คะแนนการยอมรับโดยรวมสูงกว่าสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งไม่ใช้เครื่องเทศ โดยสูตรที่ 3 ได้คะแนนมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

การที่ขาแกะรมควันสูตรที่ 3 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และสูตรที่ 4 มีคะแนนรองเป็นลำดับถัดไป ซึ่งมากกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ อาจจะเป็นเพราะน้ำหมัก 2 สูตรนี้มีเครื่องเทศช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมและมีรสที่เป็นเอกลักษณ์ (Samaunkid, 2005) รวมทั้งมีสารช่วยหมัก เช่น ฟอสเฟต และ โปรตีนจากถั่วเหลือง (soy protein) ซึ่งมีส่วนช่วยให้เนื้ออุ้มน้ำได้มากขึ้น (Pornchalermpong and Rattanapanont, 2020) แต่การที่สูตรที่ 3 ได้คะแนนมากกว่าสูตรที่ 4 อาจเป็นเพราะมีเกลือในระดับที่พอเหมาะ ขณะที่สูตร 4 มีเกลือสูงกว่า 1 เท่า (4.0 เทียบกับ 7.8% ของน้ำหมัก) ซึ่งอาจจะทำให้เค็มเกินไป

จากผลการทดลองทั้งหมดชี้ให้เห็นว่า เนื้อขาแกะรมควันที่หมักด้วยสูตรน้ำหมักสูตรที่ 3 ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบสูงสุดในทุกคุณลักษณะ โดยเฉพาะได้รับการยอมรับโดยรวมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกน้ำหมักสูตรที่ 3 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเนื้อขาแกะรมควัน

ผลการทดลองที่ 2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของสตูเนื้อสะโพกแกะ

สตูเนื้อสะโพกแกะขณะปรุงและปรุงเสร็จแล้ว (Figure 4) เมื่อนำสตูไปทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale (Table 4) สามารถพิจารณาได้ดังนี้

ด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัส พบว่า การหมักทั้ง 3 วิธี คือ หมักด้วยสับปะรด หมักด้วยเบกกิ้งโซดาและหมักด้วยเอนไซม์ทางการค้า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยผู้ทดสอบให้คะแนนแสดงถึง “ชอบเล็กน้อย” ซึ่งมีคะแนนระหว่าง 6.55-6.95, 6.66-6.91 และ 6.39-6.91 ตามลำดับ ด้านกลิ่น พบว่า ผู้ทดสอบชิมชอบกลิ่นของสตูแกะที่หมักด้วยวิธีที่ 1 (ใช้สับปะรด) มากที่สุดซึ่งแตกต่างจากสตูแกะที่หมักด้วยวิธีที่ 3 (ใช้เอนไซม์ทางการค้า) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในส่วนของความชอบด้านรสชาติ เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับด้านกลิ่น ส่วนด้านการยอมรับโดยรวม พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนสตูแกะที่หมักด้วยสูตรที่ 1 มากที่สุด (P<0.05)

การที่สตูเนื้อแกะสูตรที่ 1 ได้คะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด ซึ่งสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ น่าจะเนื่องมาจากการนวดด้วยเนื้อสับปะรดสุกปานกลางนั้น นอกจากจะมีเอนไซม์โบรมิเลนที่ช่วยย่อยโปรตีนในเนื้อทำให้เนื้อนุ่มขึ้นแล้ว ยังมีกลิ่นหอมและรสหวานอมเปรี้ยวชวนรับประทานด้วย (Samaunkid, 2005; Pornchalermpong and Rattanapanont, 2020) ดังจะเห็นได้จากคะแนนของกลิ่นและรสชาติของสูตรนี้ที่มีค่าสูงกว่าสูตรอื่น โดยเฉพาะสูตรที่ใช้เอนไซม์การค้าอย่างมีนัยสำคัญ

เนื่องจากการหมักเนื้อสะโพกแกะด้วยสูตรที่ 1 ทำให้สตูแกะได้ความชอบทุกคุณลักษณะสูงที่สุด และได้การยอมรับรวมมากกว่าสตูแกะที่หมักเนื้ออีกสองสูตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แสดงว่าการหมักเนื้อสะโพกแกะด้วยสับปะรด (สูตรที่ 1) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตสตูจากเนื้อสะโพกแกะ

อย่างไรก็ดี การที่คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ขาแกะรมควัน และสตูเนื้อสะโพกแกะ มีค่าไม่สูงนักทั้งในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส

Figure 4. Mutton stew after 1 hour simmering (left) and the ready-made stew (right)

Table 4. Sensory evaluation of mutton stew by all taste panels (n= 56)[1]

Marinated with	Pineapple	Baking soda	Commercial enzyme	*P* - value
Appearance	6.95±1.21	6.59±1.19	6.55±1.16	0.156
Color	6.91±1.20	6.70±1.13	6.66±1.16	0.470
Aroma	7.18±1.13[a]	6.96±1.22[ab]	6.59±1.35[b]	0.041
Taste	7.07±1.40[a]	6.68±1.39[ab]	6.49±1.6[b]	0.045
Texture	6.91±1.25	6.75±1.35	6.39±1.61	0.143
Overall liking	7.20±1.24[a]	6.66±1.3[b]	6.30±1.66[b]	0.004

[a, b, c] Mean in the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

[1] Degree of liking; 0.9-1.8 = totally unlike; 1.9-2.7 = very unlike; 2.8-3.6 = medium unlike; 3.7-4.5 = slightly unlike; 4.6-5.7 = neutral; 5.5-6.3 = slightly like; 6.4-7.2 = medium like; 7.3-8.1 = very like and 8.2-9.0 = like most

อาจเนื่องมาจากเนื้อแกะมีกลิ่นค่อนข้างแรงสำหรับผู้บริโภคคนไทยทั่วไปที่ไม่ค่อยคุ้นชินกับเนื้อสัตว์ชนิดนี้ นอกจากนี้อาจเป็นเพราะเนื้อแกะยังไม่นุ่มพอ เนื่องจากระยะเวลาในการหมักที่อาจจะสั้นเกินไป อีกทั้งรสชาติที่ทำยังอาจไม่ค่อยถูกปากคนไทย ซึ่งข้อด้อยดังกล่าวนี้สมควรที่จะได้รับการปรับปรุงต่อไป

สรุป

แกะขนเพศผู้ที่ขุนจนถึงมีอายุ 12-18 เดือน มีศักยภาพในการขุนเพื่อผลิตเนื้อ เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ซาก (ไม่รวมเครื่องใน) สูง (50.3%) จำแนกเป็นส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้ (รวมเครื่องใน) 51.5% LW และส่วนที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 43.1% LW เมื่อนำเนื้อขาแกะขุนดังกล่าวไปรมควัน โดยใช้สูตรน้ำหมักที่ใส่สารช่วยหมัก คือ โซเดียมอิริทอร์เบต 25 กรัม เกลือ 500 กรัม และน้ำตาล 1,250 กรัม (0.2, 4.0 และ 10.1% ของน้ำหมัก ตามลำดับ) ร่วมกับเครื่องเทศต่าง ๆ (สูตรที่ 3) ผู้บริโภคมีความชอบโดยรวมมากที่สุด มีค่าคะแนนเท่ากับ 6.93 ± 1.13 ส่วนเนื้อสะโพกสามารถนำไปทำสตูโดยหมักเนื้อด้วยสับปะรด ซึ่งมีเอนไซม์โบรมีเลนช่วยย่อยโปรตีนและมีรสหวานอมเปรี้ยวจากผลไม้ช่วยเพิ่มความกลมกล่อม ผู้บริโภคมีความชอบโดยรวมมากที่สุด มีค่าคะแนนเท่ากับ 7.20 ± 1.24

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนทุนวิจัย และมูลนิธิโครงการหลวงที่สนับสนุนวัตถุดิบและให้ความอนุเคราะห์โรงงาน

แปรรูปสำหรับใช้เป็นสถานที่วิจัย รวมทั้งขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์เชียงใหม่ กรมปศุสัตว์ ที่ให้การอนุเคราะห์ชำแหละแกะที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Cheva-Isarakul, B. 1998. Production and utilization of wool in the upper northern region of Thailand. Research report. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)

Division of Livestock Extension and Development. 2019. Product development from livestock. (Online). Available: http://extension.dld.go.th/th1/index.php?option=com_content&view=category&id=51:2012-03-05-10-26-11&layout=blog&Itemid=84&layout=default (October 1, 2019). (in Thai)

Kirton, A.H., G.J.K. Mercer, D.M. Duganzich, J.N. Clarke and E.G. Woods. 1999. Composition of lamb carcasses and cuts based on the October 1983 to 1998 export lamb carcass classification standards in New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research 42(1): 65-75.

National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 2006. Thai agricultural commodity and food standard TACFS 6004-2006: Sheep meat. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 14 p. (in Thai)

Peryam, D.R. and F.J. Pilgrim. 1957. Hedonic scale method of measuring food preferences. Food Technology11:9-14.

Pornchalermpong, P. and N. Rattanapanont. 2018. Chemical composition of meat. (Online). Available: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2803 (September 2, 2018). (in Thai)

Pornchalermpong, P. and N. Rattanapanont. 2020. Sodium erythorbate (E316). (Online). Available: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1954/sodium-erythorbate-e316. (May 20, 2020). (in Thai)

SACICT. 2019. Fleece fabric. (Online). Available: https://www.sacict.or.th/uploads/items/attachments/3d76cc27d29c076b2c374df9ac79d6a8/_20f888d13e9e38c98e65e11700afcd75.pdf (May 10, 2019). (in Thai)

Samaunkid, N. 2005. Meat and Product Technology. Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla. 371 p. (in Thai)

Santiparadorn, P. 2020. Toxicity of nitrate and nitrite substances. (Online). Available: https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/service-knowledge-article-info.php?id=326 (May 1, 2020). (in Thai)

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

Tangtaweewipat, S., P. Pathomrungsiyounggu, B. Cheva-Isarakul, O. Songsee and N. Maneethong. 2019. Product processing of wool sheep. Research report. Highland Research and Development Institute (Public Organization), Chiang Mai. 79 p. (in Thai)

Farmers' Knowledge and Strategies for Tilapia Disease Management in Cage Culture in Songkhram River

ความรู้และกลยุทธ์ของเกษตรกรในการจัดการโรคปลานิลที่เลี้ยงในกระชังในแม่น้ำสงคราม

Patcharawalai Sriyasak[1*], Supannee Suwanpakdee[1] and Pornpimol Pimolrat[2]
พัชราวลัย ศรียะศักดิ์[1*] สุพันธ์ณี สุวรรณภักดี[1] และ พรพิมล พิมลรัตน์[2]

[1]Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan Sakon Nakhon Campus, Sakon Nakhon 47160, Thailand
[1]สาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จ. สกลนคร 47160
[2]Department of Coastal Aquaculture, Maejo University at Chumphon, Lamae, Chumphon 86170, Thailand
[2]สาขาวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง มหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร จ. ชุมพร 86170
**Corresponding author: Email: patcharawalai.sriyasal@gmail.com*

(Received: 25 May 2020; Accepted: 31 July 2020)

บทคัดย่อ: การศึกษานี้เป็นการรวบรวมความรู้และกลยุทธ์ในการรับมือกับโรคปลานิลของเกษตรกร โดยทำการศึกษาในเกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิลในกระชังในแม่น้ำสงคราม เก็บข้อมูลจากเกษตรกรจำนวน 148 ราย โดยใช้แบบสอบถาม ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ประสบปัญหาปลาเป็นโรคในช่วงที่ผ่านมา โรคปลาจะเกิดขึ้นบ่อยในช่วงเดือนเมษายนถึงมิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงรอยต่อระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน เกษตรกรคิดว่าสาเหตุหลักที่ทำให้ปลาเกิดโรคเกิดจากคุณภาพน้ำ และ สภาพอากาศที่แปรปรวน การเกิดโรคที่พบบ่อย ได้แก่ ปรสิตภายนอก และ การติดเชื้อแบคทีเรีย ลักษณะอาการของโรคที่เกษตรกรพบบ่อยคือ ตาโปน วิธีการจัดการโรคปลาของเกษตรกร ได้แก่ การย้ายปลาที่เป็นโรคออกจากกระชัง การผสมวิตามินในอาหาร และการใช้ยาปฏิชีวนะ สำหรับวิธีการป้องกันปลาเป็นโรค เกษตรกรใช้วิธีหมั่นสังเกตปลาในกระชัง หมั่นทำความสะอาดกระชัง ใช้วิตามิน และหยุดเลี้ยงปลาในช่วงมีการระบาดของโรค นอกจากนี้ยังพบว่าเกษตรกรไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัดของการติดเชื้อ ดังนั้นเพื่อให้สามารถรับมือกับปัญหาโรคปลาได้ดีขึ้น เกษตรกรจึงควรส่งปลาเพื่อตรวจวินิจฉัยสาเหตุของการเกิดโรคที่แท้จริงเพื่อจะได้ทำการรักษาอย่างถูกวิธีต่อไป

คำสำคัญ: โรคปลา การเลี้ยงปลาในกระชัง การจัดการของเกษตรกร

Abstract: This study summarizes the current knowledge of fish farmers regarding their strategies to cope with Tilapia diseases. The study focuses on the river-based cage culture in Songkhram River. The data were collected from 148 fish farmers using structured questionnaires. The study found that most fish farmers struggled with fish disease problems in the past. The problems typically aggravated during April and June, which were the transitioning period from summer to wet season. They believed that the diseases were mainly caused by variation in water quality and weather. The common diseases were ectoparasite infestation and bacterial infection. The common clinical sign that these farmers observed was exophthalmia. With their limited knowledge of disease management, these farmers decided to remove infected fish from the cages, added vitamins in the feed, and applied antibiotics. The preventive practices included direct observation, a regularly cage cleaning, an application of vitamins, and stop fish activities during the disease outbreak period. However, they did not know the actual causes of diseases. In order to better cope with the problems, it is recommended that fish farmers should send the infected fish to the relevant agencies to diagnose the true causes of the diseases so that they can suggest appropriate treatments.

Keywords: Fish disease, fish cage culture, Fish farmer management

Introduction

Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) are significant economic fish in Thailand. They are widely cultured in all regions of the country because of their rapid growth, mild in taste and is inexpensive for the consumers. Cage-based aquaculture in rivers or other public water bodies is popular than aquaculture in ponds on private land. The river-base cage culture relatively provides higher potential fish yield. This contributes to the higher economic benefits and better utilization of natural water resources. It also provides the opportunity for the landless people to be able to access and engage in fish production (Lebel *et al*., 2013). Besides, it requires less manpower for cage movement and harvesting. It also needs a relatively lower initial investment since the body of water has already existed. Freshwater cage culture in northeast Thailand is well-known for high fish yield. In 2017, there were a total of 1,519 freshwater fish farms with a yield of 9,305 tons (Department of Fisheries, 2019). This generated a significant amount of income for fish farming households in the area. Unfortunately, many fish farmers have suffered some damages and losses from fish diseases. The diseases are typically caused by wastewater, weather variation, parasite infestation, and bacterial infection (Belton *et al*., 2009; Imjai *et al*., 2016; Srisapoome *et al*., 2016). Fish farmers have different management strategies for reducing risks. This study collected information on fish diseases and the management of fish farmers in the Songkhram River. The insights of their management strategies will be useful for fish disease management for tilapia cage culture in the future.

Materials and Methods

The population of this study involves 235 fish farmers in Sakon Nakhon and Nakhon Phanom provinces. These farmers reared fish in the floating cages in Songkhram River and registered with the provincial fisheries office. The sample of this study is 148 fish farmers, determined by the formula of Taro Yamane (Yamane, 1970) using a simple random

sampling. The study site was in five districts (Figure 1) (Tha Uthen, Kham Ta Kla, Akat Amnuai, Si Songkhram and Na Thom; n=74, 30, 25, 11, 8 farms, respectively). The data were collected during April and December 2017.

This study collected data using a structured questionnaire. It consists of both open-ended questions and close-ended questions. Most questions covered the Nile tilapia rearing data, causes of fish diseases, the characteristic clinical signs of the diseases, and the details of the treatment and prevention methods. The daily air temperature and amount of rainfall data in the studied areas in 2017 were received from Sakon Nakhon and Nakhon Phanom Provincial Meteorological Office. This study employs statistical analysis and provides with descriptive statistics in percentage and mean with standard deviation.

Results

Characteristics of the sampled fish farmers

A little bit more than half (54.7%) of the fish farmers were male, with an average age of 49.1 ± 11.5 years. Most of them (71.6%) received a primary school diploma. Most of them (72.3%) had fish farming business as their secondary source of income in addition to rice farming. These farmers had on average 8.4 ± 5.2 years of experience in fish cage culture. Each of them owned 15.6 ± 33.9 cages on average. The most common cage size was 3 x 3 x 3 m with the fish stocking density of 32 fish/m^3. Fish fries were obtained from the private hatcheries (95.1%) with an average length of 5.48 ± 2.3 cm. The length of the rearing period was five months.

The weather data in the studied sites

The average air temperature in Sakon Nakhon and Nakhon Phanom during January and December 2017 was 26.5 °C. The highest average air temperature was in April (33.8 °C), while the lowest average air temperature was in December (16.6 °C) (Figure 2). The average amount of rainfall in the studied sites was highest (726.3 millimeters) in July and lowest (0.5 millimeters) in January (Figure 3) (Nakhon Phanom Provincial Meteorological Office, 2017; Sakon Nakhon Provincial Meteorological Office, 2017).

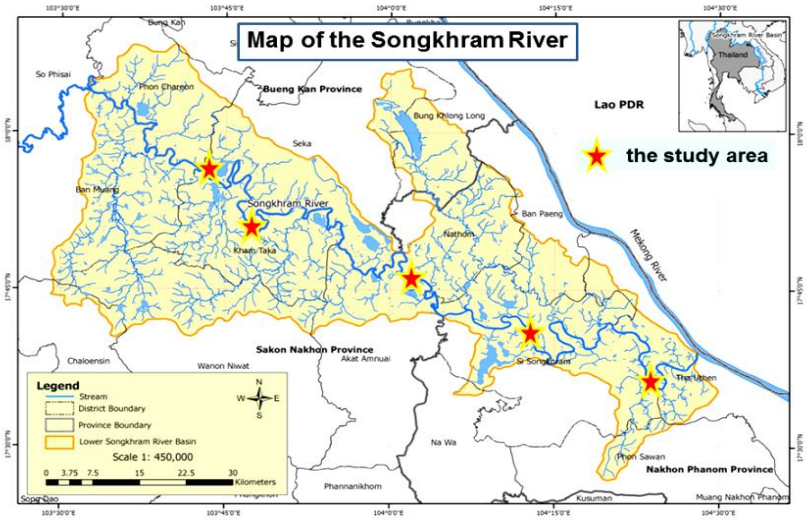


Figure 1. Map showing the study areas
(modified from WWW-Thailand, 2017)

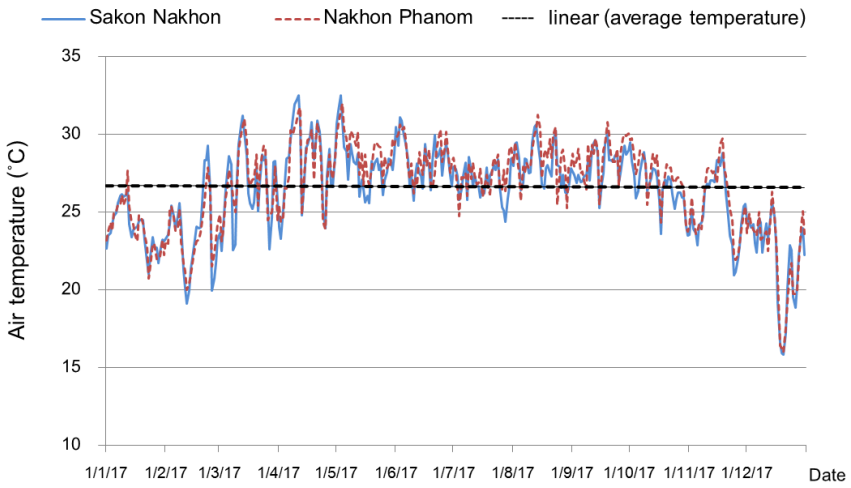


Figure 2. Air temperature in the studied sites between January and December 2017

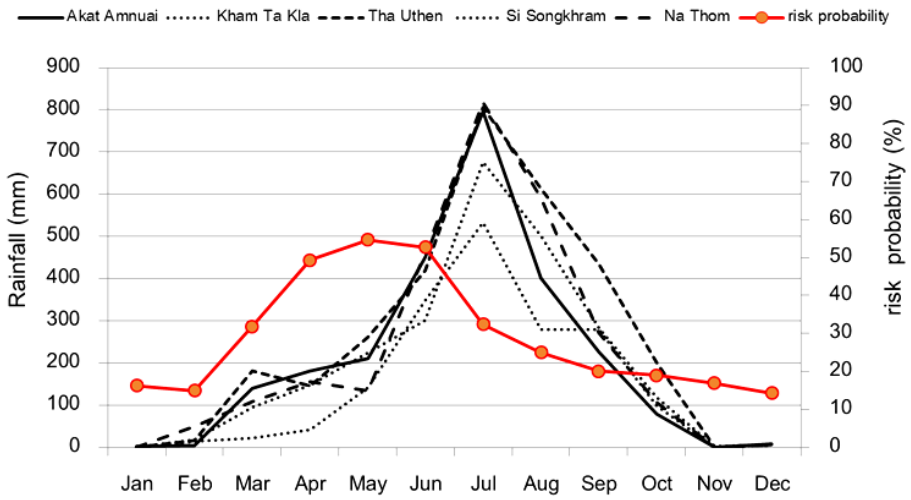


Figure 3. Amount of rainfall in the studied sites and the risk probability of fish diseases

Fish diseases data

Most farmers (92.6%) had faced fish disease problems in 2017. They reported that the risk of fish diseases was high in May (54.7%), June (52.7%) and April (49.3%). These periods are the transitioning period from summer to wet season (Figure 3). After fish were transferred to the floating cages around 82.2 ± 40.1 days on average, they got diseases. The average number of fish that died from the disease infection was 90.3 ± 197.1 fish/cage on average.

Most fish farmers (98.0%) believed that the sources of the fish diseases were from the new water column in the river, unsuitable water quality, chemicals from agriculture, disease outbreaks, and weather variables (Figure 4). Most of them thought that fish diseases were caused by ectoparasite infestation (66.9%), followed by bacterial infection (52.0%), fungi infection (33.8%), and virus infection (12.2%).

The prominent clinical signs observed by fish farmers were exophthalmia (97.3%), abnormal behaviors such as swimming erratically or loss of appetite, petechial hemorrhage, swelling, a lesion on the skin, abnormal gill colour, and fin rot (Figure 5). In addition, some farmers found an appearance of cotton wool on the body of the fish. This was caused by fungi infection.

Regarding the treatment and management strategies, most farmers removed infected fish from the cages (98.6%), added vitamins in the feed, reduced the feed, applied some antibiotics, treated with potassium permanganate ($KMnO_4$) and salt, and reduced stocking density (Figure 6). Herbs were also used for treatment as a substitution for antibiotics (39.9%). The traditional herbs included ginger, galangal, kaffir lime, lime, papaya, banana, garlic and shallot. Some farmers might use only one type of herb, while some might use a combination of those herbs.

In terms of preventive practices, most farmers used direct observation (97.3%), regularly cleaned the cages (92.6%), applied vitamins (95.3%), and stopped rearing fish during disease outbreak periods (52.7%). Moreover, the dead fish were buried (79.7%), processed to food (69.6%) and turn into fertilizer (48%).

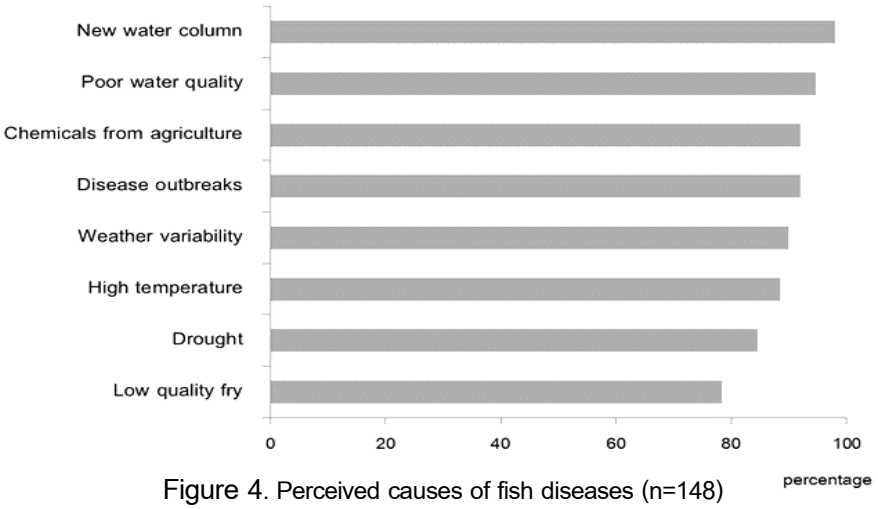


Figure 4. Perceived causes of fish diseases (n=148)

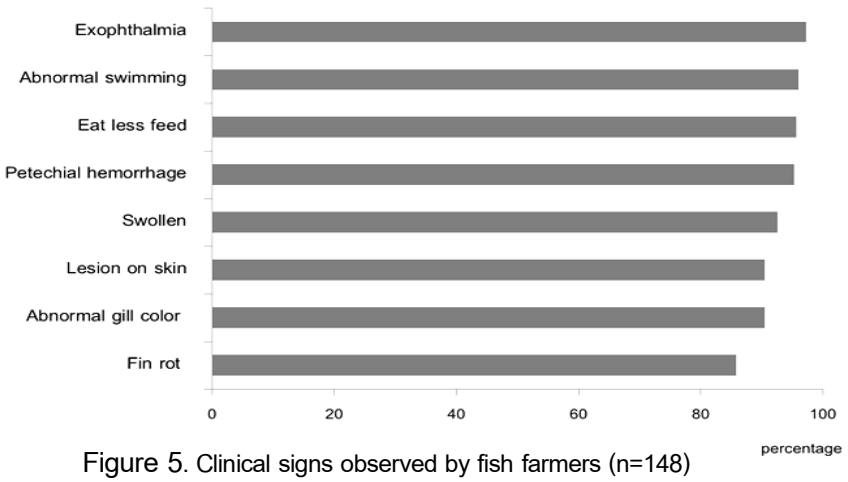


Figure 5. Clinical signs observed by fish farmers (n=148)

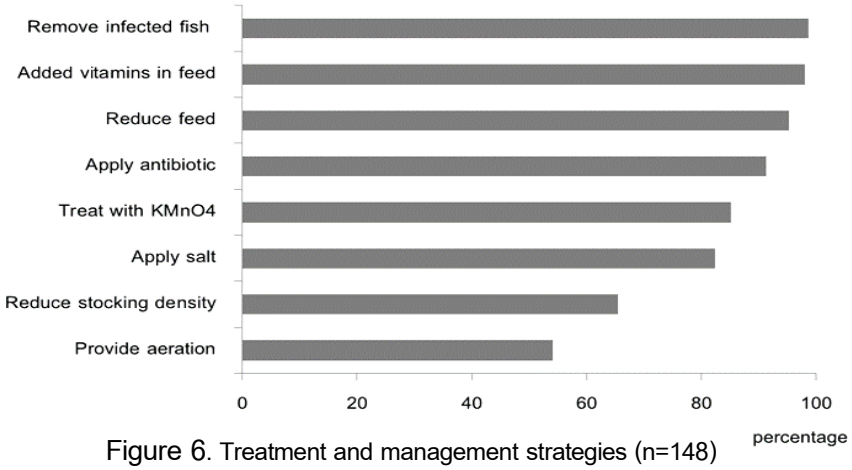


Figure 6. Treatment and management strategies (n=148)

Discussion

The inability to control water quality puts river-based cage culture at high risk. The disease outbreak in river-based cage culture is one risk that fish farmers cannot avoid (Rico *et al*., 2014). Many fish farmers faced with fish disease problems. It was difficult for them to diagnose the cause of the diseases themselves and they decided not to send infected fish to the Department of Fisheries or specialized agencies to diagnose. This was the reason why they never knew the true causes of the diseases.

Most farmers suffered some losses from the fish diseases from April to June which was the transitioning period from summer to wet season. During these periods, water parameters changed rapidly due to the new water column from rainfall. Consequently, this abrupt change damaged fish stocks in the floating cages (Srisapoome *et al*., 2016). The weather variations also affected water quality in the river. The affected water temperature, pH and dissolved oxygen (DO). These factors increased fish stress and eventually caused diseases (Hamed *et al*., 2018; Srisapoome *et al*., 2016; Svobodova *et al*., 2017). In addition, high flows in the wet season might push a fish against the net cage edges that caused lesions on fish skin and wound infection (Chitmanat *et al*., 2016). Similar results were observed by Baleta *et al*. (2019), who reported that primary causes of fish mortality in Magat Reservoir were fluctuating temperature (91.25%) and water quality (83.75%). The change in water quality was a disadvantage for fish cage culture in the river because farmers were unable to manage water parameters in the river. This was different from the fish culture in the earthen ponds that farmers could control or manage water quality in their ponds. Therefore, farmers, stakeholders and the government must be aware and find the effective procedures to solve this problem.

The clinical signs of fish diseases from ectoparasite observed by the farmers included abnormal swimming and the observable external parasites on fish gill or fish skin. The ectoparasite attached to fish skin was the cause of lesion and led to bacterial infection (Chitmanat *et al*., 2016; Srisapoome *et al*., 2016; Thongbamrung and Lertsuthichawan, 2014). The type of ectoparasite that was commonly found in fish cage culture is *Trichodina* spp. It was a very small protozoan that heavily infested on the gill and body surface.

Infected fish swam erratically, rubbed their body with the cage net, and lost their appetite. *Trichodina* spp. also caused a high mortality rate in fish fries (Chitmanat *et al*., 2016). In addition, ectoparasites that can infest in Nile tilapia are *Epistylis* sp., *Icthyophthirus* spp., monogenea (*Cichlidogyrus* sp.), *Argulus* sp., and *Alitropus* sp. (Chitmanat *et al*., 2016; Srisapoome *et al*., 2016; Sriwongpuk, 2009a).

The most common clinical signs of bacterial infection observed by farmers were bulging eyes, swirling swimming, skin hemorrhage, swelling, a lesion on the body, abnormal gill colour and fin rot. However, since farmers did not send the infected fish to diagnose, they could not identify the type of bacteria that caused the disease. Bacteria that typically cause disease outbreak in Nile tilapia are *Streptococcus* sp., *Flavobacterium columnare* and *Aeromonas hydrophila*.

The notable clinical signs of *Streptococcus* infection include spinning swimming or no balance swimming, darker or lighter body colour, exophthalmia, swollen abdomen, hemorrhage in an organ such as mouth, operculum, eye, fin and body (Chitmanat *et al*., 2016; National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2010; Sriwongpuk, 2009b; Thanomsit and Saowakoon, 2017). The mortality rate resulted from streptococcosis is high when the water temperature is higher than 35 °C (Kayansamruaj *et al*., 2014; Mian *et al*., 2009).

Flavobacterium columnare causes acute and chronic infection in fish. The clinical signs of the columnaris disease are gill damage, gill inflammation, gill rot, lesion of body, fade skin colour, hemorrhage fin and fin rot. Some infected fish were found with the inflamed oral mucosa, caused by canker. This is known as the "cotton wool disease" or "mouth fungus" (Bernardet and Bowman, 2006; Pongnumpai and Chitmanat, 2017). The columnaris disease outbreaks are usually more severe when water temperature increases (Pulkkinen *et al*., 2010). Water quality is one of the main factors of outbreaks. Columnaris disease usually occurs when water temperature and other water parameters change rapidly after the rainfall. Decostere *et al.* (1999) reported that the amount of *Flavobacterium columnare* in fish gill was higher when organic matter and nitrite in the water were high.

Another bacterial disease is *Aeromonas hydrophila*. The clinical signs of infected fish are hemorrhagic septicemia, lethargy, loss of appetite, fin erosion, swollen abdominal and intestinal hemorrhage (Chitmanat, 2013). The environmental changes such as a low dissolved oxygen level, an increase of ammonia and nitrite, and an increase of water temperature lead to more outbreaks of *A. hydrophila* (Hamed *et al*., 2018).

For treatment and management strategies of fish diseases, most farmers removed infected fish out of the cages, mixed vitamins in the feed, reduced feeding and used antibiotics. A study of antibiotics and chemical uses in river-based cage culture in Thailand found that most fish farmers used antibiotics and chemicals, but farmers still had incorrect knowledge and less understanding about antibiotics and chemical uses (Rico *et al*., 2014; Srisapoome *et al*., 2016). Farmers learned to treat the fish diseases by themselves, but they did not know the types of antibiotics that they used. This may be because there was a lack of advice from government officials. Consequently, the treatments might not be appropriate for the diseases, leading to the ineffective of the treatments and eventually led to drug resistance in aquatic animals (Chitmanat *et al*., 2016; Khoi *et al*., 2008). Moreover, antibiotic residues also found inside fish and sediments around the floating cage area. This would affect the environment

and the consumers in the long run (Rico *et al*., 2014). Therefore, the antibiotic uses for fish treatment are the important issues that all stakeholders should pay attention to ensure sustainable fish farming and consumer safety.

Conclusion

The study of tilapia disease management in floating cage culture in the Songkhram River found that the farmers had incorrect knowledge and understanding about disease management. Instead of treating the diseases by themselves, these farmers should send the infected fish to the government agencies or specialized units to diagnose the true causes of the diseases. This would allow them to be able to apply appropriate treatments for different types of bacteria. In addition, the fish farmer also confronted with the variations in water quality which they had no control over. Consequently, these farmers monitored fish regularly, reduced fish stocking density during the outbreak seasons and added vitamins in the feed to reduce the risk of damage.

Acknowledgment

We thank the fish farmers for participating in this study and provided useful information and insights regarding their disease management strategies. We also thank the officials from the Department of Fisheries and Meteorological Department for providing secondary data.

References

Baleta, F.N., J.M. Bolaños and W.C. Medrano. 2019. Assessment of tilapia cage farming practices in relation to the occurrence of fish mortality along the fish cage belt at Magat Reservoir, Philippines. Journal of Fisheries and Environment 43(2): 1-13.

Belton, B., D. Turongruang, R. Bhujel and D.C. Little. 2009. The history, status, and future prospects of monosex tilapia culture in Thailand. Aquaculture Asia Magazine 14(2): 16-19.

Bernardet, J.-F. and J.P. Bowman. 2006. The genus *Flavobacterium*. pp. 481-531 *In*: S. Falkow, E. Rosenberg, K-H. Schleifer and E. Stackedbrandt (eds.). The Prokaryotes, Volume 7: Proteobacteria Springer. New York.

Chitmanat, C. 2013. Nile tilapia diseases. Chiang Mai Veterinary Journal 11(1): 75-86. (in Thai)

Chitmanat, C., P. Lebel, N. Whangchai, J. Promya and L. Lebel. 2016. Tilapia diseases and management in river-based cage aquaculture in Northern Thailand. Journal of Applied Aquaculture 28(1): 1-8.

Decostere, A., F. Haesebrouck, G. Charlier and R. Ducatelle. 1999. The association of *Flavobacterium columnare* strains of high and low virulence with gill tissue of black mollies (*Poecilia sphenops*). Veterinary Microbiology 67(4): 287-298.

Department of Fisheries. 2019. Fisheries statistic of Thailand 2017. Fisheries Development Policy and Strategy Division, Department of Fisheries, Bangkok. 92 p. (in Thai)

Hamed, S.B., M.J.T. Ranzani-Paiva, L. Tachibana, D. De Carla Dias, C.M. Ishikawa and M. A. Esteban. 2018. Fish pathogen bacteria: Adhesion, parameters influencing virulence and interaction with host cells. Fish and Shellfish Immunology 80: 550-562.

Imjai, P., A. Chaiyara and C. Thowanna. 2016. Efficiency of *Streptococcus agalactiae*

vaccine in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with different stocking density. Prawarun Agricultural Journal 13(1): 79-86. (in Thai)

Kayansamruaj, P., N. Pirarat, I. Hirono and C. Rodkhum. 2014. Increasing of temperature induces pathogenicity of *Streptococcus agalactiae* and the up-regulation of inflammatory related genes in infected Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Veterinary Microbiology 172: 265-271.

Khoi, L.N.D., J. Wijngaard and C. Lutz. 2008. Farming system practices of seafood production in Vietnam: The case study of Pangasius small-scale farming in the Mekong River Delta. ASEAN Business Case Studies No. 27. Centre for ASEAN Studies, Antwerp.

Lebel, P., N. Whangchai, C. Chitmanat, J. Promya, P. Chaibu, P. Sriyasak and L. Lebel. 2013. River-based cage aquaculture of tilapia in Northern Thailand: Sustainability of rearing and business practices. Natural Resources 4(5): 410-421.

Mian, G.F., D. Godoy, C.A.G. Leal, T.Y. Yuhara, G.M. Costa and H.C.P. Figueiredo. 2009. Aspects of the natural history and virulence of *S. agalactiae* infection in Nile tilapia. Veterinary Microbiology 136(1-2): 180-183.

Nakhon Phanom Provincial Meteorological Office. 2017. Data of air temperature and amount of rainfall in Nakhon Phanom in 2017. Nakhon Phanom Provincial Meteorological Office, Nakhon Phanom. (in Thai)

National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 2010. Diagnosis of streptococcosis in tilapia. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, Bangkok. 40 p. (in Thai)

Pongnumpai, J. and C. Chitmanat. 2017. Columnaris disease in fish. Chiang Mai Veterinary Journal 15(2): 63-78. (in Thai)

Pulkkinen, K., L.-R. Suomalainen, A.F. Read, D. Ebert, P. Rintamäki and E.T. Valtonen. 2010. Intensive fish farming and the evolution of pathogen virulence: the case of columnaris disease in Finland. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 277: 593-600.

Rico A., R. Oliveira, S. McDonough, A. Matser, J. Khatikarn, K. Satapornvanit, A.J.A. Nogueira, A.M.V.M. Soares, I. Domingues and P.J. Van den Brink. 2014. Use, fate and ecological risks of antibiotics applied in tilapia cage farming in Thailand. Environmental Pollution 191: 8-16.

Sakon Nakhon Provincial Meteorological Office. 2017. Data of air temperature and amount of rainfall in Sakon Nakhon in 2017. Sakon Nakhon Provincial Meteorological Office, Sakon Nakhon. (in Thai)

Srisapoome, P., P. Phadee, Y. Sriwaranun, A. Jutagate, N. Nithikulworawong and I. Wudtisin. 2016. The study and evaluation the impacts of risk factors in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture systems in Thailand. Thailand Research Fund, Bangkok. 802 p. (in Thai)

Sriwongpuk, S. 2009a. Parasites of Pla Tub-tim, Tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in the Mun River, northeastern part of Thailand. Journal of Research and Development, Buriram Rajabhat University 4(1): 7-16. (in Thai)

Sriwongpuk, S. 2009b. Diseases and histopathological changes of Pla Tub-tim from cage culture in Mun River, Buriram

province. Journal of Academic, Buriram Rajabhat University 1(1): 58-66. (in Thai)

Svobodova, Z., J. Machova, H.K. Kroupova and J. Velisek, J. 2017. Water quality-disease relationship on commercial fish farms. pp. 167-185. *In*: G. Jeney (ed.) Fish diseases: Prevention and control strategies. Academic Press, London.

Thanomsit, C. and K. Saowakoon. 2017. Streptococcosis disease: A case study in commercial fishes. Koch Cha Sarn Journal of Science 39(2): 1-12. (in Thai)

Thongbamrung, W. and T. Lertsuthichawan. 2014. Monogeneans in cage-cultured red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) in Tapi River, Nakhonsithammarat. Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University 16(1): 32-40. (in Thai)

WWF-Thailand. 2017. Building capacity and strengthening community participation for water resources management and wetland ecosystem restoration in the context of climate change in the lower Songkhram River basin project. (Online). Available: https://www.wwf.or.th/what_we_do/wetlands_and_production_landscape/projectsall/bkl/. (January 20, 2017). (in Thai)

Yamane, T. 1970. Statistics: An Introductory Analysis. 2nd ed. John Weatherhill, Tokyo. 919 p.

การพัฒนาตำรับชีวภัณฑ์หัวเชื้อ *Metarhizium anisopliae* (มน 048) ควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

Formulation Development of *Metarhizium anisopliae* (NU-048) Concentrated Bioproduct to Control Brown Planthopper

สุขนิชชา รักแจ้ง[1] วิภา หอมหวล[1*] วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ[1] ปาณิสรา เทพกุศล[1] เยาวลักษณ์ จันทร์บาง[2] และ จิราพร กุลสาริน[2]

Suknitcha Rakjeng[1], Wipa Homhaul[1*], Weerathep Pongprasert[1], Panisara Thepkusol[1], Yaowaluk Chanbang[2] and Jiraporn Kulsarin[2]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร อ. เมือง จ. พิษณุโลก 65000

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

[2]ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

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

(Received: 22 May 2020; Accepted: 20 July 2020)

Abstract: The objective of this work was to develop the effective formulations of *Metarhizium anisopliae* (NU-048) concentrated bioproduct preserved in accelerated condition at high temperature (35 °C) to control brown planthopper. The bioproduct were prepared using the mixture of wheat flour, sand and maltose as the base and added with 10 different nitrogen sources: monosodium glutamate, L-glutamine, L-asparagine monohydrate, L-alanine, L-cysteine, L-leucine, L-arginine, casein, potassium nitrate and urea in each formulation. All products were kept at 35 °C for 6 weeks, the germination ability of fungal conidia was determined every week and their growth abilities in growth medium and efficacy to control brown planthopper were evaluated at 6 weeks. The results found that the germination ability of *M. anisopliae* conidia in all formulas was varied on nitrogen sources and shelf life. The highest germination rate and growth on growth medium was found from the formula that added L-arginine at 33% with the highest amount of conidia formation on growth medium at the concentration of 2.1×10^{10} conidia/g after 14 days of incubation. The highest mortality rate of brown plant hopper at 93-100% was found on the formulas that added L-arginine and monosodium glutamate at 4 days after application with LT_{50} at 2.45 and 2.40 days, respectively.

Keywords: Entomopathogenic fungi, *Metarhizium anisopliae*, concentrated bioproduct, nitrogen sources

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือ การพัฒนาตำรับชีวภัณฑ์หัวเชื้อรา *Metarhizium anisopliae* (มน 048) ที่มีประสิทธิภาพในการเข้าลายเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ที่เก็บรักษาในสภาพเร่งที่อุณหภูมิสูง (35 °C) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ตำรับชีวภัณฑ์หัวเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) ซึ่งมีแป้งสาลี ทรายและน้ำตาลมอลโตสเป็นพื้นฐาน ผสมกับแหล่งไนโตรเจน จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ monosodium glutamate, L-glutamine, L-asparagine monohydrate, L-alanine, L-cysteine, L-leucine, L-arginine, casein, potassium nitrate และยูเรีย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ทำการตรวจสอบความงอกของเชื้อราทุกสัปดาห์ และตรวจสอบศักยภาพในการขยายลงวัสดุเพาะและประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเมื่อครบ 6 สัปดาห์ พบว่า อัตราการงอกของโคนิเดียของเชื้อราในแต่ละตำรับในแต่ละสัปดาห์มีจำนวนแตกต่างไปตามชนิดของแหล่งไนโตรเจน และระยะเวลาการเก็บรักษา โดยที่ 6 สัปดาห์ ตำรับที่มีส่วนผสมของ L-arginine พบอัตราความงอกสูงสุด คือ ร้อยละ 33.0 และมีจำนวนโคนิเดียสูงสุด คือ 2.1×10^{10} โคนิเดียต่อกรัม ในวันที่ 14 หลังจากขยายลงวัสดุเพาะ ทั้งนี้ตำรับที่มีส่วนผสมของ L-arginine และ monosodium glutamate พบอัตราการตายเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูงสุดร้อยละ 93-100 ที่ 4 วันหลังสัมผัสเชื้อ โดยมีค่า LT_{50} ที่ 2.45 และ 2.40 วัน ตามลำดับ

คำสำคัญ: เชื้อราก่อโรคกับแมลง *Metarhizium anisopliae* ชีวภัณฑ์หัวเชื้อ แหล่งไนโตรเจน

คำนำ

ประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งประเทศ 59 ล้านไร่ (Office of Agricultural Economics, 2019) เกษตรกร ผู้ปลูกข้าวมักประสบปัญหาการทำลายของแมลงศัตรูข้าวหลายชนิดในแต่ละปี แมลงศัตรูข้าวที่สำคัญ คือ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ซึ่งมีรายงานการระบาดอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ. 2553 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน สร้างความเสียหายให้กับนาข้าวเขตชลประทานเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถเข้าทำลายดูดกินน้ำเลี้ยงจากต้นข้าวได้หลายสายพันธุ์ ในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าว (Ruay-aree, 2001) ในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเกษตรกรนิยมใช้สารเคมีเป็นหลัก เนื่องจากรวดเร็ว สะดวก ให้ผลชัดเจน อย่างไรก็ตามสารเคมีส่วนใหญ่กำจัดแมลงได้หลากหลายชนิด รวมถึงศัตรูธรรมชาติและยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งยังเป็นอันตรายต่อมนุษย์ กรมการข้าวจึงให้ความสำคัญกับการลดการใช้สารเคมี โดยบรรจุอยู่ในมาตรการลดต้นทุนการผลิตข้าว ซึ่งวิธีการลดต้นทุนการผลิตข้าวคือ 1) การเลิกใช้สารเคมีทุกชนิด 2) ละเว้นการใช้สารเคมีที่ไม่จำเป็น และ 3) ลดการใช้ปัจจัยการผลิตที่ฟุ่มเฟือย (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2013) ทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรสามารถใช้ควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ คือ การใช้เชื้อรา *Metarhizium anisopliae* หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่าเชื้อราเขียว ซึ่งมีประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป (Patirupanusara and Na Lampang Noenplab, 2007) เกษตรกรสามารถผลิตได้เอง มีต้นทุนต่ำกว่าการใช้สารฆ่าแมลง (Sribunme, 2017) ไม่เป็นอันตรายต่อแมลงศัตรูธรรมชาติ และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Van Driesche and Bellows, 1996; Zimmermann, 1993) จากการศึกษาที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยได้คัดแยกเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) จากธรรมชาติซึ่งมีศักยภาพในการเข้าลายเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ดี (Bunsak *et al*., 2015) เชื้อรา *M. anisopliae* โดยทั่วไปสามารถเจริญเติบโตได้บนวัสดุเพาะเลี้ยงพวกเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวเปลือก ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง และถั่วเขียว (Panyarjun and Taruyanon, 1982) ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนและไนโตรเจนที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ ให้คงความมีชีวิต และมีประสิทธิภาพในการเข้าทำลายแมลงได้นาน โดยเชื้อรา *M. anisopliae* ส่วนใหญ่ที่ใช้สำหรับเพาะเลี้ยงเพิ่มจำนวนในวัสดุเพาะเลี้ยงนั้น ปัจจุบันนิยมผลิตและใช้ในรูปแบบหัวเชื้อสด ซึ่งต้องอาศัยเทคนิคทางจุลชีววิทยาในการเก็บรักษาเชื้อและเลี้ยงเชื้อในอาหารเทียมเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ประกอบกับหัวเชื้อราสดไม่สามารถคงความมีชีวิตและประสิทธิภาพได้นาน (Popoonsak *et al*., 2006) แม้มีการเก็บเชื้อราในระดับอุณหภูมิต่ำ 4-5 องศาเซลเซียส เพื่อลดการเจริญของเชื้อราก็ตาม (Pasura, 1993; Pham *et al*., 2009)

ทำให้การผลิตและขยายเชื้อรา *M. anisopliae* ด้วยตนเองของเกษตรกรทำได้ยาก และส่งผลต่อการยอมรับในการใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นการปรับปรุงแหล่งอาหารของเชื้อราเพื่อใช้ในการขยายต่อในวัสดุเพาะในรูปแบบอื่นที่สร้างความสะดวก ง่ายต่อการปฏิบัติในระดับเกษตรกร เช่นในรูปแบบผงของหัวเชื้อราที่มีสารพาและแหล่งอาหารที่จำเป็นพร้อมใช้ขยายต่อ จึงมีแนวโน้มในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ทั้งนี้ Sribunme *et al*. (2018) พบว่า ดินอินทรียวัตถุ มีประสิทธิภาพในการเก็บรักษาความมีชีวิตของเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) ได้ดีที่สุด และคงประสิทธิภาพได้นาน ถึง 6 เดือน อย่างไรก็ตาม แหล่งของดินอินทรียวัตถุในธรรมชาติมีความแปรปรวนในส่วนขององค์ประกอบสูงมาก ไม่สามารถควบคุมสัดส่วนองค์ประกอบสารต่าง ๆ ให้คงที่และเหมาะสมกับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หัวเชื้อรา *M. anisopliae* อย่างต่อเนื่องได้

ดังนั้น การพัฒนาชีวภัณฑ์ผงแห้งด้วยสารพาผสมหลาย ๆ ชนิดให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงดินอินทรียวัตถุ โดยมีแหล่งสารอาหารที่เป็นคาร์บอน และไนโตรเจน ในปริมาณที่เพียงพอ จึงเป็นแนวทางที่สามารถใช้พัฒนาชีวภัณฑ์หัวเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) ได้ จึงได้ทำการศึกษาตำรับผสมของหัวเชื้อสูตรต่าง ๆ ทดแทนดินอินทรียวัตถุ เพื่อเก็บรักษา เชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) นี้ขึ้น เพื่อพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์หัวเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) สำหรับเป็นแหล่งของเชื้อในการขยายลงในวัสดุเพาะและใช้ควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีการวิจัย

การเตรียมผงเชื้อรา

เพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) ซึ่งได้รับจากศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคเหนือตอนล่าง ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการเข้าทำลายเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Bunsak *et al*., 2015) โดยเขี่ยเชื้อจาก stock เชื้อราเขียวเลี้ยงด้วยอาหาร Sabouraud Dextrose Agar (SDA) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส จนโคโลนีเจริญเต็มอาหารเลี้ยงเชื้อ

เตรียมโคนิเดียแขวนลอยของเชื้อราโดยเทน้ำนึ่งฆ่าเชื้อ 20 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อที่มีเชื้อราเจริญอยู่กรองด้วยผ้าขาวบางทบสองชั้น นำสารแขวนลอยที่ได้กรองผ่านกระดาษกรอง ผึ่งให้แห้งนาน 2 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส เก็บโคนิเดียใส่ขวด ตรวจวัดปริมาณโคนิเดีย ต่อ 1 กรัม

ตำรับต่าง ๆ ของชีวภัณฑ์หัวเชื้อในการศึกษาการเก็บรักษาเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048)

เตรียมตำรับเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) โดยผสม ทรายร้อยละ 80-85 น้ำตาลมอลโตส ร้อยละ 2.5-3.0 แป้งสาลีร้อยละ 2.0-2.5 ผงโคนิเดียเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) ร้อยละ 7-10 เป็นพื้นฐานของตำรับและเป็นสิ่งควบคุมในการทดลอง ส่วนสิ่งทดลองนั้นทำการเติมสารที่เป็นแหล่งไนโตรเจน ประกอบด้วย monosodium glutamate, L-glutamine, L-alanine, L-arginine, L-asparagine monohydrate, L-leucine, L-cysteine, casein, ยูเรีย และ potassium nitrate รวม 10 ชนิด ในสัดส่วนร้อยละ 1.2-1.5 ผสมให้เข้ากัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำ 3 ซ้ำ เก็บบ่มในสภาพอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ประยุกต์จากวิธีของ Phimolsiripol and Suppakul (2016) ทำการศึกษาความงอกของเชื้อราทุกสัปดาห์

ศึกษาความงอกของเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) ที่เก็บในตำรับต่าง ๆ ในแต่ละสัปดาห์ต่อเนื่อง 6 สัปดาห์

นำตัวอย่างจากตำรับเชื้อรา ที่เตรียมไว้ข้างต้น ตำรับละ 1 กรัม เติมสารละลาย 0.1 % Tween 80 จำนวน 10 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลายให้ผสมกัน และ ทำการ streak เชื้อราลงบนอาหาร SDA บ่มทิ้งไว้ 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง แต่ละตำรับทำ 3 ซ้ำ ตรวจนับอัตราการงอกของโคนิเดีย ตามวิธีของ Thaochan and Chinajariyawong (2008)

ศึกษาการเจริญของเชื้อรา *M. anisopliae* ในตำรับต่าง ๆ ที่เก็บนาน 6 สัปดาห์ และขยายบนวัสดุเพาะ

เตรียมวัสดุเพาะ โดยหุงข้าวเสาไห้ 3 ส่วน เติมน้ำ 2 ส่วน หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าแบบอัตโนมัติแล้วตักข้าวสุกในขณะที่ยังร้อน บรรจุถุงพลาสติกทนร้อน ขนาด 6 x 9 นิ้ว อัตรา 200 กรัมต่อถุง ปล่อยทิ้งไว้ให้ข้าวอุ่น

ถ่ายเชื้อรา จากหัวเชื้อราในแต่ละสูตร ลงในถุงข้าวขณะที่ยังอุ่น อัตรา 1.0 กรัมต่อถุง เย็บปากถุงด้วยลวดเย็บกระดาษ แล้วผสมให้หัวเชื้อรากระจายทั่วข้าวในถุง กดถุงข้าวให้แบนราบ บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมีแสงสว่างเพียงพอในตู้บ่มเชื้อ เป็นเวลา 14 วัน ตรวจสอบการเจริญของเชื้อและการสร้างโคนิเดียทุกวัน เมื่อครบ 14 วัน ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของโคนิเดีย โดย hemacytometer บันทึกผล และปรับความเข้มข้นให้เป็น 10^8 โคนิเดียต่อมิลลิลิตร เพื่อใช้ในการทดสอบศักยภาพในการก่อโรคกับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลต่อไป

การเลี้ยงเพิ่มปริมาณเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

เก็บรวบรวมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจากแปลงข้าว อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก คัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่มีความแข็งแรง ไม่มีร่องรอยการเบียนหรือรอยแผล ไม่มีการเข้าทำลายของเชื้อรา เลี้ยงในกรงเลี้ยงแมลงด้วย ต้นข้าวไทชุงเนทีฟ 1 (TN1) ระยะแตกกออย่างต่อเนื่อง จนได้จำนวนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในวันที่ 2-3 มากเพียงพอต่อการศึกษา

ทดสอบประสิทธิภาพเชื้อรา *M. anisopliae* ตำรับต่าง ๆ หลังเก็บรักษาที่ 35 องศาเซลเซียสนาน 6 สัปดาห์ กับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ โดยนำโคนิเดียเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) ที่ได้จากแต่ละตำรับข้างต้น ซึ่งอยู่ในรูปสารแขวนลอยความเข้มข้น 10^8 โคนิเดียต่อมิลลิลิตร พ่นลงบนต้นข้าวทดสอบ พันธุ์ไทชุงเนทีฟ 1 (TN1) อายุ 3 สัปดาห์ ปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลวัยที่ 3 จำนวน 30 ตัวต่อหน่วยทดลอง เพาะเลี้ยงภายใต้ความชื้น 75 % ที่ระดับอุณหภูมิห้อง บันทึกอัตราการตายของเพลี้ยทุกวันจนครบ 7 วันหลังจากทำการพ่น ปรับค่าอัตราการตายด้วย Abbott's formula วิเคราะห์ผลด้วย analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยใช้ DMRT (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ($P=0.05$) และประเมินประสิทธิภาพของเชื้อรา โดยใช้ผลการคำนวณ Probit analysis จากระยะเวลาที่เชื้อราทำให้เพลี้ยตายร้อยละ 50 (Median lethal time; LT_{50})

ผลการวิจัย

ผลการศึกษา พบว่า ผงโคนิเดียหนัก 1 กรัม ของเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร SDA เชื้อรามีสีเขียวขี้ม้าเข้ม มีจำนวนโคนิเดียโดยเฉลี่ย 4.4×10^{12} โคนิเดียต่อกรัม เมื่อผสมลงในตำรับหัวเชื้อ 1 กรัมต่อขวด ทำให้หัวเชื้อราเขียวมีความเข้มข้นของโคนิเดียเริ่มต้นที่ 5.23×10^{11} โคนิเดียต่อกรัม

ศึกษาความงอกของโคนิเดียเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) ที่เก็บในตำรับหัวเชื้อต่าง ๆ ในแต่ละสัปดาห์

ตำรับหัวเชื้อแต่ละชนิดมีผลต่ออัตราการงอกของโคนิเดียเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) โดยเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โคนิเดียเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) มีอัตราการงอกอยู่ในช่วงร้อยละ 90.0-100.0 จากนั้นมีแนวโน้มลดลงในทุกตำรับ ในแต่ละสัปดาห์ที่นานขึ้นอย่างชัดเจน แตกต่างไปตามแหล่งไนโตรเจนทั้ง 10 ชนิด ที่ผสมลงในตำรับหัวเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) และระยะเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้น (Table 1)

ที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ อัตราความงอกของโคนิเดียเชื้อราในตำรับทั้ง 10 ชนิด อยู่ในช่วงร้อยละ 60.0-100.0 โดย ตำรับที่มีส่วนผสมของ monosodium glutamate, L-glutamine, L-alanine, L-arginine, L-leucine, casein, L-cysteine, L-asparagine monohydrate และยูเรีย มีอัตราการงอกของโคนิเดียร้อยละ 100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 99.3, 98.0 และ 95.0 ตามลำดับ ไม่แตกต่างจาก สิ่งควบคุมซึ่งมีอัตราการงอกร้อยละ 96.6 ในขณะที่ตำรับที่มีส่วนผสมของ potassium nitrate อัตราการงอกของโคนีเดียต่ำสุดที่ร้อยละ 60.0 ต่ำกว่าสิ่งควบคุม ถึง 1.61 เท่า

ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์ อัตราความงอกของโคนิเดียเชื้อรา อยู่ในช่วงร้อยละ 73.33-100.0 สูงกว่าสิ่งควบคุมซึ่งมีอัตราการงอกร้อยละ 64.7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสามารถจัดกลุ่มได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกประกอบด้วย ตำรับที่ผสมกับ monosodium glutamate, L-glutamine, L-alanine, L-asparagine monohydrate, L-leucine, L-cysteine และ casein มีอัตรา

Table 1. The germination rate of *Metarhizium anisopliae* (NU 048) in various concentrated products mixed with different sources of nitrogen after storing at 35 °C from 0 to 6 weeks

Nitrogen sources in formulas	Germination rate of conidia (%)						
	weeks 0	weeks 1	weeks 2	weeks 3	weeks 4	weeks 5	weeks 6
Monosodium glutamate	100^{a}	100^{a}	100^{a}	76.7^{bc}	55.7^{c}	14^{e}	13.7^{e}
L-glutamine	100^{a}	100^{a}	92.3^{b}	78.7^{b}	77.7^{a}	25^{d}	27.7^{bc}
L-alanine	100^{a}	100^{a}	99^{ab}	59^{e}	48.3^{d}	41.7^{a}	28^{bc}
L-arginine	100^{a}	100^{a}	79.7^{c}	61^{de}	37.7^{f}	30.3^{bc}	33^{a}
L-asparagine monohydrate	99.3^{ab}	98^{ab}	93.3^{b}	64^{d}	50^{d}	30.7^{bc}	26^{c}
L-leucine	100^{a}	100^{a}	100^{a}	76.3^{bc}	69.7^{b}	29.7^{c}	17.3^{d}
L-cysteine	100^{a}	99.3^{ab}	99.3^{ab}	88.7^{a}	23.3^{g}	34.3^{b}	9^{f}
Casein	100^{a}	100^{a}	100^{a}	79.3^{b}	41.3^{e}	42.7^{a}	28.7^{b}
Urea	98.3^{ab}	95^{b}	73.3^{cd}	26^{g}	14^{i}	5.7^{g}	0^{h}
Potassium nitrate	90^{c}	60^{c}	76.7^{c}	50^{f}	18.3^{h}	15^{e}	1^{g}
Control	96.7^{b}	96.6^{b}	64.7^{e}	74.7^{c}	7^{j}	7^{f}	1^{g}

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

การงอกที่ร้อยละ 92.3-100 กลุ่มที่สองประกอบด้วย L-arginine, ยูเรีย และ potassium nitrate มีอัตราการงอกที่ร้อยละ 73.3-79.7

ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์ อัตราความงอกของโคนิเดียเชื้อรา อยู่ในช่วงร้อยละ 26.0-88.7 โดยกลุ่มที่มีอัตราการงอกสูงกว่าสิ่งควบคุมซึ่งมีอัตราการงอกที่ร้อยละ 74.7 คือ กลุ่มที่มีส่วนผสม monosodium glutamate, L-glutamine, L-leucine, L-cysteine และ casein มีอัตราการงอกอยู่ในช่วงร้อยละ 76.3-88.7 กลุ่มที่สองมีอัตราการงอกต่ำกว่า สิ่งควบคุม คือ กลุ่มที่มีส่วนผสม L-alanine, L-arginine, L-asparagine monohydrate, ยูเรีย และ potassium nitrate มีอัตราการงอกอยู่ในช่วงร้อยละ 26.0-64.0

ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ อัตราความงอกของโคนิเดียเชื้อรา อยู่ในช่วงร้อยละ 14.0-77.7 สูงกว่าสิ่งควบคุมซึ่งมีอัตราการงอกร้อยละ 7.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสามารถจัดกลุ่มได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีส่วนผสม L-glutamine และ L-leucine กลุ่มที่สอง คือ monosodium glutamate, L-alanine, L-arginine, L-asparagine monohydrate และcasein กลุ่มที่สาม คือ L-cysteine, ยูเรีย และ potassium nitrate มีอัตราการงอกของแต่ละกลุ่มที่ร้อยละ 69.7-77.7, 37.7-55.7 และ 14.0-23.3 ตามลำดับ

ที่ระยะเวลา 5 สัปดาห์ อัตราความงอกของโคนิเดียเชื้อรา อยู่ในช่วงร้อยละ 5.7-42.7 โดยกลุ่มที่มีอัตราการงอกสูงกว่าสิ่งควบคุมซึ่งมีอัตราการงอกที่ร้อยละ 7.0 ประกอบด้วย 3 กลุ่ม กลุ่มแรก คือ กลุ่มที่มีส่วนผสมของ L -alanine, L-arginine, L-asparagine monohydrate, L-leucine, L-cysteine และ casein มีอัตราการงอกอยู่ในช่วง ร้อยละ 30.3-42.7 กลุ่มที่สอง คือ L-glutamine, monosodium glutamate และ potassium nitrate มีอัตราการงอกอยู่ในช่วงร้อยละ 14.0-25.0 ส่วนตำรับที่มีส่วนผสมของยูเรียมีอัตราการงอกร้อยละ 5.7 ต่ำกว่าสิ่งควบคุม

ที่ระยะเวลา 6 สัปดาห์ อัตราความงอกของโคนิเดียเชื้อรา อยู่ในช่วงร้อยละ 0.0-33.0 โดยกลุ่มที่มีอัตราการงอกสูงกว่าสิ่งควบคุมซึ่งมีอัตราการงอกที่ร้อยละ 1.0 ประกอบด้วย 3 กลุ่ม กลุ่มแรก คือ กลุ่มที่มีส่วนผสม L-glutamine, L -alanine, L-arginine, L-asparagine monohydrate และ casein มีอัตราการงอกอยู่ในช่วงร้อยละ 26.0-33.0 กลุ่มที่สอง คือ monosodium glutamate, L-leucine และ L-cysteine มีอัตราการงอกอยู่ในช่วงร้อยละ 9.0-17.3 ส่วนตำรับที่มีส่วนผสมของยูเรีย และ potassium nitrate มีอัตราการงอกร้อยละ 0.0-1.0 ไม่แตกต่างจากสิ่งควบคุม

ศึกษาการเจริญของเชื้อรา *M. anisopliae* ในตำรับต่าง ๆ ที่เก็บนาน 6สัปดาห์ และขยายบนวัสดุเพาะ

เมื่อเก็บหัวเชื้อราครบ 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ขยายลงในวัสดุเพาะ บ่มไว้ 14 วัน พบว่า จำนวนโคนิเดียเจริญบนวัสดุเพาะได้แตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติ ตำรับหัวเชื้อที่มีส่วนผสมกับ L-arginine มีการเจริญของเชื้อราสูงสุด 2.1×10^{10} โคนิเดียต่อกรัมวัสดุเพาะ รองลงมาคือ ตำรับที่ผสม L-glutamine, L-alanine, L-asparagine monohydrate, casein, monosodium glutamate, L-leucine, L-cysteine พบ 9.9×10^{9}, 9.6×10^{9}, 6.6×10^{9}, 4.2×10^{9}, 3.5×10^{9}, 1.4×10^{9} และ 0.9×10^{9} โคนิเดียต่อกรัมของวัสดุเพาะ ตามลำดับ ส่วนตำรับที่ผสม potassium nitrate พบ 0.6×10^{8} โคนิเดียต่อกรัมของวัสดุเพาะ ไม่แตกต่างจากสิ่งควบคุม ที่พบ 0.4×10^{8} โคนิเดียต่อกรัมวัสดุเพาะ ในขณะที่ตำรับที่ผสมยูเรียไม่พบโคนิเดียเลย (Table 2)

ทดสอบประสิทธิภาพเชื้อราเขียว *M. anisopliae* ตำรับต่าง ๆ หลังเก็บรักษาที่ 35 องศาเซลเซียส นาน 6 สัปดาห์ กับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชื้อราเขียว *M. anisopliae* ที่ขยายในวัสดุเพาะข้างต้นกับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล พบว่าอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลพบได้ตั้งแต่ 1 วันหลังพ่นเชื้อรา ยกเว้นในตำรับที่ผสม casein ไม่พบการตาย แต่อัตราการตายเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในวันที่ 3 หลังพ่นเชื้อ อัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล สูงเกินร้อยละ 50 โดยในตำรับที่มีส่วนผสม casein มีค่าสูงสุด ร้อยละ 73.3 ตามด้วยตำรับที่มีส่วนผสมของ L-glutamine, L-alanine, L-arginine, monosodium glutamate, L-asparagine monohydrate และ potassium nitrate พบร้อยละ 66.7-70.0 ในวันที่ 4 หลังพ่นเชื้อ พบว่า ทุกตำรับมีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูงกว่าสิ่งควบคุม โดยตำรับที่พบอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเกินร้อยละ 90 คือ ตำรับที่มีส่วนผสม L-arginine, monosodium glutamate และ casein ร้อยละ 100, 93.3 และ 93.3 ตามลำดับ ส่วนตำรับอื่น ๆ พบอยู่ในช่วงร้อยละ 66.7-80.0 ในวันที่ 5-7 หลังพ่นเชื้อพบว่าอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลอยู่ในช่วงสูงกว่าร้อยละ 90 ไม่แตกต่างทางสถิติ ยกเว้นสูตรที่มี L-cysteine ที่พบอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลร้อยละ 86.67 ในวันที่ 5 และสูงขึ้นเป็นร้อยละ 100 ในวันที่ 6-7 ในที่สุด อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนวณระยะเวลาที่ทำให้เพลี้ยตายร้อยละ 50 (LT_{50}) ที่ 4 วันหลังพ่นเชื้อพบว่า ทุกตำรับที่มีการเติมสารไนโตรเจนในวัสดุเพาะมีค่า LT_{50} อยู่ในช่วง 2.40-2.97 วัน โดยตำรับที่มีส่วนผสมของ monosodium glutamate และ L-arginine มีค่าต่ำสุดที่ 2.40 ± 0.7 และ 2.45 ± 0.0 วัน ตามลำดับ (Table 3)

Table 2. The amount of conidia of *Metarhizium anisopliae* (NU 048) from concentrated products cultured on rice media for 14 days

Nitrogen sources in formulas	The amount of conidia (no./g of growth media)
Monosodium glutamate	$3.5 \times 10^{9\,b}$
L-glutamine	$9.9 \times 10^{9\,ab}$
L-alanine	$9.6 \times 10^{9\,ab}$
L-arginine	$2.1 \times 10^{10\,a}$
L-asparagine monohydrate	$6.6 \times 10^{9\,ab}$
L-leucine	$1.4 \times 10^{9\,b}$
L-cysteine	$0.9 \times 10^{9\,bc}$
Casein	$4.2 \times 10^{9\,b}$
Potassium nitrate	$0.6 \times 10^{8\,c}$
Urea	0
Control	$0.4 \times 10^{8\,c}$

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

Table 3. Percent mortality of brown planthopper on 1-7 days after applicating various formulas of *Metarhizium anisopliae* (NU 048) and LT_{50} at 4 days after application

Nitrogen sources in formulas	Percent mortality of brown planthopper							LT_{50} ± SE at 4 DAA
	1 DAA[1]	2 DAA	3 DAA	4 DAA	5 DAA	6 DAA	7 DAA	
Monosodium glutamate	13.33[ab2]	33.33[ab]	66.67[b]	93.33[ab]	100.00[a]	100.00[a]	100.0[a]	2.40 ± 0.7
L-glutamine	16.67[a]	30.00[b]	70.00[ab]	76.67[bc]	100.00[a]	100.00[a]	100.0[a]	2.51 ± 0.3
L-alanine	10.00[ab]	36.67[a]	70.00[ab]	76.67[bc]	96.67[ab]	100.00[a]	100.0[a]	2.57 ± 0.3
L-arginine	3.33[b]	30.00[b]	70.00[ab]	100.00[a]	100.00[a]	100.00[a]	100.0[a]	2.45 ± 0.0
L-asparagine monohydrate	6.67[ab]	26.67[c]	66.67[b]	80.00[b]	96.67[ab]	100.00[a]	100.0[a]	2.72 ± 0.6
L-leucine	10.00[ab]	33.33[ab]	46.67[c]	70.00[d]	90.00[bc]	100.00[a]	100.0[a]	2.95 ± 0.6
L-cysteine	10.00[ab]	36.67[a]	46.67[c]	66.67[d]	86.67[c]	100.00[a]	100.0[a]	2.97 ± 0.3
Casein	0.00[c]	33.33[ab]	73.33[a]	93.33[ab]	100.00[a]	100.00[a]	100.0[a]	2.52 ± 0.3
Potassium nitrate	6.67[ab]	36.67[a]	66.67[b]	80.00[b]	100.00[a]	100.00[a]	100.0[a]	2.58 ± 0.6
Control	13.33[ab]	13.33[d]	26.67[d]	63.33[d]	96.67[ab]	96.67[b]	100.0[a]	3.20 ± 0.3

[1] Day after application

[2] Means within column followed by the same letter are not significantly different ($P \leq 0.05$)

วิจารณ์

ปัจจุบัน การใช้สารชีวภัณฑ์จากเชื้อรากำลังเป็นที่นิยมและยอมรับมากที่สุดในหลายประเทศ และเชื้อราที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืชสายพันธุ์ใหม่ถูกค้นพบเพิ่มขึ้น และพัฒนาเป็นสารชีวภัณฑ์ทั้งในรูปของหัวเชื้อรา และผลิตภัณฑ์พร้อมใช้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามวัสดุสารพาที่ใช้ผสมลงในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นั้น มีความแตกต่างไปตามชนิดของสายพันธุ์เชื้อราอย่างมาก (Popoonsak *et al*., 2005) เนื่องจากการเจริญของเชื้อราโดยทั่วไปต้องการสารอาหารหลักสำคัญ 2 กลุ่ม คือ คาร์บอน และ ไนโตรเจน นอกจากนี้ต้องการความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสม (Burge, 1988; Daoust *et al*., 1983; Onofre *et al*., 2001) โดยปกติเชื้อราเขียว *M. anisopliae* เจริญเติบโตได้ดีมากที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Attathom, 1992; Bunsak *et al*., 2015)

ในส่วนของเชื้อราเขียว *M. anisopliae* (มน 048) นั้น พบว่า ดินอินทรียวัตถุเป็นสารพาที่มีศักยภาพในการเก็บรักษาความมีชีวิตของเชื้อราเขียว *M. anisopliae* (มน 048) ได้สูง 2.6×10^5 โคนิเดียต่อมิลลิลิตร ภายใต้สภาพอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน โดยมีทรายเป็นสารพาที่มีประสิทธิภาพรองลงมา (Sribunme *et al*., 2018) การพัฒนาสารพาสูตรผสมทดแทนดินอินทรียวัตถุจึงใช้ทรายเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากทรายมีคุณสมบัติร่วน และแห้งทำให้เชื้อรากระจายตัว และรักษาความมีชีวิตไว้ได้นาน (Bukhari *et al*., 2011; Sribunme *et al*., 2018) และทำการปรับปรุงให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับอินทรียวัตถุมากที่สุดด้วยแป้ง น้ำตาล และกรดอะมิโน หรือสารให้ไนโตรเจนชนิดต่าง ๆ ทำให้ง่ายและสะดวกต่อการปรุงสูตรและจัดการส่วนผสมของตำรับหัวเชื้อรามากขึ้น โดยในส่วนของแหล่งคาร์บอนนั้น แป้งสาลีมีคุณสมบัติที่เชื้อราต้องการมากที่สุด (Popoonsak *et al*., 2006; Rudin *et al*., 1990; Sribunme, 2017) เนื่องจาก

มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ประมาณร้อยละ 70 โดยคาร์โบไฮเดรตที่มีในแป้งสาลี ได้แก่ สตาร์ช เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพนโทเซน และน้ำตาล ซึ่งเหมาะกับการเจริญเติบโตของเซลล์โดยตรง (Naivikul, 1989) ทั้งนี้แป้งสาลี สามารถรักษาความมีชีวิตของเชื้อราได้ 0.2×10^5 โคนิเดียต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน (Sribunme, 2017) เมื่อนำตำรับหัวเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) ที่มีแป้งสาลีผสมกับ ทราย และน้ำตาลมอลโตส พร้อมกับการปรับสภาพของการเก็บรักษาให้อยู่ในสภาพเร่งที่ระดับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส สูงกว่าระดับที่เชื้อราเจริญเติบโตปกติ คือ 20-25 องศาเซลเซียส ซึ่งประยุกต์จากวิธีการของ Schlossman *et al*. (2015) ใช้เวลานาน 6 สัปดาห์ พบว่า มีผลรุนแรงต่อ โคนิเดียของเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) มาก ทำให้มีความงอกลดลงเหลือเพียงร้อยละ 7 และเมื่อขยายลงวัสดุเพาะได้โคนิเดีย 0.4×10^8 โคนิเดียต่อกรัม ต่ำกว่าที่พบใน การเก็บเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) ในอินทรียวัตถุที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน ของ Sribunme *et al*. (2018) ซึ่งพบความมีชีวิตของโคนิเดีย 2.6×10^5 โคนิเดียต่อมิลลิลิตร เมื่อขยายลงข้าว ใน 7 วัน ได้โคนิเดีย 8.8×10^9 โคนิเดียต่อมิลลิลิตร

อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มสารที่เป็นแหล่งของไนโตรเจน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน และ กรดนิวคลีอิกของจุลินทรีย์ (Karot, 1996) ลงในตำรับหัวเชื้อพบว่า โคนิเดียมีอัตราการงอกเพิ่มขึ้นทุกตำรับ ยกเว้นตำรับที่เติมโพแทสเซียมไนเตรท และยูเรีย ที่พบการงอกของโคนิเดียเท่ากับการไม่เติมสารไนโตรเจน เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถในการใช้ไนโตรเจนแตกต่างกัน บางชนิดสามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มีไนโตรเจนในรูปของสารอนินทรีย์ บางชนิดสามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มีไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์ (Iskandarov *et al*., 2006) จากผลการทดลองเชื้อราเขียว มน 048 เป็นเชื้อราเขียวที่ตอบสนองต่อสารไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์มากกว่าสารอนินทรีย์ โดยแหล่งไนโตรเจนอินทรีย์ซึ่งเป็นกรดอะมิโนมีผลต่ออัตราการงอกและอัตราการเจริญในวัสดุเพาะแตกต่างไปตามไอโซเลตของเชื้อราอย่างมาก จากผลการศึกษาพบว่า ตำรับที่ผสม L-arginine พบอัตราการงอกและอัตราการเจริญในวัสดุเพาะสูงสุดซึ่งสอดคล้องกับ รายงานของ Piwtamai *et al*. (2014) ที่พบว่า L-arginine เป็นแหล่งไนโตรเจนที่มีผลกระตุ้นการเจริญโคนิเดียของเชื้อราที่ดีที่สุด Campbell *et al*. (1978) รายงานว่าการเติมกรดอะมิโน ชนิด L-alanine ใน อาหารเหลวสำหรับเชื้อรา *Beauveria bassiana* มีการเจริญและสร้างสปอร์มากที่สุด แต่ในการศึกษานี้พบว่า L-alanine ให้ผลต่อการสร้างโคนิเดียในระดับสูงเช่นกันแต่เป็นลำดับรองจาก L-arginine ในการศึกษานี้พบว่า ตำรับที่ผสม L-asparagine นั้นโคนิเดียของเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) เจริญและสร้างสปอร์ได้สูงกว่า ตำรับที่เติม L-glutamine สอดคล้องกับรายงานของ Piwtamai *et al*. (2014) พบว่า การเติมกรดอะมิโน ชนิด L-asparagine เชื้อราเจริญและสร้าง โคนิเดียได้ดีกว่าการเติม L-glutamine

ในส่วนของโปรตีน คือ casein นั้น มีผลต่อการงอกของโคนิเดียที่ 6 สัปดาห์ เท่ากับ 28.7 โคนิเดีย เชื้อราสร้างโคนิเดียได้ดีกว่าตำรับที่ผสม asparagine ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ Buston and Basu (1948) ที่ได้ทำการศึกษาแหล่งไนโตรเจน 4 ชนิด ได้แก่ sodium nitrate, ammonium sulphate, asparagine และ casein พบว่า เชื้อรามีการสร้างโคนิเดียได้ดีที่สุดในอาหารที่มี asparagine รองลงมา คือ casein ส่วนการเติมเกลือที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบนั้น จากผลการทดสอบ มีเพียง potassium nitrate เท่านั้นที่พบการเจริญของเชื้อราแม้การสร้างโคนิเดียอยู่ในระดับต่ำที่สุด แต่สามารถเจริญได้เมื่อขยายในวัสดุเพาะ ส่วนตำรับที่ผสมยูเรียนั้นเชื้อราไม่สามารถสร้างโคนิเดียได้สอดคล้องกับรายงานของ Chantar (2014) ที่พบว่า อาหารที่มียูเรียเป็นส่วนผสมที่มีผลทำให้ เชื้อรา *Fistulina hepatica* ไม่สามารถเจริญและสร้างโคนิเดียได้ แม้ว่ายูเรียเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่น่าสนใจเนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูก (Popoonsak *et al*., 2005)

การเติมสารไนโตรเจนในวัสดุเพาะมีผลทำให้เชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) สามารถคงประสิทธิภาพในการเข้าทำลายเพลี้ยกระโดสีน้ำตาลได้สูงขึ้น (LT_{50}=2.40-2.97 วัน) แตกต่างจากที่ไม่ได้ผสมสารไนโตรเจน (LT_{50}=3.20 วัน) ถึง 0.23-0.8 เท่า โดยตำรับที่มีส่วนผสมของ monosodium glutamate และ L-arginine

มีค่าต่ำสุดที่ 2.40±0.7 และ 2.45±0.0 วัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการทดสอบของ Sribunme *et al*. (2018) ที่พบว่า เชื้อราเขียว *M. anisopliae* (มน 048) สามารถทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตาย ร้อยละ 50 ภายในระยะเวลาเฉลี่ยในช่วง 2.07-3.08 วัน

สรุป

การพัฒนาตำรับชีวภัณฑ์หัวเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) โดยใช้แป้งสาลี ทรายและน้ำตาลมอลโตสเป็นพื้นฐาน ผสมกับ แหล่งไนโตรเจนจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ monosodium glutamate, L-glutamine, L-asparagine monohydrate, L-alanine, L-cysteine, L-leucine, L-arginine, casein, potassium nitrate และยูเรีย และเก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิสูง (35 °C) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ตำรับที่มีส่วนผสมของ L-arginine มีอัตราความงอกของโคนิเดียสูงสุด คือ ร้อยละ 33.0 และให้จำนวนโคนิเดียสูงสุด คือ 2.1×10^{10} โคนิเดียต่อกรัม เมื่อขยายลงวัสดุเพาะ โดยเมื่อทดสอบประสิทธิภาพควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล พบว่า ตำรับหัวเชื้อรา *M. anisopliae* (มน 048) ที่มีส่วนผสมของ L-arginine และ monosodium glutamate พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดโดยมีอัตราการตายของ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่ 4 วัน ที่ร้อยละ 100 และ 93.33 มีค่า LT_{50} ที่ 2.45 และ 2.40 วัน ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณในความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคเหนือตอนล่าง ในส่วนของงบประมาณ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ และมหาวิทยาลัยนเรศวร ในส่วนของสถานที่ เครื่องมือวิจัยสำหรับใช้ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Attathom, T. 1992. Insect Pathology. Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 107 p. (in Thai)

Bukhari, T., W. Takken and C.J. Koenraadt. 2011. Development of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* formulations for control of malaria mosquito larvae. Parasites and Vectors 4: 23, doi: 10.1186/1756-3305-4-23.

Bunsak, A., W. Pongprasert, S. Buranapanichpan and J. Kulsarin. 2015. Screening on potential *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin for controlling brown planthopper in paddy field. Journal of Agriculture 31(3): 291-299. (in Thai)

Burge, M.N. 1988. Fungi in Biological Control Systems. Manchester University Press, Manchester. 269 p.

Buston, H.W. and S.N. Basu. 1948. Some factors affecting the growth and sporulation of *Chaetomium globosum* and *Memnoniella echinata*. Journal of General Microbiology 2(2): 162-173.

Chantar, K. 2014. Collection, characterization and fruitification of *Fistulina hepatica* (Schaeff.) With. Final Report. Biotechnology Research and Development Office, Bangkok. 37 p. (in Thai)

Campbell, R.K., T.M. Perring, G.L. Barnes, R.D. Eikenbary and C.R. Gentry. 1978. Growth and sporulation of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* on media containing various amino acids. Journal of Invertebrate Pathology 31(3): 289-295.

Daoust, R.A., M.G. Ward and D.W. Roberts. 1983. Effect of formulation on the viability of *Metarhizium anisopliae* conidia. Journal of Invertebrate Pathology 41(2): 151-160.

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

Karot, T. 1996. Wastewater Engineering: Biological Treatment. Chulalongkorn University Press, Bangkok. 606 p. (in Thai)

Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2013. Sustainable approach to rice problems. Solution Review report. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 41p. (in Thai)

Naivikul, O. 1989. Wheats: Science and Technology. Kasetsart University Press, Bangkok. 371 p. (in Thai)

Office of Agricultural Economics. 2019. Agricultural economic information. (Online). Available: http://www.oae.go.th/view/1/Information/EN-US (January 20, 2019). (in Thai)

Onofre, S.B., C.M. Miniuk, N.M. de Barros and J.L. Azevedo. 2001. Growth and sporulation of *Metarhizium flavoviride* var. *flavoviride* on culture media and lighting regimes. Scientia Agricola 58(3): 613-616.

Panyarjun, M. and S. Taruyanon. 1982. Study on improvement of mass production of *Metarhizium anisopliae* for agriculture. pp. 543-563. *In*: Annual Research Report 1982. Section of Biological Control, Department of Entomology and Zoology, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)

Pasura, A. 1993. Production of *Trichoderma harzianum* biomass in submerged culture for biological control of plant pathogenic fungi. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. 105 p. (in Thai)

Patirupanusara, P. and A. Na Lampang Noenplab. 2007. Pathogenicity of entomopathogenic fungi on brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) and green leafhopper (*Nephotettix virescens*). pp.144-154 *In*: Proceedings of Rice and Temperate Cereal Crops Annual Conference 2007. The Golden Jubilee Museum of Agriculture Office (Public Organization), Pathum Thani. (in Thai)

Pham, T.A., J.J. Kim, S.G. Kim and K. Kim. 2009. Production of blastospore of entomopathogenic *Beauveria bassiana* in submerged batch culture. Mycobiology 37(3): 218-224.

Phimolsiripol, Y. and P. Suppakul. 2016. Techniques in shelf life evaluation of food products. Reference Module in Food Science, First Edition, 2016, 1-8.

Piwtamai, R., C. Rattanakreetakul and R. Pongpisutta. 2014. Effect of carbon and nitrogen sources for *Beauveria bassiana* and *Chaetomium globosum* growth to develop as biopesticide. pp. 167-174. *In*: Proceedings of 51st Kasetsart University Annual Conference: Plants. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Popoonsak, S., A. Somrit and A. Chantarasuwan. 2005. Research and development on the production and utilization of a green muscardine fungus, *Metarhizium anisopliae* for agriculture. pp. 543-565 *In*: Final Research Report 2005. Vol. 1. Entomology and Zoology Group, Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)

Popoonsak, S., W. Somsuk, A. Somrit, S. Wongsawikhit and S. Mali. 2006. Studies on suitable carriers used together with various starches for dust formulating a green

muscardine fungus, *Metarhizium anisopliae*. pp. 13-23 *In*: Final Research Report 2006. Entomology and Zoology Group, Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)

Ruay-aree, S. 2001. Integrated Rice Insect Pest Management. The Agricultural Co-operative Federation of Thailand, Ltd., Bangkok. 262 p. (in Thai)

Rudin, S., T.L. Reinecke and B. Segall. 1990. Temperature-dependent exciton linewidths in semiconductors. Physical Review B 42: 11218, doi: 10.1103/PhysRevB.42.11218.

Schlossman, N., P. Batra, E. Balan, W. Pruzensky, K. Shae, M. Schleicher, L. Urban, E. Saltzma and S. Roberts. 2015. The effectiveness of two ready to use supplementary foods (RUSFs) differing in dairy protein content on growth and nutritional status of young children: A pilot study in preschools in Guinea-Bissau. The FASEB Journal 29(1): doi: 10.1096/fasebj.29,1_supplement.898.15.

Sribunme, N. 2017. Development of *Metarhizium anisopliae* bio-product for controlling brown planthopper. M.S. Thesis. Naresuan University, Phitsanulok. 58 p. (in Thai)

Sribunme, N., W. Pongprasert, S. Buranapanichpan, P. Sinchayakul and J. Kulsarin. 2018. Efficacy of some carriers to preserve *Metarhizium anisopliae* MRT-PCH 048 for controlling brown planthopper. Journal of Agriculture 34(2): 227-234. (in Thai)

Thaochan, N. and A. Chinajariyawong. 2008. Spore germination and mycelial growth of *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin effected by temperature regimes. *In*: Proceeding of the 34th Congress on Science and Technology of Thailand (STT 34) 2008. Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok.

Van Driesche, R.G. and T.S. Bellows. 1996. Biology of arthropod parasitoids and predators. pp. 309-336. *In*: R.G. Van Driesche and T.S. Bellows, Biological Control. Springer, Boston.

Zimmermann, G. 1993. The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and its potential as a biocontrol agent. Pesticide Science 37(4): 375-379.

Factors Affecting Grape Cultivation Technology Adoption of Tibetan Farmers in Deqin county, Yunnan Province, P.R. China

ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการปลูกองุ่นของเกษตรกรชาวทิเบต ในเขตเต๋อจิง มณฑลยูนนาน ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน

Chen Rui, Pradtana Yossuck, Chalermchai Panyadee, Bongkochmas Ek-lem

เชน รุย ปรารถนา ยศสุข เฉลิมชัย ปัญญาดี และ บงกชมาศ เอกเอี่ยม

Program in Administrative Studies, School of Administrative Studies, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

หลักสูตรบริหารศาสตร์ วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

**Corresponding author: Email: pradtana@mju.ac.th*

(Received: 28 October 2019; Accepted: 28 May 2020)

บทคัดย่อ: ประเทศจีนมีประวัติการปลูกองุ่นมาเป็นเวลานาน และพื้นที่ปลูกองุ่นในประเทศมีเพิ่มขึ้นอย่างมากในระยะเวลาสองสามปีที่ผ่านมา เขตเต๋อจิง ในมณฑลยูนนานเป็นพื้นที่ใหม่ที่ได้รับการพัฒนาให้เป็นพื้นที่ปลูกองุ่นเนื่องด้วยสภาพทางธรรมชาติที่เหมาะสมและวัฒนธรรมของชนเผ่าจีนทิเบตที่โดดเด่น เพื่อให้มีการผลิตที่สอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาการเกษตรในพื้นที่ จึงมีความสำคัญที่จะศึกษาการยอมรับและปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการปลูกองุ่นของผู้ปลูกองุ่นในพื้นที่เต๋อจิง ประชากรเป้าหมายในการศึกษาคือ เกษตรกรผู้ปลูกองุ่นชาวจีนทิเบตในเขตเต๋อจิง จำนวน 2,200 คน กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 338 คน สุ่มตัวอย่างโดยเทคนิคการสุ่มอย่างง่าย เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นแบบสอบถามซึ่งผ่านการตรวจสอบค่าความเชื่อถือได้ของเครื่องมือ (มีค่า Cronbach's alpha เท่ากับ 0.938) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลทางสังคมศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรมีการยอมรับในระดับมาก ในด้านการเลือกพื้นที่และดินที่ปลูก เทคนิคการปลูก วิธีการสร้างชั้นสำหรับองุ่น การจัดการองุ่นในฤดูใบไม้ผลิ การให้ปุ๋ย การให้น้ำ และการเก็บเกี่ยว และพบว่า อายุ ประสบการณ์นอกพื้นที่ รายได้ของครัวเรือน สัดส่วนของรายได้จากการผลิตองุ่น การศึกษา จำนวนแรงงานในครัวเรือน และระดับความพึงพอใจต่อการให้บริการของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับการยอมรับเทคโนโลยีฯ ของเกษตรกร

คำสำคัญ: การผลิตองุ่น การยอมรับ เทคโนโลยีการปลูกองุ่น เกษตรกรชาวจีนทิเบต ยูนนาน

Abstract: China has a long history in cultivating grape, and grape cultivated area also has been sharply increased in recent years. Deqin county is a newly developed grape growing area, which has unique plateau natural conditions and Tibetan cultural environment. In order to have optimal grape production that comply with the agricultural development policy of this area, it is necessary to study the adoption and factors related to the adoption of the Tibetan farmers in this county. The target population consisted of 2,200 grape farmers in the county and 338 samples were selected by simple random sampling technique. The questionnaire with reliability tested (Cronbach's alpha=0.938) is used for the data collection, and the data were analyzed by using the statistic program of social science research. The results of the research showed that Tibetan farmers in Deqin county have high adoption in "Land and soil select", "Planting techniques", "The method of built grape shelves", "Spring management techniques", "Fertilizer techniques", "Irrigation techniques", and "Harvest techniques". The study also found age, experience of being out town, household income, proportion income from grape, education, labor force number in a household, and satisfaction on service of technician, were directly affected to the Tibetan farmers' adoption.

Keywords: Grape cultivation, adoption, grape technology, Tibetan farmers, Yunnan

Introduction

Cultivation of grape had been started in China since thousands of years ago, and the area of grape cultivation has been increased sharply in recent years (Zhao, 2014). According to statistics of the ministry of agriculture, since 2011, China's fresh grape production has been the world's largest and by the end of 2015, China's grape cultivation area was 1,960,000 acre. Deqin county is located in the northwest of Yunnan Province which belongs to Diqing Tibetan Autonomous Prefecture. This prefecture is the only Tibetan autonomous prefecture in Yunnan Province, which locates in the middle of the Hengduan Mountains and bordered by the Tibet Autonomous Region in the northwest and Sichuan Province in the northeast. Diqing Prefecture is the upper reaches of the Salween, Mekong and Jinsha Rivers. There are three counties in this prefecture: Shangri-La City, Deqin county, and Weixi Lisu Autonomous County (See Figure 1). Although agriculture is important in this county, there are many limitations of agriculture development; such as poor transportation and backward agricultural infrastructure. People in this county make a living by planting corn, wheat, and rice. For many years, the rural economy is fall behind Yunnan Province's average (Deqin county, Government Operational Report, 2015).

Chinese experts have found that the Jinsha and Lancang Rivers valley in Deqin county is suitable for grape cultivation because of its weather, temperature, rainfall, sunshine duration, and water quality (He, 2012). In addition, the wine from this county is the best quality wine in China, even in world. With these reasons, since 2001, Deqin county government has begun to promote grape cultivation in the area by allocating a large amount of funds and formulating and implementing grape extension policy for the area. For the result, after ten years of extension, the government can expand grape cultivation areas. In 2015, there was about 2,277 acre of grape plantation. However, the government still needs to expand more grape area and also has future policy for the grape extension of the area.

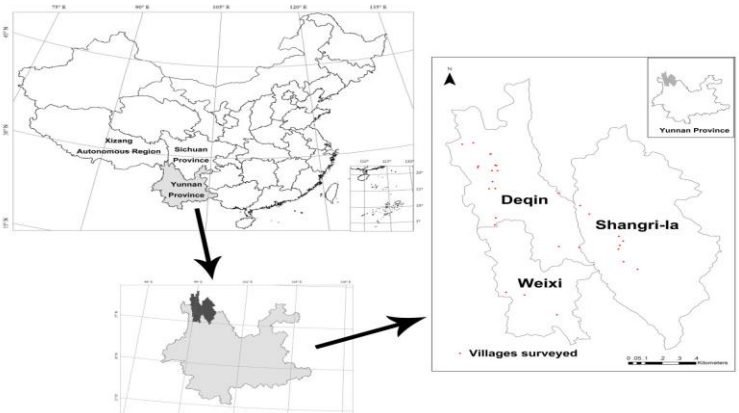


Figure 1. Location of Deqin county, Yunnan Province, P.R. China
Source: Ju, 2013. pp. 21

Since the grape extension system has been implemented in the area, there is no evaluation of the effectiveness of the extension system including farmers' grape cultivation technology adoption. With this reason, to realize farmers' grape adoption and factors related to the adoption are very important for Deqin government. Many researchers have tried to explain technology adoption in relation to personal characteristics and endowments, imperfect information, risk, uncertainty, institutional constraints, input availability, and infrastructure (Feder et al.1985; Foster and Rosenzweig 1995; Rogers, 2003). If the Deqin government has realized some factors related to the grape cultivation technology adoption of Tibetan farmers, they can be able to improve efficiency and effectiveness of the services on grape extension system.

Materials and Methods

Locale of the study

The research was conducted in two towns named Benzilan and Yunling of Deqin county. Benzilan Town is located in the southeastern of the county, on the side of the Jinsha River. There are five administrative villages (named as Benzilan, Dari, Yeri, Shusong and Duotong) with a total area of 1245 sq.km. Yunling Town is located in the southwest of Deqin county and the Lancang River which runs across the whole area from north to south. There were four villages (named Sinon, Xidang, Hongpo, and Guonan) in Yunling, and there were three villages (named Benzilan, Dari, and Yeri) in Benzilan, together with the total area of 942 sq.km. The two towns were selected based on three reasons. First, the areas are suitable for grape cultivation. Both of them are located in the valley of Jinsha River and Lancang River. Benzilan Town is on the side of the Jinsha River, and Lancang River runs across Yunling Township area. Second, both Benzilan and Yunling are typical Tibetan towns where 96% and 97% of their populations are Tibetan ethic groups, and Tibetan traditional culture was well preserved. Third, Benzilan is located along an important commercial and tourism route from ancient times to present. It is famous for the tourism resources including Meili Snow Mountain, Baimang Snow Mountain, and Jinsha River Grand Canyon. Tourists can easily visit grape orchard and purchase grape fruits. Yunling is the largest grape planting area, and it is an earliest grape adoption township of the county.

Data collection

The Tibetan farmers who already cultivated grape in Deqin county were the study subjects. According to the 2017 statistics of Deqin county Agricultural Bureau, there were about 2,200 Tibetan grape farmers in the county, and these farmers were the target population. The actual sample size of the 338 farmers was calculated by using Taro Yamane formula with 95% confidence level. The simple random sampling method was used to select the samples scattered in the above seven villages in both target towns.

Research tool

This study employed a questionnaire as a research tool. The questionnaire was consisted of two parts. The first part was about socio-economic background and information of grape cultivation of the farmers (e.g. gender, age, education, year of cultivated grape, vineyard size, experience being a village leader, experience of being out of town, household income, proportion income from grape, education, labor force number in a household, grape orchard distance, major transportation, frequency of guidance provided by technician, and satisfaction on service of technicians). The second part is a list of questions about grape cultivation technology adoption of the farmers. A 3-point scale question was used to determine the level of farmers' adoption; all the time (3), sometimes (2), never (1). Details of grape cultivation technology included land and soil selection, soil improvement, excavated depth and space of line and row of a grape tree, method of built grape shelve, bud picking, pruning, binding, bagging, weeding, fertilization, pest control, irrigation and harvesting.

To ensure the quality and feasibility of the questionnaire, the research tools were checked with its validity by 5 experts from both academic institutions (Maejo University, Yunnan Agricultural University, and Deqin Extension Center). The reliability of the questionnaire was checked by a try out survey of 30 Tibetan farmers in a town nearby the research site (named Yanmen Town). The questionnaire's reliability test with Cronbach's Alpha is 0.938, which mean the questionnaire was qualified to be used for collecting data (Kline, 2000).

Results and Discussion

Grape Cultivation Technology Adoption of Tibetan Farmers

The study found that there were almost the same numbers of male and female Tibetan grape farmers (50.1% and 49.9% respectively). More than one-third of them (34.9%) were in the age of 51 +. Almost half of the farmers (42%) had 7-9 years of experience in grape cultivation and 47% of them had vineyard size of less than 1 mu. (1 mu=0.165 acre). It was also showed almost two third of them (74.3%) had no experience of work or study out of town. The questionnaire indicated that 34.6% Tibetan grape farmers' gross household income were above 50,000 Yuan (about 7,400 US dollar, and there were 47% of them whose income from grape were 20-40%. It also showed that more than three quarters (75.4%) of their education were less than 6 years, and half of the farmers (52.1%) have 3-4 fulltime labor forces in their household. The data also indicated that more than half of the orchards (60.9%) were 1-3 kilometers from the village' grape selling point and more than half of them (66.3%) mainly transported their grape products by a truck. In addition, more than half of the farmers (52.1%) considered that the government extension workers could provide knowledge of grape whenever they needed. Almost half of them (44.4%)

indicated that the government extension workers performed good efficiency at work. Focusing on grape cultivation technology adoption. There are 10 issues that the farmers adopted. Those were land and soil select, planting techniques, method of built grape shelves, spring management techniques, autumn management techniques, weeding techniques, fertilizer techniques, pest control, irrigating techniques, and harvesting techniques.

By applying the Weight Mean Score (WMS) method, the criteria for interpreting the level of adoption are 2.3334-3=High adoption; 1.6667-2.3333=Medium adoption; 1-1.6666=Low adoption. It was found that in overall the farmers had high adoption of grape cultivation technology. The details are shown in Table 1.

When considering in the details, it was found that the farmers had high adoption on building grape shelve technology, whereas the lowest adoption was autumn grape management technology.

Factors affected the grape cultivation technology of the Tibetan farmers in Deqin county

Using regression analysis to analyze factors that affected grape cultivation technology adoption of the Tibetan farmers, it was found that age, experience of being out of town, household income, proportion income from grapes, education, labor force number in a household, and satisfaction on service of technicians were significantly affected the Tibetan farmers' adoption. The result of analysis was shown in Table 2.

Table 1. Level of grape cultivation technology adoption of Tibetan farmers in Deqin county

Grape technology	WMS	S.D.	Level of adoption
Land and soil selection	2.6435	0.4963	High
Planting technology	2.5769	0.5300	High
The method of building grape shelves	2.8245	0.3833	High
Spring management techniques	2.3898	0.5505	High
Autumn management techniques	2.1183	0.7847	Moderate
Weeding techniques	2.2968	0.6991	Moderate
Fertilizer techniques	2.5310	0.6471	High
Pest control	2.2544	0.7821	Moderate
Irrigating techniques	2.6420	0.4801	High
Harvesting techniques	2.5128	0.5222	High
Total	2.4790	0.5875	High

Table 2. Factors affecting the grape technology adoption of the Tibetan farmers in Deqin county

Independent Variable	Unstandardized coefficients Beta	Standardized coefficients Beta	Significant level (Sig) P
Constant	0.804	-	0.000
X_1 Gender	0.302	0.205	0.520
X_2 Age	0.701	0.668	0.000*
X_3 Year of cultivated grape	0.208	0.167	0.120
X_4 Vineyard size	-0.308	-0.265	0.342
X_5 Experience being a village leader	0.872	0.747	0.400
X_6 Experience of being out of town	0.901	0.884	0.000*
X_7 Household income	0.898	0.806	0.000*
X_8 Proportion income from grape	0.623	0.600	0.000*
X_9 Education	0.728	0.725	0.000*
X_{10} Labor force number in a household	0.703	0.690	0.000*
X_{11} Grape orchard distance	0.209	0.130	0.177
X_{12} Major transportation	-0.442	-0.208	0.068
X_{14} Satisfaction on service of technicians	0.696	0.598	0.000*
		F	Sig
R = 0.585[a]	R Square = 0.342	113.822	0.000[b]

*Significant difference at (*P<0.05*)

The results of Table 2 showed the relationship of X_1 gender, X_2 age, X_3 years of cultivated grape, X_4 vineyard size, X_5 experience of being a village leader, X_6 experience of being out of town, X_7 household income, X_8 proportion income from grape, X_9 education, X_{10} labor force number in a household, X_{11} grape orchard distance, X_{12} major transportation, and X_{14} satisfaction on service of technicians, all together explained Y with statistical significance (R=0.585, *P*<0.05). The relationship of variable group can explain variation of Y at 34.20 % (R^2=0.342, *P*<0.05). The regression model can be written as follows:

Unstandardized

$$Y = 0.804 + 0.302X_1 + 0.701X_2 + 0.208X_3 - 0.308X_4 + 0.872X_5 + 0.901X_6 + 0.898X_7 + 0.623X_8 + 0.728X_9 + 0.703X_{10} + 0.209X_{11} - 0.442X_{12} + 0.696X_{14}$$

And Standardized:

$$Y = 0.205X_1 + 0.668X_2 + 0.167X_3 - 0.265X_4 + 0.747X_5 + 0.884X_6 + 0.806X_7 + 0.600X_8 + 0.725X_9 + 0.690X_{10} + 0.130X_{11} - 0.208X_{12} + 0.598X_{14}$$

Among the 13 variables, there were 7 variables that were significantly related to the adoption. Those were age, experience of being out of town, household income, proportion income from grape, education, labor force number in a household, and satisfaction on service of technicians. It was found that household income is the highest, whereas the proportion income from grape is the lowest significantly related to the adoption. Discussion on the results were as follow;

Age-Literature review has shown that age negatively effect on the adoption because of veteran

farmers believe in their own experience (Mauceri *et al*., 2005). Younger farmers are more likely to accept new technologies and have a stronger willingness for trying new technologies (Alexander and Van Mellor, 2005). In Deqin county, the government made a great effort in grape extension from 2005 to 2012. Therefore, Tibetan farmers who had started planting grapes during this period had gained several good technical trainings and many onsite guidance (He, 2012). They also were strong laborers involved in agricultural production during this period of times. At present, also these farmers are on their 60s years old, still they are skilled laborers in grape cultivation since they are well trained, and have gained lot of knowledge and experiences on grape planting.

Experience of being out of town-In recent years, the Chinese government has speed up both infrastructure construction and public services in northwest Yunnan region. Therefore, Deqin county is rapidly exchanging with external development. Many local Deqin residents had migrated out of the two research towns to either Shangri-La City, Kunming, or even other cities outside Yunnan for their better education and jobs. The experience of going out for work has a significant impact on farmers' technology adoption behavior (Shi and Wang, 2013). With this reason, these farmers have higher level of acceptance of grape planting technology than the farmers who were never been moved out of the towns.

Household income-A key determinant of the adoption of a new technology is the net gained from adoption of the farmers (Foster and Rosenzweig, 1995). It also indicated that the high cost of agricultural technology has been found to be a constraint to technology adoption. Compared to the traditional crops, grape usually requires high investments for vine yard establishment. Farmers with higher household incomes had a higher adoption rate of grape techniques

Proportion income from grape-The higher dependency on technology, the higher adoption in the technology (Wei et al., 2015). The higher proportion of income from grape planting in a household income, the higher the rate of technology adoption. This is because these farmers are high dependent on grapes, and they hope to increase their incomes by adopting standard grape planting techniques.

Education-Ajewole (2010) found that the level of education has a positive and significant influences on adoption of the technology. A study by Rahm and Huffman (1984), who studied the role of human capital and factors that affected the adoption of reduced tillage in corn production, had found that farmers' education and experiences play a crucial role in enhancing the efficiency of the adoption. Education level of a farmer increases his ability of obtain and use information of grape cultivate technology. Therefore, education of Tibetan farmer in Deqin county has a positive influence on their decision of grape cultivate technology adoption.

Labor force number in a household-A larger household have more capacity to meet labor requirement during introduction of new technologies (Mignouna et al., 2011). The labor demands of a new technology have to match with the labor availability of the household. The cultivation of grapes requires more labor than traditional crops. Lacking of labor and ineffective management has negative impact on grape harvesting.

Satisfaction on service of technicians-This study had shown that availability of extension service plays a key role in Tibetan Farmers adoption in Deqin county. If farmers can always get information of technician about the new techniques of viticulture and the benefits they bring, it will facilitate the flow of

technology from innovators to farmers. In fact, the influence of extension agents can counter balance the negative effect of lacking formal education in the overall decision to adopt some technologies (Yaron *et al.*, 1992).

To enhance the Tibetan farmers' grape technology adoption in Deqin county, some recommendations were made for the central government, Yunnan provincial government, and also Deqin local government as follow;

1. Further strengthen education and agricultural training for the farmers. This study had found that frequency of guidance provided by technicians is highly affected the adoption. Thus, it is necessary for the Deqin government to maintain or increase and also improve quality of agricultural extension services. At the same time, it is important to increase the training of agriculture technology. Low educated farmers who were main labor forces in the area insisted that training course should be launched to the farmers continuously. In addition, local government should take advantage of the specific plan named "Yunnan Province on Further Strengthening the Counterpart Assistance to Diqing Prefecture" which is aimed to strengthen counterparts' support mechanism of "Three District, Three County" and "Three City, Three County". In this plan, cooperation between the Deqin government and agricultural research departments and universities in these cities will be promoted in order to transfer appropriate agricultural technologies to farmers in the area.

2. Both Yunnan and Deqin local government should motivate and assess the public agricultural technology extension systems in the county. As an important public service undertaking, agricultural technology extension cannot be separated from the strong support of finance and techniques at all levels. Local governments should make full use of supporting policies of the central government on the development of Tibetan areas. All related organization such as Deqin county Agriculture Bureau for Agricultural Development Projects in Tibetan, The Agriculture Department of Yunnan Province, and The Science and Technology Department of Yunnan Province should effectively collaborate to provide sufficient budget, human resources, and technologies to the farmers. For example, an active communication via mobile phone, network, and other ways to improve the efficiency of agricultural technology. At the same time, improve the performance appraisal mechanism of agricultural technicians, with the actual workload and work performance to farmers as the main assessment indicators, objectively and truthfully evaluate the performance of agricultural technicians, and disclose them to the public, accept public supervision.

Conclusion

In summary, the Tibetan farmers in Deqin county has high level of adoption in grape cultivation technology. This is because grape cultivation in this area is very intensive. Tibetan farmers had very limited land size. Because of geographical limitation where majority of the area is high slope mountainous area, there are only narrow pieces of land along the Jinsha and Lancang Rivers valley that are suitable for grape cultivation. Also, Tibetan farmers are naturally calm and patient, they usually devoted their labor for taking a good care of their grape. Remarkably, there were 7 factors (age, experience of being out of town, household income, proportion income from grape, education, labor force number in a household, and satisfaction on service of technicians)

significantly affected the Tibetan farmers' adoption. Hence, Deqin government should develop young farmers in the county on both of their formal education and grape experiences so they can be not only experience good grape farmers but also be labor force in rural Deqin development. In the same time, Deqin government should continuously and constantly develop effective and productive potentiality in grape extension to their technicians. So, these technicians will be important key persons in grape cultivation development in the county.

Acknowledgement

The authors would like to thank all those who helped us during writing this paper. Professor Zhu Kexi of Yunnan Agricultural University and Ms. Jariya Koment, a Ph.D. student in School of Administrative Studies of Maejo University, who helped us with quantitative analysis. Our sincere appreciation also goes to Mr. Yang Shuqi and Mr. Ban Ma of Diqin Tibetan Autonomous Prefecture Agricultural Bureau for their help in the research.

References

Ajewole, O.C. 2010. Farmer's response to adoption of commercially available organic fertilizers in Oyo State, Nigeria. African Journal of Agricultural Research 5(18): 2497-2503.

Alexander, C.E. and T. Van Mellor. 2005. Determinants of corn rootworm resistant corn adoption in Indiana. AgBioForum 8(4): 197-204.

Deqin county. 2015. Deqin county Government Operational Report. Shangri-La. 223 p (in Chinese)

Feder, G., R.E. Just and D. Zilberman. 1985. Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. Economic Development and Cultural Change 33(2): 255-298.

Foster, A.D. and M.R. Rosenzweig. 1995. Learning by doing and learning from others: Human capital and technical change in agriculture. Journal of Political Economy 103(6): 1176-1209.

He, W. 2012. Briefly research of Deqin grape industry development. Non-state Running Science & Technology Enterprises 3(11): 38-39. (in Chinese)

Ju, Y. 2013. Ethnobotanical Survey of Wild Edible Plants Used by Tibetans in Northwest Yunnan, China. M.A. Thesis: Minzu University of China, Beijing. 211p. (in Chinese)

Kline, P. 2000. The Handbook of Psychological Testing. 2nd ed. Routledge, London. 525 p.

Mauceri, M., J. Alwang, G. Norton and V. Barrera. 2005. Adoption of Integrated Pest Management Technologies: A Case Study of Potato Farmers in Cachi, Ecuador. paper presented at the American agricultural economics association annual meeting, Providence, Rhode Island, 27p.

Mignouna, D.B, V.M. Manyong, J. Rusike, K. Mutabazi and E.M Senkondo. 2011. Determinants of adopting imazapyr-resistant maize technologies and its impact on household income in Western Kenya. AgBioForum 14(2): 158-163.

Rahm, M.R. and W.E. Huffman.1984. The adoption of reduced tillage: the role of human capital and other variables. American Journal of Agricultural Economics 66(4): 405-413.

Rogers, E.M. 2003. Diffusion of Innovation, The Free Press, A Division of Simon & Schuster, Inc.

Shi, Z. and J. Wang. 2013. Outward employment experience and the new technology acquisition of rural labor forces. Journal of Zhongnan University of Economics and Law 2(7): 48-56. (in Chinese)

Wei, J.L., X. Dong and D. Tan. 2015. Analysis of Influencing Factors on Farmers' Adoption of Soil Testing and Formulated Fertilization-Based on Survey Data of Pingyuan County of Shandong Province. Chinese Agricultural Science Bulletin 31(27): 276-284. (in Chinese)

Yaron, D., A. Dinar and H. Voet. 1992. Innovations on family farms: The Nazareth region in Israel. American Journal of Agricultual Economics 74(3): 361-370.

Zhao, Y. 2014. The grape industry: present situation, influence factors and development suggestions. The Friend of Fruit Farmer 11(1): 3-4. (in Chinese)

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.

ในกรณีที่เป็นวารสารออนไลน์ ไม่สามารถระบุเลขหน้าเริ่มต้นและเลขหน้าสิ้นสุดได้ 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.

เรื่องย่อยในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องเขียน และมีบรรณาธิการ

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

Krairiksh, S. and W. Namruangsri. 1997. Integrated pest control of mango. pp. 137-144. *In*: K. Jumroenma (ed.). Integrated Pest Control. The Agricultural Cooperative Federation of Thailand, Ltd., Bangkok. (in Thai)

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

รายงานการประชุม สัมมนา (Reports and Proceedings)

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

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

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

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

(ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลปีที่ตีพิมพ์ ให้ระบุเป็นปีที่เข้าไปสืบค้นข้อมูล)

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) ทุกบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารเกษตร ต้องผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิไม่น้อยกว่า 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 36, Issue 3 September - December 2020

Effects of Zeatin and IAA on Pepper Embryogenesis by Shed-microspore Culture

Somsamai Yaioon, Jutamas Kumchai, Yuenyad Teerawatsakul and Weenun Bundithya.....291

Antioxidants and Inhibition of Skin Aging-related Enzyme Activities of the Flowers of Some Asteraceous Weeds

Jamnian Chompoo, Tanapong Kaiput, Sunisa U-yatung and Tosapon Pornprom.....301

Effects of Pruning and Plant Nutrition Management on Growth, Development and Yield of Cashew Nut

Podjanee Sangmanee.....313

Appropriate Fertilizer Management for Baby Cos Production Under Greenhouse Condition on Highland in Chiang Mai Province

Rattanaphon Chaima, Fapailin Chaiwan and Choochad Santasup.....321

Influence of Rice Cultivation Methods on Planthopper and Leafhopper Populations in Irrigated Rice Field in Lower Northern Thailand

Sasipapar Putkampra, Wipa Homhaul, Weerathep Pongprasert, Yaowaluk Chanbang and Jiraporn Kulsarin.....333

Optimum Rate of Fertilizer for Shallot Production in Ban Hong District, Lamphun Province

Waraporn Tewa, Kaewalin Kunasakdakul and Choochad Santasup.....345

Effects of Some Plant Extracts on Growth of Snowflake Cordyceps

Preeya Manorat, Jiraporn Kulsarin, Sawai Buranapanichpan and Tanya Tapingkae.....357

Use of Biogas from Swine Manure as a Renewable Energy to Produce Electricity in Community of Highland Development Project Using the Royal Project Model

Suchon Tangtaweewipat, Ongart Songsi, Boonlom Cheva-Isarakul and Kanyarat Puakchareon.....365

Use of Marinade Solutions with Spices in Smoked Lamb Legs and Tenderizers in Mutton Stew

Suchon Tangtaweewipat, Pattavara Pathomrungsiyounggul, Boonlom Cheva-Isarakul, Wilaiporn Thantharak, Nuttakarn Maneethong, Auengploy Chailangka and Vuttichai Ladkruea.....377

Farmers' Knowledge and Strategies for Tilapia Disease Management in Cage Culture in Songkhram River

Patcharawalai Sriyasak, Supannee Suwanpakdee and Pornpimol Pimolrat.....387

Formulation Development of *Metarhizium anisopliae* (NU-048) Concentrated Bioproduct to Control Brown Planthopper

Suknitcha Rakjeng, Wipa Homhaul, Weerathep Pongprasert, Panisara Thepkusol, Yaowaluk Chanbang and Jiraporn Kulsarin.....397

Factors Affecting Grape Cultivation Technology Adoption of Tibetan Farmers in Deqin county, Yunnan Province, P.R. China

Chen Rui, Pradtana Yossuck, Chalermchai Panyadee, Bongkochmas Ek-lem.....409

ISSN 0857-0841

วารสารเกษตร ปีที่ 36 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2563 หน้า 291-418 Journal of Agriculture Volume 36, Issue 3 September-December 2020 pp. 291-418