



วารสารเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURE

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 31 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2558

รูปแบบสถาปัตยกรรมปากทางเข้ารังของชันโรง <i>Tetragonula laeviceps</i> (Smith) Species Complex (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) ในประเทศไทยและมาเลเซียตะวันตก	
กนกวรรณ คำยอดใจ Häns Bänziger และ จิราพร กุลสาริน.....	1
ชีววิทยาของด้วงเมล็ดกาแฟ <i>Araecerus fasciculatus</i> (De Geer) (Coleoptera: Anthribidae) ในกระเทียมและการควบคุมโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	
รัตนพร ไชยศรี และ ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์.....	11
การออกแบบกับดักฟีโรโมนเพศสังเคราะห์เพื่อควบคุมผีเสื้อหนอนใยผักในการผลิตกะหล่ำปลีบนพื้นที่สูง	
อาทิตยา ทองคำกุล จิราพร กุลสาริน และ ไสว บุรณพานิชพันธ์.....	21
การใช้ของเสียจากการผลิตครั้งแรกเพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ 1. ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและระยะเวลาการเก็บต่อคุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์ครั้งแรก	
ศิริรัตน์ ปากประโคน และ ชูชาติ สันธทรัพย์.....	31
การใช้น้ำออกซิไดซ์ที่ผ่านการแยกด้วยไฟฟ้าในการควบคุมเชื้อแบคทีเรียเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักอินทรีย์	
วันวิสา เตชะวงศ์ และ เกวลิน คุณาศักดากุล.....	39
การยับยั้งอะฟลาทอกซิน บี 1 โดยการใช้สายพันธุ์ไม่ผลิตสารพิษของเชื้อรา <i>Aspergillus flavus</i>	
กวินทรา แข่งขัน ทศวรรต อะโนราช พยุงศักดิ์ อินตะวิชา สมชาติ ธนะโชค ไสรัจกุล และ ชรรค์ชัย ดันเมฆ.....	47
ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง	
นภาพร ทางทิศ และ วรทัศน์ อินทรคัมพร.....	59
สมรรถภาพการเจริญเติบโตและองค์ประกอบซากของไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก	
ถนอม ทาทอง สันติสุข วรวัฒนธรรม และ มนต์วี วรกฎ.....	69
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใส่กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งนุกร่วมกับแทนแทนกัม	
ศิริลดา ไกรลมสม.....	77
บทความปริทัศน์:	
การจัดการทางโภชนาการสำหรับการอนุบาลและการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม	
พิเชต พลายุเพชร.....	89

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

เรื่องที่ตีพิมพ์

บทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการ

การเตรียมต้นฉบับ

1. ภาษา เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ

2. การพิมพ์ พิมพ์หน้าเดียวบนกระดาษขนาด A4 ด้วย ไมโครคอมพิวเตอร์โปรแกรม ไมโครซอฟท์ เวิร์ด ตัวอักษร Cordia new ขนาด 14 ตัวอักษรต่อนิ้ว ความยาวไม่ควรเกิน 10 หน้า (รวมบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)

3. การเรียงลำดับเนื้อหา

3.1 ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น ชัดเจน และต้องสื่อเป้าหมายหลักของการศึกษาวิจัย ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

3.2 ชื่อผู้เขียน เป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับที่อยู่ (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ) ให้พิมพ์เป็นเชิงอรรถ (Footnote) ในหน้าแรกของบทความ

3.3 บทคัดย่อ (Abstract) ควรเป็นเนื้อหาที่สั้น ชัดเจนและเข้าใจง่าย โดยรวมเหตุผลในการศึกษาวิจัย อุปกรณ์ วิธีการ ตลอดจนผลการศึกษาและสรุปด้วย ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่ควรเกิน 200 คำ และให้ระบุคำสำคัญ (keywords) ไว้ท้ายบทคัดย่อแต่ละภาษาด้วย (บทความปริทัศน์อาจไม่ต้องมีบทคัดย่อ)

3.4 คำนำ (Introduction) แสดงความเป็นมาและเหตุผลที่นำไปสู่การศึกษาวิจัย อาจรวมการทบทวนเอกสาร (Review of Literature) และวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยไว้ด้วย

3.5 อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods) ให้อธิบายละเอียดวิธี อุปกรณ์ที่ใช้ ตลอดจนวิธีและแบบจำลองการศึกษาวิจัยที่ชัดเจน และสมบูรณ์

3.6 ผลการศึกษาหรือผลการทดลอง (Results) ให้บรรยายผลการศึกษาวิจัย พร้อมเสนอข้อมูลในรูปแบบ ตารางหรือภาพประกอบได้ โดยตารางหรือภาพ ให้จัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด

3.7 วิจารณ์ (Discussion) ควรเชื่อมโยงกับผลการศึกษาว่าสอดคล้องกับสมมุติฐาน หรือแตกต่างไปจากผลงานวิจัยที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่อย่างไรและด้วยเหตุใด โดยมีพื้นฐานการอ้างอิงที่เชื่อถือได้ วิจารณ์อาจนำไปรวมกับผลการศึกษาเป็นผลการศึกษาและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.8 สรุป (Conclusion) ควรสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ พร้อมให้ข้อเสนอแนะ หรือระบุอุปสรรคและแผนงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป

4. กิตติกรรมประกาศ หรือ คำขอบคุณ (Acknowledgement)

อาจมีหรือไม่ก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ช่วยเหลือในงานวิจัย แต่ไม่ได้เป็นผู้ร่วมงานวิจัย

5. เอกสารอ้างอิง (References)

5.1 ในเนื้อเรื่องไม่ควรอ้างอิงถึงเรื่องที่ไม่เกี่ยวข้องหรือห่างไกล ระบบที่ใช้อ้างอิงคือ ระบบชื่อ และปี (Name-and-year System) ในเอกสารภาษาไทย ให้ใช้ชื่อตัวและปี พ.ศ. เช่น สมชาย (2545) รายงานว่า...หรือ...(สมชาย, 2545) หากมีผู้เขียน 2 คน ให้ใช้เป็น สมชาย และสมหญิง (2547) รายงานว่า...หรือ...(สมชาย และสมหญิง, 2547) และถ้ามีผู้เขียนตั้งแต่ 3 คนขึ้นไป ให้ใช้ชื่อคนแรกแล้วตามด้วยคำว่า และคณะ เช่น สมชาย และคณะ (2546) รายงานว่า...หรือ...(สมชาย และคณะ, 2546) ในกรณีเอกสารเป็นภาษาอังกฤษ ให้ใช้ชื่อสกุลและปี ค.ศ. เช่น Johny (2003)...หรือ...(Johny, 2003) ถ้าผู้เขียนมี 2 คน ให้ใช้เป็น Johny and Walker (2004) ...หรือ...(Johny and Walker, 2004) หากมีมากกว่า 3 คน ให้ใช้เป็น Johny *et al.* (2005)...หรือ...(Johny *et al.*, 2005) สำหรับในบัญชีเอกสารอ้างอิง ให้ใส่ชื่อผู้เขียนทุกคนห้ามใช้คำว่า และคณะ หรือ *et al.*

5.2 ในบัญชีเอกสารอ้างอิง ให้เรียงลำดับเอกสารภาษาไทยก่อนภาษาอังกฤษ โดยเรียงตามลำดับอักษรในแต่ละภาษา ตามรูปแบบการเขียนมีดังนี้

1) วารสาร (Journals)

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

วันทนา มุฑิตา และ ณัฐา ควรประเสริฐ. 2547. เซลล์พันธุศาสตร์และการถ่ายทอดสีดอกของฟิวเซีย. วารสารเกษตร 20(1): 10-18.

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.

2) หนังสือ และตำรา (Books & Textbooks)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์. เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

จริยา วิสิทธิ์พานิช ชาตรี สิทธิกุล และ เขียวลักษณ์ จันทร์บาง. 2545. โรคและแมลงศัตรูลำไย ลิ้นจี่ และมะม่วง. ธนบรรณการพิมพ์, เชียงใหม่. 308 หน้า.

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

3) เรื่องย่อในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องกันเขียน และมีบรรณานุกรม

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

ดำรง เวชกิจ และ สมบูรณ์ ทองสกุล. 2535. เทคนิคการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช. หน้า 22-42. ใน: สุวัฒน์ รวยอารีย์ (บก.). แมลงและศัตรูศัตรูที่สำคัญของพืชเศรษฐกิจและการบริหาร. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โอเดียสแควร์, กรุงเทพฯ.

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.

4) วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ระดับวิทยานิพนธ์. สถาบันการศึกษา. เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

อภิรักษ์ มณีพชร. 2547. ผลของการใช้อินชอนต่อคุณภาพและสารพิษตกค้างหลังการเก็บเกี่ยวส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. 100 หน้า.

5) เอกสารวิชาการอื่นๆ

ชื่อผู้เขียน หรือหน่วยงาน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องหรือชื่อหนังสือ. ประเภทของเอกสาร. สถาบันหรือหน่วยงานที่จัดพิมพ์, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด. วิศวกร ศิโยภาส. 2544. แมลงศัตรูปลาน้ำจืดในประเทศไทย. เอกสารวิชาการ. กองกัญและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 126 หน้า.

6) สื่ออิเล็กทรอนิกส์

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: ชื่อ Website (วันเดือนปีที่สืบค้นข้อมูล).

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2548. การปลูกผักแบบไม่ใช้ดิน (ไฮโดรโปนิกส์). (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.doae.go.th/proster/nondin/html> (21 เมษายน 2548).

Lindardakis, D.K. and B.I. Manois. 2005. Hydroponic culture of strawberries in perlite. (Online). Available: <http://www.schundler.com/strawberries.htm> (April 21, 2005).

ดูคำแนะนำรูปแบบในการใช้ภาษาอังกฤษในเนื้อเรื่องภาษาไทย และการส่งเรื่องเพื่อตีพิมพ์ได้ในปกหลัง

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 รองคณบดีฝ่ายวิจัย และวิเทศสัมพันธ์	Consultants	Dean, Faculty of Agriculture; Associate Dean for Research and International Affairs
บรรณาธิการ	ศ.ดร.สฤษชัย จตุรสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Editor	Sanchai Jaturasitha, Dr.sc.agr., Prof. Chiang Mai University
รองบรรณาธิการ	ผศ.ดร.เกวลิณ คุณาศักดากุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	Vice Editor	Kaewalin Kunasakdakul, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University
กองบรรณาธิการ ฝ่ายวิชาการ	รศ.ดร.ณัฐา โพธารมณ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รศ.ดร.ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รศ.ดร.สุนทร คำยอง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผศ.ดร.สุรินทร์ นิลสำราญจิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.ดร.บุศรา ลีมนิรันดร์กุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.ดร.เยาวลักษณ์ จันทร์บาง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.ดร.ฉันทลักษณ์ ตียายน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.ดร.จิรวรรณ กิจชัยเจริญ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.ดร.วรรณพร ทะพิงค์แก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.ดร.ชูชาติ สันทรทรัพย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ศ.ดร.จรัญ จันทลักขณา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	Editorial Board (Academic)	Nuttha Potapohn, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University Sakda Jongkaewwattana, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University Soontorn Khamyong, Ph.D., Assoc. Prof. Chiang Mai University Surin Nilasamranchit, Ph.D., Assist. Prof. Chiang Mai University Budsara Limnirankul, Ph.D., Chiang Mai University Yaowaluk Chanbang, Ph.D. Chiang Mai University Chantalak Tiyyon, Ph.D. Chiang Mai University Jirawan Kitchaicharoen, Ph.D. Chiang Mai University Wanaporn Tapingkae, Ph.D. Chiang Mai University Choochad Santasup, Ph.D. Chiang Mai University Charan Chantalakhana, Ph.D., Prof. Kasetsart University

	ศ.ดร.เมธา วรรณพัฒน์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	Metha Wanapat, Ph.D., Prof. Khon Kaen University
	ศ.ดร.อังศุมาลย์ จันทราปัติย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	Angsumarn Chandrapatya, Ph.D., Prof. Kasetsart University
	รศ.ดร.เสวียน เปรมประสิทธิ์ มหาวิทยาลัยนเรศวร	Savent Pampasit, Ph.D., Assoc. Prof. Naresuan University
	รศ.ดร.วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ มหาวิทยาลัยนเรศวร	Weerathep Pongprasert, Ph.D., Assoc. Prof. Naresuan University
	ผศ.ดร.ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้	Pathipan Sutigoolabud, Ph.D., Assist. Prof. Maejo University
	รศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร มหาวิทยาลัยขอนแก่น	Suchila Techawongstien, D.agr., Assoc. Prof. Khon Kaen University
	รศ.ดร.เพชรรัตน์ ธรรมเบญจพล มหาวิทยาลัยขอนแก่น	Petcharat Thummabenjapone, Ph.D., Assoc. Prof. Khon Kaen University
	รศ.บำเพ็ญ เชี่ยวหวาน มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมวิราช	Bumpen Keowan, Assoc. Prof. Sukhothai Thammathirat Open University
	ผศ.ดร.เพ็ญพร เจนการกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	Penporn Jankarnkij, Ph.D., Assist. Prof. Kasetsart University
	ผศ.ดร.ไชยวรรณ วัฒนจันทร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	Chaiyawan Wattanachant, Ph.D., Assist. Prof. Prince of Songkla University
	รศ.ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	Kriangsak Mengumphan, Ph.D., Assoc. Prof. Maejo University
	ผศ.ดร.เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	Saowakon Wattanachant, Ph.D., Assist. Prof. Prince of Songkla University
	รศ.ดร.ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์	Tawadchai Suppadit, Ph.D., Assoc. Prof. Nation Institute of Development Administration
กองบรรณาธิการ ฝ่ายการจัดการ	นางลาลิตยา นุ่มมีศรี นางสาวอรนิชาณ์ ปารมี นายมานพ เปี้ยพรรณ	Editorial Board Lalitaya Nummisri (Management) Onnicha Paramee Manop Pearpun
สำนักงานและ การติดต่อ	กองบรรณาธิการวารสารเกษตร งานบริหารงานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200 โทร. 0 5394 4089-92 ต่อ 12 โทรสาร 0 5394 4089-92 ต่อ 12 E-mail: agjournal@cmu.ac.th	Office and Inquiries Editorial Board, Journal of Agriculture, Division of Research and International Affairs, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand Tel: 0 5394 4089-92 Fax: 0 5394 4089-92 E-mail: agjournal@cmu.ac.th

บทบรรณาธิการ

สวัสดีครับท่านผู้อ่านทุกท่าน

วารสารเกษตรของเราก้าวย่างปีที่ 31 แล้วครับ สำหรับฉบับนี้ ปีที่ 31 ฉบับที่ 1 มีบทความทั้งสิ้น 9 เรื่อง คือ กีฏวิทยา 3 เรื่อง โรคพืช 1 เรื่อง ปฐพีศาสตร์ 1 เรื่อง ส่งเสริมการเกษตร 1 เรื่อง ไบโอเทคโนโลยี 1 เรื่อง สัตวศาสตร์ 1 เรื่อง อุตสาหกรรมเกษตร 1 เรื่อง และบทความปริทัศน์ทางด้านประมง 1 เรื่อง ซึ่งบทความปริทัศน์นี้น่าสนใจมากที่สุด ผู้ทำฟาร์มกึ่งน่าจะได้อ่านเพื่อศึกษาการจัดการทางโภชนาการ สำหรับการอนุบาลและเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม จะทำให้ลดต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างดี สำหรับบทความวิจัยในฉบับนี้มีความหลากหลายมากในสาขาต่าง ๆ กัน นับว่าผู้อ่านจะได้รับข้อมูลทางวิชาการที่ดีและมีคุณภาพทุกเรื่อง

สำหรับวารสารเกษตรนี้เป็นฉบับที่ต้อนรับการเข้าสู่ประชาคมอาเซียน (AEC) ดังนั้น งานวิจัยทางด้านเกษตรที่นำเสนอมีความวิจัยที่มีการศึกษารูปแบบทางสถาปัตยกรรมปากทางเข้ารังของชันโรงที่เปรียบเทียบในประเทศไทยและมาเลเซีย คงจะได้เห็นความแตกต่างกันบ้างน่าจะเป็นดัชนีชี้วัดว่าเป็นสายพันธุ์เดียวกันหรือไม่ ดังนั้นงานวิจัยไม่ได้จำกัดในประเทศไทยเท่านั้น นักวิจัยน่าจะมีความร่วมมือในการศึกษาวิจัยเพื่อให้เกิดองค์ความรู้เพื่อมนุษยชาติมากขึ้น การสร้างเครือข่ายความร่วมมือกับนักวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ จะเป็นบ่อเกิดของการแลกเปลี่ยนเรียนรู้สร้างประสบการณ์ใหม่ ๆ ขึ้นอย่างมาก ดังนั้น AEC ไม่เพียงเฉพาะความร่วมมือเพียงแค่ทางเศรษฐกิจ และสานต่อสัมพันธ์ในเชิงวิชาการนั้น จะก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงสิ่งใหม่ ๆ กับโลกใบนี้ของเรามากขึ้น

ขอขอบคุณคณะผู้วิจัยทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้แบ่งปันงานวิจัยคุณภาพดี ๆ มาให้อ่าน เพื่อจะทำให้เกิดงานวิชาการที่สามารถต่อยอดและนำไปใช้ประโยชน์มากขึ้น และหวังว่าคงได้รับการอนุเคราะห์เป็นอย่างดีกับวารสารเกษตรต่อไป

พบกันใหม่ในฉบับหน้าครับ

ศ.ดร. สัญชัย จตุรสิทธิ์ธา
บรรณาธิการวารสารเกษตร

รูปแบบสถาปัตยกรรมปากทางเข้ารังของชันโรง
Tetragonula laeviceps (Smith) Species Complex
(Hymenoptera: Apidae: Meliponini)
ในประเทศไทยและมาเลเซียตะวันตก

Nest Entrance Architectural Types of *Tetragonula laeviceps*
(Smith) a Stingless Bee Species Complex (Hymenoptera:
Apidae: Meliponini) in Thailand and Peninsular Malaysia

กนกวรรณ คำยอดใจ^{1/} Häns Bänziger^{1/} และ จิราพร กุลสาริน^{1/}
Kanokwan Khamyotchai^{1/}, Häns Bänziger^{1/} and Jiraporn Kulsarin^{1/}

Abstract: Present study is the first step to explore the feasibility of using the nest entrance architecture found in the *Tetragonula laeviceps* species complex as one of several methods to disentangle the taxa involved. The research was carried out in synanthropic habitats of Thailand (provinces of Chiang Mai, Mae Hong Son, NakhonSawan, Trang and Songkhla), and the Malaysian Peninsular (Selangor and Malacca), March 2013 to January 2014. The surveys included trees and human's construction such as pillars and walls. Careful notes and photographs were made of each entrance and bees specimen were collected for dry mounting (euthanized in ethyl acetate vapours) and for DNA analyses in the future (in 95% ethyl alcohol). Ninety nests were found. Various shapes, colour and construction materials of the nest entrances architecture were discovered. The nest entrances architecture were deliberately grouped into five types, viz. (1) long entrance tube with distal free, (2) same but entrance tube attached to substrate throughout its length, (3) short entrance tube with slit-like entrance, (4) same but with roundish, triangular or similarly-shaped entrance, and (5) entrance tube not projecting beyond the substrate. Type (4) was the most common. The bees at type (2) were the most aggressive in defending their nests.

Keywords: Architecture, nest entrance, stingless bee

^{1/} สาขาวิชากีฏวิทยา ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

^{1/} Division of Entomology, Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

บทคัดย่อ: การศึกษานี้เป็นจุดเริ่มต้นของความเป็นไปได้ ในการใช้สถาปัตยกรรมปากทางเข้ารังของชันโรง *Tetragonula laeviceps* (Smith) species complex ซึ่งเป็นหนึ่งในหลายวิธีการ ในการศึกษาด้านอนุกรมวิธานเกี่ยวกับชันโรงที่อยู่ในแหล่งอาศัยเดียวกันกับมนุษย์ในประเทศไทย (จังหวัดเชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน นครสวรรค์ ตรัง และสงขลา) และบริเวณมาเลเซียตะวันตก (รัฐ Selangor และรัฐ Malacca) ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 บริเวณต้นไม้ที่มีโพรง และอาคารสิ่งก่อสร้างของมนุษย์ในการศึกษาได้บันทึกลักษณะปากทางเข้ารัง รูปภาพ และเก็บตัวอย่างชันโรงจากแต่ละรัง ด้วยสารเอทิลอะซีเตตและอีกส่วนหนึ่งมาแช่ในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวิเคราะห์ ดีเอ็นเอ ในการศึกษาต่อไป การศึกษานี้พบรังชันโรงทั้งหมด 90 รัง ปากทางเข้ารังมีลักษณะแตกต่างกันในด้าน รูปทรง สี และวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของรัง สามารถจำแนกได้ 5 รูปแบบ คือ 1. ปากทางเข้ารังเป็นท่อยาวปลายไม่ติดผนัง 2. ปากทางเข้ารังเป็นท่อยาวติดผนังตลอดแนว 3. ปากทางเข้ารังสั้นช่องแคบยาว 4. ปากทางเข้ารังสั้น รูปทรงกลม สามเหลี่ยม หรือลักษณะใกล้เคียงกันและ 5. ปากทางเข้ารังไม่มีส่วนยื่นออกมาซึ่งในการรวบรวมข้อมูลครั้งนี้พบรังรูปแบบที่ 4 จำนวนมากที่สุดและรังรูปแบบที่ 2 พบมีการจุใจสูงในทุกพื้นที่ที่มีการรวบรวมข้อมูล

คำสำคัญ: สถาปัตยกรรม ปากทางเข้ารัง ชันโรง

คำนำ

ชันโรงพบได้ในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนทั่วโลก (Michener, 2007) เป็นแมลงที่มีประโยชน์ต่อการเกษตร และระบบนิเวศเนื่องจากชันโรงเป็นแมลงผสมเกสรที่มีประสิทธิภาพ ลงตอมดอกไม้ได้หลายชนิดมีพฤติกรรมการเก็บเกสรอย่างเด่นชัด (สมนึก, 2541) มีการรายงาน ว่าชันโรงใน 6 สกุลทั้งชันโรงป่า และชันโรงที่มีการเพาะเลี้ยงเชิงเศรษฐกิจสามารถผสมเกสรให้กับพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในสภาพปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Slaa *et al.*, 2006) แต่ทั้งนี้ถ้าเกสรของดอกไม้เป็นหมันไม่มีชีวิต จะไม่ดึงดูดพวกแมลงผสมเกสรได้เลย (เพ็ญญา และเบญจวรรณ, 2553) สำหรับน้ำผึ้งจากชันโรงยังให้ประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์เพราะมีชั้นผึ้งที่เป็นสารสมุนไพรรักษาโรคได้ ในราคาสูงกว่าน้ำผึ้งอุตสาหกรรมและเป็นที่ต้องการของตลาดทำให้ชันโรงกลายเป็นแมลงที่สร้างคุณค่าให้กับเศรษฐกิจในปัจจุบัน (Fajardo and Cervancia, 2003; Vit *et al.*, 2013) ชันโรงเป็นแมลงที่ไม่มีเหล็กใน จึงไม่ทำอันตรายมนุษย์และสัตว์เลี้ยง (สมนึก, 2541) แต่ชันโรงหลายชนิดมีพฤติกรรมสร้างความรำคาญในการดูดกินเหงื่อและชันโรงบางชนิดชอบตอมน้ำตาจากดวงตาของมนุษย์และสัตว์ในบางครั้ง (Bänziger *et al.*, 2009; Bänziger and Bänziger, 2010) ซึ่งอาจถ่ายทอดเชื้อหรือก่อโรคให้กับสัตว์เลี้ยงและมนุษย์ได้อย่างไรก็ตามยังไม่มี

รายงานวิจัยเกี่ยวกับการเกิดโรคจากชันโรงสำหรับชันโรงที่อาศัยอยู่ใกล้ชุมชนมากที่สุดจัดเป็นชันโรงขนาดเล็ก ได้แก่ *Tetragonula laeviceps* (Smith), 1857 และ *T. pagdeni* (Schwarz), 1918 (สมนึก, 2541)

ในการศึกษาด้านอนุกรมวิธานของชันโรง ในอดีตชันโรงสกุล *Trigona* อาศัยอยู่ทั้งในแถบ Neotropics และ Australasia แต่ต่อมามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการตรวจสอบศึกษาเพิ่มเติมด้าน DNA จึงให้ชันโรงในสกุล *Trigona* ใช้กับชันโรงในแถบ Neotropics และ *Tetragonula* ในเขต Australasia (Rasmussen and Cameron, 2007) พบการกระจายตัวของชันโรงในแถบ Indo-Malay และ Australasia มี 16 สกุล มีการเสนอการจัดกลุ่มชนิด (species group) ของชันโรง 129 ชนิด แต่ที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันมี 89 ชนิด (Rasmussen, 2008) ในอดีต Sakagami (1978) ผู้ซึ่งทำการศึกษเกี่ยวกับชันโรงในทวีปเอเชีย รายงานว่าชันโรง *T. laeviceps* มีหลายขนาด ต่อมา Rasmussen and Michener (2010) รายงานว่า *T. Laeviceps* ควรแยกเป็น 2 ชนิด คือ ขนาดตัวใหญ่ (larger form) และขนาดตัวเล็ก (smaller form) ซึ่งการศึกษาของเราในครั้งนี้เกี่ยวข้องกับชันโรงตัวเล็ก คือชันโรง *T. laeviceps* มีถิ่นกำเนิดจากประเทศสิงคโปร์ และ *T. pagdeni* มีถิ่นกำเนิดจากจังหวัดสงขลาและนครศรีธรรมราช ภาคใต้ของประเทศไทย ชันโรงสองชนิดนี้มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาค่อนข้างคล้ายคลึงกัน และมีปัญหา

แยกชนิดไม่ได้เหมือนกัน นั่นอาจเป็นไปได้ว่าชันโรงเป็นชนิดเดียวกันแต่ชื่อเรียกแตกต่างกัน และเป็นไปได้ว่าชันโรง *T. laeviceps* นั้นประกอบด้วยสองชนิดหรือมากกว่า แต่ทั้งนี้ยังไม่มีการศึกษาแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์พันธุกรรม (DNA) เบื้องต้นของ *T. laeviceps* ดูเหมือนมีลักษณะความแตกต่างได้น้อย 7 ลำดับขั้นของสิ่งมีชีวิต (taxa) (Bänziger and Khamyotchai, 2014) ในอีกด้านหนึ่งในการศึกษาด้านความหลากหลายของพันธุกรรมของ *T. pagdeni* จากรายงานของ Thummaajitsakul *et al.* (2008) ความหลากหลายที่ได้จากงานวิจัยไม่เพียงพอที่จะเสนอว่ามีหลายชนิดซ่อนไว้อยู่ภายใน *T. pagdeni* เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในชันโรงชนิดที่สามารถพบได้โดยทั่วไปนี้เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

จากการสำรวจแหล่งที่อยู่ของชันโรง *T. laeviceps* ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่ของธนพร (2543) พบว่าแหล่งที่อยู่ส่วนมากเป็นต้นสัก ต้นโพธิ์ และในโพรงเทียม (artificial cavity) ซึ่งชันโรง *T. laeviceps* มีแหล่งอาศัยที่หลากหลายพบได้ทั้งในธรรมชาติ และโพรงเทียม (สมนึก, 2541) แตกต่างจากผึ้งโพรงที่นิยมเลี้ยงในขอนไม้แบบดั้งเดิม (วีรยา และคณะ, 2554) และชันโรงแต่ละชนิดมีลักษณะเด่นในด้านการสร้างปากทางเข้ารังเช่น ชันโรง *Heterotrigona apicalis* Smith (1857) ปากรังเป็นรูปลคล้ายกริช (kris scabbard like) ซึ่งมีลักษณะคล้ายผักดาบ (Bänziger *et al.*, 2011) สีดำน่าน้ำตาล *Tetragonilla collina* (Smith, 1857) ปากรังเป็นทอกลมเพราะสีน้ำตาล ยื่นขึ้นมาจากผิวดิน *Lepidotrigona terminate* (Smith, 1878) ปากทางเข้ารังมีลักษณะเป็นรูปปากแตรสีน้ำตาลเห็นยวเห็นได้ว่าชันโรงแต่ละชนิดมีลักษณะเด่นในด้านการสร้างปากทางเข้ารังที่ซับซ้อน ลักษณะการสร้างปากทางเข้ารังของแต่ละชนิดยัง

มีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละชนิด (Wille and Michener, 1973; Michener, 1974; Roubik, 2006; Pobsuk and Malaipan, 2010; Bänziger *et al.*, 2011) การศึกษาสถาปัตยกรรมการสร้างปากทางเข้ารังของชันโรงจึงมีความสำคัญเนื่องจากความรู้โดยทั่วไปที่ว่าชันโรงแต่ละชนิดสร้างปากทางเข้ารังมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวของแต่ละชนิด การศึกษารูปแบบสถาปัตยกรรมปากทางเข้ารังของชันโรงจึงมีความสำคัญ เนื่องจากสามารถนำข้อมูลและผลการวิจัยที่ได้มาใช้ในการประกอบการศึกษาเพื่อจำแนกชนิดของชันโรง *Tetragonula laeviceps* species complex ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. รวบรวมข้อมูลลักษณะปากทางเข้ารังชันโรง *T. laeviceps* species complexes

ทำการรวบรวมข้อมูลลักษณะปากทางเข้ารังชันโรง บริเวณแหล่งที่อยู่อาศัยของชันโรง เช่น ต้นโพธิ์ ต้นสัก ก้ามพวง ผงักตึก เสาไม้ โพรงขอนไม้ต่าง ๆ เป็นต้น โดยพื้นที่ที่ทำการศึกษากับเกี่ยวกับลักษณะปากทางเข้ารังของชันโรง อยู่ในเขตภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคใต้ของประเทศไทย และบางส่วนจากประเทศมาเลเซีย

2. สถาปัตยกรรมปากทางเข้ารังชันโรง

ทำการสังเกต ถ่ายรูป บันทึกลักษณะรูปร่างของปากทางเข้ารัง โดยเทียบจากรูปร่างของรูปร่างต่าง ๆ ได้แก่ รูปไข่ (oval) รูปสามเหลี่ยม (triangular) รูปวงรี (elliptic) รูปวงรีแบน (flat elliptic) ซึ่งแบ่งได้ตามแนวการสร้างรังอีก 3 รูปแบบ คือ แนวตั้ง (vertically set) แนวนอน (horizontally set) และแนวเฉียง (diagonally set) (ภาพที่ 1) เพื่อจัดหมวดหมู่ สี และวัดขนาดของปากทางเข้า

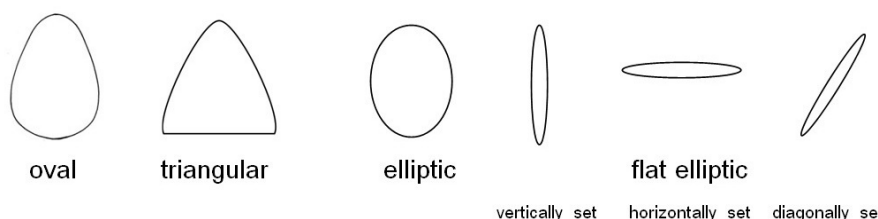


Figure 1 Geometric shapes for describing nest entrance of stingless bee *T. laeviceps* species complex

รังชันโรง ในกรณีที่มีท่อยื่นออกมาจากฐานของปากทางเข้ารัง ให้ทำการวัดความยาวของท่อด้วย พร้อมกับบันทึกองค์ประกอบที่ติดอยู่บริเวณปากทางเข้ารัง

3. พฤติกรรมการตอบสนองของชันโรง

ทำการนับจำนวนชันโรงที่อยู่บริเวณปากทางเข้ารัง และสังเกตลักษณะการจู่โจมของชันโรงบริเวณปากทางเข้ารัง โดยบันทึกลักษณะ ดังนี้

- น้อย คือ เมื่อยื่นวัตถุเข้าไปบริเวณปากทางเข้ารังแล้ว ชันโรงถอยเข้าไปในรัง มีการบินออกมาโต้ตอบน้อยหรือแทบจะไม่มีเลย
- ปานกลาง คือ เมื่อยื่นวัตถุเข้าไปบริเวณปากทางเข้ารังแล้ว ชันโรงออกมาจู่โจมแต่มีปริมาณไม่มาก
- มาก คือ เมื่อยื่นวัตถุเข้าไปบริเวณปากทางเข้ารังแล้ว ชันโรงออกมาจู่โจม ตอมคิระะ กัดผ้า จนไม่สามารถทำการวิจัยต่อไปได้

ผลการศึกษา

1. ข้อมูลลักษณะปากทางเข้ารังชันโรง *T. laeviceps* species complex

1.1 แหล่งที่อยู่ของชันโรง

จากการศึกษาชันโรง *T. laeviceps* พบรังชันโรงทั้งหมด 90 รัง จำแนกตามแหล่งที่อยู่ของชันโรง มีการสร้างรังอาศัยอยู่ในบริเวณโพรงไม้ธรรมชาติ และอาคารสิ่งก่อสร้างของมนุษย์ (ตารางที่ 1)

1.2 พื้นที่ที่ทำการศึกษเกี่ยวกับลักษณะปากทางเข้ารังของชันโรง

พบรังชันโรง *T. laeviceps* species complex ทั้งหมด 90 รัง ในพื้นที่ต่าง ๆ ดังนี้ ประเทศไทย จังหวัดเชียงใหม่ 56 รัง จังหวัดแม่ฮ่องสอน 2 รัง จังหวัดนครสวรรค์ 1 รัง จังหวัดสงขลา 23 รัง จังหวัดตรัง 3 รัง ประเทศมาเลเซีย รัฐ Selangor 3 รัง และรัฐ Malacca 2 รัง

Table 1 Number of nest entrances on tree trunk and building or human structure

Habitats	Number of nest entrance	Habitats	Number of nest entrance
Tree trunk		Building or human structure	
<i>Ficus religiosa</i>	20	Cement trunk	15
<i>Tectonagrandis</i>	6	Iron pillar	9
<i>Duabangagrandiflora</i>	2	Wood pillar	9
<i>Lagerstroemia speciosa</i>	2	Brick building	7
<i>Litsea glutinosa</i>	1	Tile trunk	3
<i>Pterocarpus indicus</i>	1	Cement surround wood pillar	2
<i>Ficus benjamina</i>	1	Brick pillar surround wood pillar	2
<i>Ficus infectoria</i>	1	Log	2
<i>Tamarindus indica</i>	1	Electricity post	2
<i>Irvingia malayana</i>	1		
Non-living tree	3		

2. สถาปัตยกรรมปากทางเข้ารังชันโรง

สถาปัตยกรรมปากทางเข้ารังของชันโรง *T. laeviceps* มีความหลากหลายและแตกต่างกันเป็นอย่างมาก ลักษณะที่ต่างกันในแต่ละรูปแบบปากทางเข้ารัง ได้แก่ ความยาวของท่อ สี ความยืดหยุ่น ความเหนียวเหนอะหนะ รูปทรงปากทางเข้ารัง และองค์ประกอบที่ติดอยู่บริเวณปากทางเข้ารัง สามารถจำแนกตามลักษณะของปากทางเข้ารังของชันโรงได้ 5 รูปแบบ ดังนี้

1) ปากทางเข้ารังเป็นท่อยาวปลายไม่ติดผนัง (long entrance tube with distal free)

พบลักษณะปากทางเข้ารังชันโรงที่มีความยาวของท่อตั้งแต่ 5-24 เซนติเมตร โดยบริเวณโคนติดกับผนังหรือต้นไม้ ส่วนปลายยื่นออกมาเป็นอิสระจำนวน 13 รัง คือรังจากจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดสงขลา ปากทางเข้ารังรูปแบบนี้มีรายละเอียดที่แตกต่างกันในแต่ละรัง แบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบย่อย ดังนี้

รูปแบบย่อยที่ 1 บริเวณโคนติดกับผนังยาว 7 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลดำ บริเวณท่อบีสีขาวครีม ยื่นออกมาไม่ติดผนังอีก 6 เซนติเมตร แฉกยาวใส ลักษณะแข็ง เปราะ แตกหักได้ง่าย แต่บริเวณปากทางเข้ารังมีความเหนียวเหนอะหนะเล็กน้อย เพื่อใช้ป้องกันศัตรูเข้ามาภายในรัง องค์ประกอบที่ติดอยู่บริเวณปากทางเข้ารังเป็นเม็ดทราย เกล็ดหินสีขาวใส รูปทรงปากทางเข้ารังเป็นรูปไข่ (oval) ขนาดกว้าง 1.8 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร ปากทางเข้ารังอยู่ในแนวตั้งลง

รูปแบบย่อยที่ 2 บริเวณโคนติดกับต้นไม้ยาว 16 เซนติเมตร และมีส่วนที่ยาวยื่นออกมาไม่ติดผนังอีก 7.6 เซนติเมตร รวมความยาวของท่อ 23.6 เซนติเมตร มีสีขาวครีม ตลอดตั้งแต่โคนถึงปลายปากทางเข้ารัง ลักษณะเหนียว มีความยืดหยุ่น ไม่แข็งเปราะ ไม่เหนอะหนะ บริเวณผิวของปากทางเข้ารังขรุขระ องค์ประกอบที่ติดอยู่เป็นเกล็ดทราย เศษหญ้า รูปทรงปากทางเข้ารังเป็นรูปไข่ (oval) ขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร สูง 3.5 เซนติเมตร ปากทางเข้ารังอยู่ในแนวตั้งลง

รูปแบบย่อยที่ 3 ลักษณะรูปแบบย่อยนี้มีหลายรัง มีส่วนโคนติดกับต้นไม้ ส่วนปลายเป็นท่อยื่นออกมามากกว่าพื้น และยาวลงมาอยู่ในแนวตั้ง ความยาว 5-20 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลอมเหลือง สีน้ำตาลอมดำ และ

สีดำเทา ส่วนโคนที่ติดกับต้นไม้มีลักษณะแข็ง บริเวณใกล้ปากทางเข้ารังเหนียวเหนอะหนะ บางรังมีลักษณะมันวาวใส องค์ประกอบที่ติดอยู่บริเวณปากทางเข้ารังเป็นเม็ดทราย ดินเศษมูลสัตว์ ใบไม้ และหญ้าแห้ง ปากทางเข้ารังเป็นรูปไข่ (oval) รูปวงรีแบนแนวตั้ง (flat elliptic diagonally set) และรูปทรงสามเหลี่ยม (triangular) ขนาดเฉลี่ยกว้าง 1.8 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร

2) ปากทางเข้ารังเป็นท่อยาวติดผนังตลอดแนว (nest entrance, long tube, attached)

พบลักษณะปากทางเข้ารังชันโรงที่มีความยาวของท่อตั้งแต่ 5-66 เซนติเมตร ยาวแนบติดกับผนังตลอดแนว จำนวน 7 รัง คือรังจากจังหวัดเชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน และสงขลา ปากทางเข้ารังรูปแบบนี้มีรายละเอียดที่แตกต่างกันในแต่ละรัง แบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบย่อย ดังนี้

รูปแบบย่อยที่ 1 ลักษณะปากทางเข้ารังเป็นท่อยาวติดผนังตลอดแนวในแนวนอน ส่วนโคนเริ่มจากด้านซ้าย มีปลายเปิดทางด้านขวา พบ 3 รัง ท่อมีความยาว 11, 35 และ 66 เซนติเมตร ขนาดของปากทางเข้ารังกว้างxสูงเท่ากับ 2x6, 0.4x4.5 และ 2.8x3 เซนติเมตร ตามลำดับ มีสีน้ำตาลดำ บริเวณที่สร้างเสร็จจนแล้วค่อนข้างแข็ง ไม่เหนียวเหนอะหนะ ส่วนบริเวณใกล้ปากทางเข้ารังซึ่งสร้างเสร็จใหม่ พบมีความยืดหยุ่น และเหนียวเหนอะหนะเพื่อป้องกันศัตรูเข้ามาบริเวณปากทางเข้ารัง รูปทรงปากทางเข้ารังเป็นรูปวงรีแบนแนวตั้ง (flat elliptic diagonally set) มีเศษดิน มูลสัตว์ หญ้าแห้ง ติดอยู่บริเวณปากทางเข้ารัง

รูปแบบย่อยที่ 2 ลักษณะปากทางเข้ารังเป็นท่อยาวติดผนังตลอดแนวในแนวตั้งซึ่งมีทั้งรูปแบบตั้งขึ้น และรูปแบบตั้งลง สำหรับรังที่มีรูปแบบปากทางเข้ารังตั้งขึ้น มีความยาวของท่อ 50 เซนติเมตรขนาดกว้างxสูง: 2x1 เซนติเมตรมีสีเทาขาวคล้ายสีของดินโพธิ์ เนื่องจากสร้างรังบนดินโพธิ์บริเวณปากทางเข้ารังเหนอะหนะเล็กน้อย ส่วนของท่อบีมีลักษณะแข็งเปราะ แตกหักง่าย รูปทรงปากทางเข้ารังเป็นรูปไข่ (oval) ไม่มีเศษดิน หรือหญ้าติด ผิวเรียบ และรังที่มีรูปแบบปากทางเข้ารังตั้งลง มีความยาวท่อ 5 เซนติเมตร ขนาดกว้างxสูงเท่ากับ 1x2 เซนติเมตร มีสีขาวครีม มันวาว ใส ไม่แข็งเปราะ มีความยืดหยุ่น ไม่

เหนอะหนะ รูปทรงปากทางเข้ารังเป็นรูปไข่ (oval) ไม่มีเศษดิน หรือหญ้าติด ผิวเรียบ

3) ปากทางเข้ารังสั้นช่องแคบยาว (nest entrance, narrow short tube)

พบลักษณะปากทางเข้ารังสั้นช่องแคบยาว แบบนี้มีความยาวของท่อ 0.5-4 เซนติเมตร ลักษณะคล้ายคลึงกันทุกพื้นที่ไม่มีรูปแบบย่อย จำนวน 10 รัง คือรังจากประเทศไทย (จังหวัดเชียงใหม่ และสงขลา) และประเทศมาเลเซีย (รัฐ Selangor) มีรูปทรงปากทางเข้ารังเป็นรูปวงรีแบนยาว (flat elliptic) วางตัว 3 รูปแบบ คือวงรีแบนแนวดิ่ง (flat elliptic vertically set) ขนาดเฉลี่ยกว้างxสูง: 1.7x4.5 เซนติเมตร วงรีแบนแนวนอน (flat elliptic horizontally set) ขนาดเฉลี่ยกว้างxสูง: 3.25x0.8 เซนติเมตร และวงรีแบนแนวเฉียง (flat elliptic diagonally set) ขนาดเฉลี่ยกว้างxสูง: 1.25x2.25 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ ซึ่งบางรังมีลักษณะแข็ง เพราะบางรังมีลักษณะเหนียว บริเวณปากทางเข้ารังมักมีผิวขรุขระมีเกล็ดทรายใสมีเศษหญ้า มูลสัตว์ ดิน ติดอยู่ ปลายปากทางเข้ารังเหนอะหนะ เพื่อใช้ป้องกันศัตรูเข้ารัง

4) ปากทางเข้ารังสั้น รูปทรงกลม สามเหลี่ยม หรือลักษณะใกล้เคียงกัน (nest entrance, short tube, circular, triangular or other similar shapes)

พบลักษณะปากทางเข้ารังสั้น รูปทรงกลม สามเหลี่ยม หรือลักษณะใกล้เคียงกันความยาวของท่อ 0.5-4 เซนติเมตร จำนวน 47 รัง คือ รังจากประเทศไทย (จังหวัดเชียงใหม่ นครสวรรค์ สงขลา และตรัง) และประเทศมาเลเซีย (รัฐ Selangor และรัฐ Malacca) สำหรับปากทางเข้ารังในกลุ่มนี้จัดเป็นกลุ่มใหญ่ที่สุดในทุกประเภทที่ถูกจำแนกไว้ เนื่องจากพบจำนวนมากที่สุด รูปทรงปากทางเข้ารัง เป็นรูปทรงกลม (roundish) รูปไข่ (oval) สามเหลี่ยม (triangle) และลักษณะเบี่ยงเล็กน้อย แต่ยังคงรูปให้เห็นว่าเป็นรูปทรงโดสีของปากทางเข้ารังมีหลายสี ได้แก่ สีครีม สีน้ำตาลสว่าง สีน้ำตาลอมดำ สีน้ำตาลอมขาว และสีเทา ซึ่งบางรังท่อกมีลักษณะแข็ง เพราะบางรังมีลักษณะเหนียว บริเวณปากทางเข้ารังมักมีผิวขรุขระมีเกล็ดทรายใสมีเศษหญ้า มูลสัตว์ ดิน ติดอยู่ ปลายปากทางเข้ารังเหนอะหนะ เพื่อใช้ป้องกันศัตรูเข้ารัง

การวางตัวของรังอยู่ในแนวดิ่ง (vertically set) แนวนอน (horizontally set) และแนวเฉียง (diagonally set) ขนาดปากทางเข้ารังเฉลี่ยกว้างxสูง: 2.25x3 บางรังมีการสร้างปากทางเข้ารังสองทาง ซึ่งในบางครั้งชั้นโรงทำปากทางเข้ารังมากกว่าสองทางเพื่อหลอกล่อศัตรู (สมนึก, 2552)

5) ปากทางเข้ารังไม่มีส่วนยื่นออกมา (nest entrance, not extended)

พบลักษณะปากทางเข้ารังที่ไม่มีสร้างส่วนยื่นออกมา มีแต่ปากทางเข้ารังพบได้ทั้งที่อาศัยอยู่ตามโพรงไม้ธรรมชาติ และในอาคารสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ จำนวน 17 รัง คือ รังจากประเทศไทย (จังหวัดเชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน และสงขลา) และประเทศมาเลเซีย (รัฐ Malacca) ปากทางเข้ารังมีเกล็ดทราย ชันเพื่อสร้างความเหนอะหนะป้องกันศัตรูเข้ามาภายในรัง บางรังไม่สร้างอะไรเลย รูปทรงปากทางเข้ารังมีหลายแบบ ได้แก่ รูปไข่ (oval) รูปสามเหลี่ยม (triangular) รูปวงรี (elliptic) การวางตัวมีแนวดิ่ง (vertically set) แนวนอน (horizontally set) และแนวเฉียง (diagonally set) ขนาดปากทางเข้ารังเฉลี่ยกว้าง 2.25 เซนติเมตร สูง 3.5 เซนติเมตร

3. พฤติกรรมการตอบสนองของชั้นโรง

จำนวนชั้นโรงที่ทำหน้าที่ป้องกันรังมีจำนวนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดของปากทางเข้ารัง และความกว้างของชั้นโรง โดยรังที่มีจำนวนชั้นโรงป้องกันรังน้อยที่สุด คือ 2 ตัว และรังที่มีจำนวนชั้นโรงป้องกันรังมากที่สุด คือ 38 ตัว ขนาดของรังเป็นปัจจัยหนึ่งในการจำกัดจำนวนของชั้นโรงป้องกันรัง ถ้าปากทางเข้ารังเล็ก จำนวนชั้นโรงจะมีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับรังที่มีปากทางเข้ารังกว้าง ความกว้างของชั้นโรงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้จำนวนของชั้นโรงที่ป้องกันรังมีการเปลี่ยนแปลง คือ ในชั้นโรงที่มีความกว้างน้อย จะมีจำนวนของชั้นโรงน้อย แม้จะมีปากทางเข้ารังขนาดใหญ่ เพราะเมื่อเจอสิ่งผิดปกติ ชั้นโรงเข้าไปหลบอยู่ภายในไม่ออกมาหรือออกมาน้อย เมื่อเทียบกับรังที่ชั้นโรงมีความกว้างมาก ถึงแม้ว่ารังมีขนาดเล็ก แต่ชั้นโรงบินรุกรานออกมาเพื่อปกป้องรัง ทั้งนี้ความกว้างในแต่ละรังของชั้นโรง อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพแวดล้อม ซึ่งส่งผลให้พฤติกรรมของชั้นโรงมีความแตกต่างกัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าสองปัจจัยนี้มี

ความสัมพันธ์ต่อจำนวนชันโรงที่อยู่บริเวณปากทางเข้ารัง สำหรับพฤติกรรมการจู่โจมของชันโรงที่สัมพันธ์กับรูปแบบของปากทางเข้ารังนั้น มีหลายระดับตั้งแต่จู่โจมน้อย ปานกลาง และมาก ซึ่งพบการจู่โจมทุกระดับของปากทางเข้ารังของชันโรงรูปแบบที่ 1, 3, 4 และ 5 ยกเว้นรูปแบบปากทางเข้ารังที่ 2 (ปากทางเข้ารังท่อยาวติดผนังตลอดแนว) พบการจู่โจมมากทุกพื้นที่ที่มีการเก็บข้อมูล

วิจารณ์

ชันโรงแต่ละชนิดมีลักษณะเด่นในด้านการสร้างปากทางเข้ารังที่ซับซ้อนเป็นเอกลักษณ์ของตนเอง (Wille and Michener, 1973; Michener, 1974; Roubik, 2006; Pobsuk and Malaipan, 2010; Bänziger *et al.*, 2011) แต่ทั้งนี้ชันโรงแต่ละชนิดก็ยังคงมีความแปรปรวนในการสร้างปากทางเข้ารังเช่น ชันโรง *Tetrigona apicalis* ปากรังมีขนาดใหญ่เป็นรูปแตรแบนสีน้ำตาล *Tetragonilla collina* ปากรังเป็นท่อยาวกลมประสีน้ำตาล ยื่นขึ้นมาจากผิวดิน *Lepidotrigona terminate* ปากทางเข้ารังมีลักษณะเป็นรูปปากแตรสีน้ำตาลเหนียวและ *T. laeviceps* ปากรังมีลักษณะเป็นก้อนยางสีน้ำตาลเหนียวเกาะอยู่ที่ปากทางเข้ารัง (ธนพร, 2543) จากการศึกษาพบว่า ลักษณะปากทางเข้ารังของชันโรง *T. laeviceps* มีความหลากหลายมากสามารถจัดจำแนกตามลักษณะของปากทางเข้ารังได้เป็น 5 รูปแบบ ได้แก่ 1. ปากทางเข้ารังท่อยาวปลายไม่ติดผนัง 2. ปากทางเข้ารังท่อยาวติดผนังตลอดแนว 3. ปากทางเข้ารังสั้นช่องแคบยาว 4. ปากทางเข้ารังสั้นรูปทรงกลมสามเหลี่ยมหรือลักษณะใกล้เคียงกันและ 5. ปากทางเข้ารังไม่มีส่วนยื่นออกมาแสดงให้เห็นว่าลักษณะปากทางเข้ารังชันโรง *T. laeviceps* มีหลายรูปแบบและจากการศึกษาติดตามตลอดระยะเวลาทั้ง 3 ฤดูกาล พบว่าลักษณะของปากทางเข้ารังมีการเปลี่ยนแปลง เช่น ความยาวของท่อสั้นลง มีเศษปากทางเข้ารังตกอยู่บริเวณนั้น อาจเป็นไปได้ว่าปากทางเข้ารังอาจได้รับผลกระทบจากธรรมชาติ เช่น ลมแรง กิ่งไม้ตกใส่ ความร้อน ทำให้ชั้นผึ้งละลายหรือน้ำหนักมากเกินไปทำให้ปากทางเข้ารังหลุดหรือหักไป และอาจเป็นไปได้เช่นเดียวกันว่าอาจมีสัตว์ หรือมนุษย์มาทำลาย

ปากทางเข้ารังทำให้ปากทางเข้ารังได้รับความเสียหาย การเปลี่ยนแปลงของลักษณะปากทางเข้ารังอีกอย่างหนึ่งคือ สีของปากทางเข้ารังเปลี่ยนจากสีครีมเป็นสีน้ำตาลดำซึ่งเกิดขึ้นเฉพาะบางรัง ในขณะที่บางรังมีลักษณะสีขาวครีมตลอดทั้งปี อาจขึ้นอยู่กับวัสดุที่อยู่ในบริเวณนั้น หรืออาจเป็นลักษณะเฉพาะ ยังต้องมีการศึกษาต่อไป สอดคล้องกับข้อมูลของชามา (2549) รายงานว่า ในชันโรงบางชนิดมีการเปลี่ยนแปลงปากทางเข้ารังในแต่ละฤดู เช่น *L. terminate* มีสีขาวหรือเหลืองช่วงฤดูฝน และมีสีส้ม น้ำตาล ชมพู ในช่วงฤดูแล้ง เป็นชนิดของปากทางเข้ารังที่มีสีหลากหลายอีกด้วย สำหรับการศึกษา ลักษณะปากทางเข้ารังของชันโรงในครั้งนี้ เป็นการเก็บข้อมูลในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งเป็นไปได้ที่ชันโรงอาจสร้างรังยังไม่เสร็จ ข้อมูลที่ผู้ศึกษานันทักไว้ อาจยังไม่ใช่ปากทางเข้ารังที่สมบูรณ์สำหรับขนาดความยาวของปากทางเข้ารังชันโรง ไม่สามารถนำมาเป็นลักษณะประจำพันธุ์ได้ เพราะอาจจะเกิดมาจากการป้องกันรัง เมื่อมีศัตรูรบกวนมาก เช่น มด ปากทางหรือท่อทางเข้ารังจะยาวพิเศษ (สมนึก, 2552) ทั้งนี้ลักษณะปากทางเข้ารังยาวอาจเป็นเพราะปากทางเข้ารังตั้งอยู่ในโพรงต้นไม้ที่มีความลึกมากเกินไป อยู่ในที่มืด เพื่อป้องกันอันตรายจากศัตรูจึงสร้างท่อยาวออกมา สำหรับลักษณะปากทางเข้ารังของชันโรง *T. laeviceps* และ *T. testaceitarsis* ในบางครั้งไม่สามารถใช้บอกชนิดได้แน่ชัด (Bänziger, personal communication) ดังนั้นเพื่อให้แน่ใจในการระบุถึงชนิดจึงต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลด้านสัณฐานวิทยา และข้อมูลด้านพันธุกรรม (DNA) ซึ่งจะมีการตีพิมพ์ในโอกาสต่อไป

สรุป

ชันโรง *T. laeviceps* species complex มีการสร้างรังทั้งในโพรงไม้ธรรมชาติและสิ่งก่อสร้างของมนุษย์ ในโพรงธรรมชาติสร้างมากที่สุด คือ ต้นโพธิ์ และในสิ่งก่อสร้างของมนุษย์สร้างมากที่สุด คือ โพรงปูนซีเมนต์ โดยมีการสร้างรูปแบบปากทางเข้ารังที่หลากหลาย ซึ่งสามารถจำแนกตามลักษณะปากทางเข้ารังได้ 5 รูปแบบ คือ 1. ปากทางเข้ารังท่อยาวปลายไม่ติดผนัง 2. ปากทางเข้ารังท่อยาวติดผนังตลอดแนว 3. ปากทางเข้ารังสั้น

ช่องแคบยาว 4. ปากทางเข้ารังสัน รูปทรงกลม สามเหลี่ยม หรือลักษณะใกล้เคียงกันและ 5. ปากทางเข้า รังไม่มีส่วนยื่นออกมาซึ่งในการศึกษาค้างนี้พบรูปแบบรังที่ 4 คือ ปากทางเข้ารังสัน รูปทรงกลม สามเหลี่ยม หรือ ลักษณะใกล้เคียงกัน มากที่สุด พบในทุกพื้นที่ที่เข้า ทำการศึกษา เป็นรูปแบบที่เจอได้ทั่วไปเป็นปกติ สำหรับ พฤติกรรมในการจู่โจมของชันโรงที่เป็นตัวป้องกันรังนั้น มี สองปัจจัยที่สัมพันธ์กับการตอบสนองของชันโรงที่ทำ หน้าที่ในการป้องกันรัง คือ ขนาดของปากทางเข้ารัง และ ความก้าวร้าวของชันโรง ลักษณะการจู่โจมของชันโรง พบ ได้ทุกระดับในรูปแบบปากทางเข้ารังที่ 1, 3, 4, และ 5 ยกเว้นปากทางเข้ารังรูปแบบที่ 2 คือ ปากทางเข้ารังทอ ยาวติดผนังตลอดแนว มีการจู่โจมของชันโรงสูงในทุกครั้ง ทุกพื้นที่ที่มีการเก็บข้อมูล

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคุณกฤตยา ชันชื้อ และบัณฑิต วิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยใน ครั้งนี้ รวมถึงคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชากีฏวิทยา และโรคพืชคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เกี่ยวข้องทุกคน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ และอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์วิจัย ห้องปฏิบัติการ ที่จำเป็นในการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

ชามา อินซอน. 2549. ความหลากหลายของชนิดชันโรง (Apidae: *Trigona* spp. และ *Hypotrigona* spp.) และพฤติกรรมการเก็บยางไม้จาก ธรรมชาติในโครงการทองผาภูมิ 72 พรรษา มหาราช อำเภทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม. 128 หน้า.

ธนพร รจิตปริญญา. 2543. นิเวศวิทยาและความหลากหลาย ชนิดของชันโรงในเขตจังหวัดเชียงใหม่.

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 118 หน้า.

เพ็ญภา จักรสมศักดิ์ และ เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม. 2553. ปัจจัยที่มีผลต่อการติดเมลิตของชาวเกษตร เพศผู้เป็นหมันในแปลงข้าวของเกษตรกร. วารสารเกษตร 26(4): 37-42.

วีรยา สมณะ เขียวลักษณ์ จันทรียง จิราพร กุลสาริน และ Michael Burgett. 2554. ชีวมิตของรังผึ้งโพรง ธรรมชาติจากการสังเกตในภาคเหนือของ ประเทศไทย. วารสารเกษตร 27(3): 219-228.

สมนึก บุญเกิด. 2541. ผึ้งและชันโรง. เทคโนโลยีชาวบ้าน 10(188): 46-49.

สมนึก บุญเกิด. 2552. พฤติกรรมการสร้างรัง. หน้า 88. ใน: การอบรมโครงการต้นกล้าอาชีพ เรื่องการ เลี้ยงผึ้งจิ๋วผลิตน้ำผึ้งอินทรีย์. 2 กันยายน 2552. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

Bänziger, H., S. Boongird, P. Sukumalanand and S. Bänziger. 2009. Bee that drink human tears (Hymenoptera: Apidae). Journal of the Kansas Entomological Society 82: 135-150.

Bänziger, H. and S. Bänziger. 2010. Mammals, birds and reptiles as hosts of *Lisotrigona* bees, the tear drinkers with the broadest host range (Hymenoptera, Apidae). Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft 83: 271-282.

Bänziger, H., S. Pumikong and K. Srimuang. 2011. The remarkable nest entrance of tear drinking *Pariotrigona klossi* and other stingless bees nesting in limestone cavities (Hymenoptera: Apidae). Journal of the Kansas Entomological Society 84: 22-35.

Bänziger, H. and K. Khamyotchai. 2014. An unusually large and persistent male swarm of the stingless bee *Tetragonulaeviceps* in Thailand (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). Journal of Melittology 32: 1-5.

- Fajardo, A. C., and C. R. Cervancia. 2003. Simple ways to manage stingless bees. Bee for Development Journal 67: 3-5.
- Michener, C. D. 1974. The social behavior of the bees: a comparative study, Belknap, Harvard University Press, Cambridge. 404 p.
- Michener, C. D. 2007. The Bee of the World 2nd ed. The Johns Hopkins University Press, Baltimore. 972 p.
- Pobsuk, P. and S. Malaipan. 2010. Nest architecture of stingless bees (Apidae: *Trigona* spp. and *Lisotrigona caccaie* Nurse) in Golden Jubilee Thong PhaPhum Project, Thong PhaPhum district, Kanchanaburi province. Agricultural Science Journal 41: 129-141.
- Rasmussen, C. and S. A. Cameron. 2007. A molecular phylogeny of the old world stingless bees (Hymenoptera: Apidae) and the non-monophyly of the large genus *Trigona*. Systematic Entomology 32: 26-39.
- Rasmussen, C. 2008. Catalog of the Indo-Malayan/Australasian stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). Magnolia Press, Auckland. 80 p.
- Rasmussen, C. and C. D. Michener. 2010. The identity and neotype of *Trigonalaeviceps* Smith (Hymenoptera: Apidae). Journal of the Kansas Entomological Society 83: 129-133.
- Roubik, D. W. 2006. Stingless bee nesting biology. Apidologie 37: 124-143.
- Sakagami, S. F. 1978. *Tetragonula* stingless bees of the continental Asia and Sri Lanka. Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University, Series VI, Zoology 21: 165-247.
- Slaa, E. J., L. A. S. Chaves, K. S. M. Braga and F. E. Hofstede. 2006. Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. Apidologie 37: 293-315.
- Thummajitsakul, S., S. Klinbunga, D. Smith and S. Sittipraneed. 2008. Genetic diversity and population structure of *Trigonapagdeni* Schwarz in Thailand. Apidologie 39:446-455.
- Wille, A. and C. D. Michener. 1973. The nest architecture of stingless bee with special reference to those of Costa Rica. Revista de Biologia Tropical 21: 1-278.
-

ชีววิทยาของด้วงเมล็ดกาแฟ *Araecerus fasciculatus* (De Geer)
(Coleoptera: Anthribidae) ในกระเทียมและการควบคุมโดยใช้
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Biology of Coffee Bean Weevil *Araecerus fasciculatus*
(De Geer) (Coleoptera: Anthribidae) in Garlic and Its Control
Using Carbon Dioxide

รัตนาพร ไชยศรี^{1/} และ ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์^{1/*}
Rattanaorn Chaisri^{1/} and Piyawan Suttiapran^{1/}*

Abstract: The research consisted of biology study of coffee bean weevil, *Araecerus fasciculatus* (De Geer) (Coleoptera: Anthribidae) in postharvest garlic cloves, *Allium sativum* L. and its control using carbon dioxide (CO₂). The use of CO₂ for controlling coffee bean weevil in garlic was conducted in laboratory at about 27 °C and 68% RH. The result revealed that the eggs were able to hatch within 6.60 ±1.51 days. There were 4-instars of larvae which took 46.40 ±3.66 days, pupal stage was 5.20 ±0.83 days and adult longevity was 29.75 ±5.68 days. Total life cycle was 87.95 ±37.83 days. And effect of CO₂ against coffee bean weevil was conducted in garlic cloves. Egg, larval, pupal stages and adult on garlic cloves of coffee bean weevil were treated with CO₂ at 35% concentration for 72 hours. The highest mortality (100%) was found in adult stage, while the mortalities of pupae and larvae were 32.50 and 27.93% and egg was significant lower ($P \leq 0.05$) in mortality (0.50%) than others. The result showed that egg stage was the most tolerant stage to CO₂ treatment.

Keywords: Coffee bean weevil, *Araecerus fasciculatus*, carbon dioxide, garlic

^{1/} ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

^{1/} Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

* Corresponding author: E-mail address: piyawanss43@gmail.com

บทคัดย่อ: การศึกษาชีววิทยาของด้วงเมธิดกาแฟ *Araecerus fasciculatus* (De Geer) และการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในการควบคุม ผลการทดลองพบว่าด้วงเมธิดกาแฟเมื่อเลี้ยงในกลีบกระเทียม *Allium sativum* L. หลังการเก็บเกี่ยวในสภาพห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิประมาณ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ประมาณ 68 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ด้วงเมธิดกาแฟมีระยะไข่ 6.60 ± 1.51 วัน ระยะหนอนมีทั้งหมด 4 วัย ใช้เวลารวม 46.40 ± 3.66 วัน ระยะดักแด้ 5.20 ± 0.83 วัน และระยะตัวเต็มวัย 29.75 ± 5.68 วัน ตั้งแต่ระยะไข่ถึงตัวเต็มวัยใช้เวลาประมาณ 87.95 ± 37.83 วัน การใช้ก๊าซ CO₂ ที่ความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์ รมด้วงเมธิดกาแฟในทุกระยะการเจริญเติบโตที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าระยะตัวเต็มวัยมีการตายมากที่สุดคือ 100.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระยะดักแด้และระยะหนอนมีเปอร์เซ็นต์การตายเท่ากับ 32.50 และ 27.93 ตามลำดับ ในระยะไข่มีความทนทานต่อก๊าซ CO₂ มากที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) พบการตายน้อยที่สุดคือ 0.50 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ด้วงเมธิดกาแฟ *Araecerus fasciculatus* ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กระเทียม

คำนำ

ด้วงเมธิดกาแฟ *Araecerus fasciculatus* (De Geer) (Coleoptera: Anthribidae) เป็นแมลงที่เข้าทำลายเมธิดกาแฟและผลิตผลอื่นในโรงเก็บทำให้เกิดความเสียหายรวมทั้งกระเทียมหลังการเก็บเกี่ยว (พรทิพย์ และคณะ, 2548) เป็นหนึ่งในศัตรูพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจ (Back and Cotton, 1922; Wintgens, 2004; Barrera, 2008) จากการสังเกตกระเทียมที่ซื้อจากท้องตลาดพบว่าหากนำมาเก็บรักษาไว้จะมีด้วงเมธิดกาแฟเข้าทำลายกัดกินหัวกระเทียมอยู่ภายในทำให้หัวฝ่อเสียหายรับประทานไม่ได้ กระเทียมเป็นพืชที่มีความสำคัญ คนไทยใช้กระเทียมเป็นส่วนประกอบของอาหารเกือบทุกชนิดแทบทุกครัวเรือน ผลผลิตส่วนใหญ่ใช้ในประเทศ นับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญมีผลผลิตประมาณ 9,000 ตันต่อปี ผลผลิตเฉลี่ย 2,051 กิโลกรัมต่อไร่ (กลุ่มยุทธศาสตร์และสารสนเทศ, 2553) และมีมูลค่าการส่งออก 8 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2553 และเพิ่มขึ้นเป็นกว่า 16 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2554 (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2555) ราคาส่งออก Free on Board (FOB) ราคาสินค้าที่ส่งมอบ ณ ท่าเรือเป็นราคาซื้อขายระหว่างประเทศ ซึ่งเป็นข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย ที่ตกลงกันจะส่งมอบสินค้า ณ ท่าเรือที่กำหนดไว้ของกระเทียมสด หรือแช่เย็น ในช่วงปีพ.ศ. 2550-2552 ที่ผ่านมาราคาในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ราคานำเข้ากระเทียมในช่วง 3 ปีที่ผ่านมา มีแนวโน้มราคาถูกลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการนำเข้า

กระเทียมจากประเทศเพื่อนบ้านภายใต้ข้อตกลงสัญญาเขตการค้าเสรีอาเซียน (ASEAN Free Trade Area, AFTA) โดยเฉพาะนำเข้าจากประเทศจีนซึ่งมีราคาถูกกว่ากระเทียมในประเทศ (สำนักงานพาณิชย์จังหวัดเชียงใหม่, 2554) โดยต้นทุนการผลิตกระเทียมจีนอยู่ที่ประมาณ 5.8 บาท ต่อ กิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าการผลิตกระเทียมของไทยมากกว่าเท่าตัว กระเทียมไทยมีราคาสูงกว่าเนื่องจากผลผลิตกระเทียมที่ลดลงจากการลดปริมาณพื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกร และมีการใช้ปุ๋ยและสารเคมีป้องกันกำจัดโรคและแมลงมากขึ้น (ธนสิน และรุจ, 2557)

กระเทียมแห้งเมื่อนำมาเก็บรักษาไว้มักพบแมลงศัตรูเข้าทำลาย เช่น มอดยาสูบ (cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Fabricius)) (สุทธิสันต์ และวิโรจน์, 2551) ด้วงปีกตัด (pineapple beetle; *Urophorus* (*Carpophilus*) *humeralis* (Fabricius)) ผีเสื้อข้าวโพด (tropical warehouse moth, *Ephestia cautella* (Walker)) มอดหนวดยาว (flat grain beetle, *Cryptolestes pusillus* (Schönherr)) และด้วงเมธิดกาแฟ (coffee bean weevil, *Araecerus fasciculatus* (De Geer)) (พรรณเพ็ญ และคณะ, 2554)

การป้องกันกำจัดแมลงหลังการเก็บเกี่ยวมีได้หลากหลายวิธี การรมผลิตผลด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บ ก๊าซ CO₂ เป็นสารรมชนิดหนึ่งไม่ติดไฟ มีผลต่อแมลงโดยกระตุ้นทำให้หายใจ (spiracle) ของแมลงเปิดกว้างและเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซมากขึ้น

แล้วก๊าซจะเข้าไปแทนที่ออกซิเจนทำให้ในร่างกายนแมลงมี CO₂ สูงส่งผลให้แมลงขาดออกซิเจน (Davidson and Pearis, 1966) มีรายงานการใช้ก๊าซ CO₂ กับแมลงศัตรูโรงเก็บหลายชนิด เช่น รายงานการศึกษาผลกระทบของก๊าซ CO₂ ต่อด้วงวงข้าวพบว่าก๊าซ CO₂ ที่ระดับความเข้มข้น 10-40 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ด้วงวงข้าวตายได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 10 วัน (กุลวิฑูญ และคณะ, 2552) การทดสอบกับมอดแป้งและหนอนผีเสื้อ Indian meal moth พบว่า ก๊าซ CO₂ ที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ทำให้แมลงทั้งสองชนิดตาย 95 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีพิษตกค้างในเมล็ดพืช (Monro, 1975) ประสิทธิภาพของก๊าซ CO₂ ในการซึมผ่านของเมล็ดพืชเข้าไปทำลายแมลงนั้น จะมีประสิทธิภาพแตกต่างกันไปแล้วแต่นชนิดของเมล็ดพืชชนิดนั้น ๆ นอกจากนี้การใช้ CO₂ ร่วมกับเมทิลโบรไมด์ ในอัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก จะทำให้ก๊าซ CO₂ เป็นตัวช่วยพาให้เมทิลโบรไมด์กระจายได้ทั่วถึงทุกส่วนที่ใช้ในการรมโดยเฉพาะส่วนบริเวณที่ติดพื้น (Wainman et al., 1983) จากการทดลองของ Riudavets et al. (2010) โดยใช้ก๊าซ CO₂ ที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ความดัน 15 และ 20 บาร์ ระยะเวลา 15, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ ทำการรมมอดพื้นเลื้อย (*Oryzaephilus surinamensis*) ด้วงวงข้าว (*Sitophilus oryzae*) มอดหัวป้อม (*Rhyzopertha dominica*) ด้วงถั่วแดง (*Acanthoscelides obtectus*) เหาหนังสือ (*Liposcelis bostrychophila*) และไรศัตรูโรงเก็บ (*Tyrophagus putrescentiae*) ผีเสื้อข้าวโพด (*E. kuehniella*) มอดตัวแบน (*C. ferrugineus*) มอดยาสูบ (*L. serricorne*) ในระยะไข่ ตัวอ่อน ดักแด้ และตัวเต็มวัย พบว่าระยะไข่ของเหาหนังสือและมอดยาสูบทนทานต่อก๊าซ CO₂ ที่ความดัน 15 บาร์ แต่ CO₂ ที่ความดัน 20 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที สามารถกำจัดแมลงได้ทุกชนิด อย่างไรก็ตามอาจมีปัจจัยอื่น ๆ มาเกี่ยวข้องด้วย เช่น ความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ชนิดและวัยของแมลง ประชากรของแมลง ความชื้นภายในเมล็ด และอุณหภูมิ เป็นต้น (ชุมพล, 2533) ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชีววิทยาของด้วงเมล็ดกาแฟในกลีบกระเทียม และศึกษาความทนทานต่อก๊าซ CO₂ ของด้วงเมล็ดกาแฟในระยะต่าง ๆ

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาชีววิทยาของด้วงเมล็ดกาแฟในกระเทียม

โดยนำกระเทียมมาแช่แข็งที่อุณหภูมิระหว่าง -10 ถึง -25 องศาเซลเซียส นาน 2-3 วัน เพื่อกำจัดแมลงที่อาจติดมาด้วย จากนั้นทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำกลีบกระเทียมที่เตรียมไว้ประมาณ 300 กรัม ใส่ในกล่องเลี้ยงแมลงขนาด 11x11x6 เซนติเมตรที่ฝากล่องเจาะรูปิดด้วยผ้าตาข่าย เพื่อระบายอากาศและป้องกันแมลงหลบหนี นำตัวเต็มวัยของด้วงเมล็ดกาแฟ มาใส่ในกล่องเลี้ยงแมลงจำนวน 100 ตัว ปล่อยไว้ประมาณ 72-120 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวเมียวางไข่ จากนั้นนำกลีบกระเทียมที่มีไข่ของด้วงเมล็ดกาแฟที่แยกตัวเต็มวัยออกแล้ว มาเก็บที่อุณหภูมิห้อง (28-32 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 68 เปอร์เซ็นต์ นำกลีบกระเทียมที่มีไข่ของด้วงเมล็ดกาแฟในช่วงเดียวกัน (มีการเตรียมตัวอย่างที่นำมาตรวจดูระยะการเจริญเติบโตของแมลงอย่างเพียงพอ ตัวอย่างที่นำมาตรวจดูไม่นำกลับมาใช้อีก) มาตรวจสอบทุกวันภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จนกระทั่งไข่ฟักออกมาเป็นตัวหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย บันทึกอายุและวัดขนาดของทุกระยะการเจริญเติบโต

การประเมินความทนทานของด้วงเมล็ดกาแฟเมื่อได้รับก๊าซ CO₂

นำด้วงเมล็ดกาแฟ ระยะไข่ ระยะหนอนวัย 3 (ระยะไข่-หนอนวัย 3 ใช้เวลา 23-26 วัน) ระยะดักแด้ (ระยะไข่-ดักแด้ใช้เวลา 43-45 วัน) ที่อยู่ในกลีบกระเทียม และระยะตัวเต็มวัย อายุ 3 วันหลังจากออกจากดักแด้ แต่ละระยะจำนวน 10 ตัว พร้อมกลีบกระเทียมที่ใช้เป็นอาหารประมาณ 50 กรัม ใส่ในขวดแก้วรูปทรงชมพู (ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร) แยกทำการทดลองแต่ละระยะการเจริญเติบโตโดยนำด้วงเมล็ดกาแฟมาผ่านก๊าซ CO₂ จากถังบรรจุก๊าซ CO₂ บริสุทธิ์ ที่ความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์ วัดความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ด้วยเครื่องวัดก๊าซ headspace gas (BRIDGE analyzers Inc.) หลังจากรมก๊าซ CO₂ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นเปิดขวดแล้วปิดด้วยผ้าขาวบาง ตรวจนับการตายหลังจากแมลงในระยะไข่ ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย ได้รับ

CO₂ เป็นเวลา 2-3 วัน ส่วนระยะหนอนนั้นนำด้วงกาแฟระยะหนอน (23-28 วัน หลังจากวางไข่) ที่อยู่ในกลีบกระเทียม 10 ตัว ในกระเทียม 10 กลีบมาทดสอบรมก๊าซ CO₂ เป็นเวลา 72 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน หลังจากนั้น 7 วัน นำกลีบกระเทียมในแต่ละกรรมวิธีมาผ่าดูหนอน หนอนที่มีการเคลื่อนไหว นับว่าเป็นหนอนที่ยังไม่ตาย ส่วนที่แห้งไม่เคลื่อนไหว และเน่าละ นับว่าเป็นหนอนที่ตาย ตรวจนับจำนวนแมลงที่รอดเปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งบรรจุอากาศธรรมดา (มีปริมาณ CO₂ ความเข้มข้น 0.03 เปอร์เซ็นต์) แต่ละระยะทำการทดลอง 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ตัว จากนั้นทำคำนวณจำนวนแมลงที่ตาย และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การตายในชุดที่ผ่านการรมก๊าซ โดยนำมาคำนวณปรับค่าเปอร์เซ็นต์การตายที่แท้จริง (corrected mortality) ด้วย Abbott's formula (Abbott, 1925) ในกรณีที่พบจำนวนแมลงตายในชุดควบคุม (ไม่ผ่านการรมก๊าซ) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้วเปรียบเทียบความแตกต่างเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การตายของแมลงโดยวิธี Least Significant Difference (LSD)

ผลและวิจารณ์

ด้วงเมล็ดกาแฟที่เจริญในกลีบกระเทียม มีการเจริญเติบโตในสภาพอุณหภูมิห้องปฏิบัติการ (28-32 องศาเซลเซียส) ในกระเทียมมีความชื้น 59.9-61.64 เปอร์เซ็นต์ พบว่าด้วงเมล็ดกาแฟเพศเมียจะวางไข่เป็นฟองเดี่ยวในกลีบกระเทียมโดยด้วงเพศเมียจะกัดกินกระเทียมให้เป็นรูแล้ววางไข่และจะปิดรูที่มีไข่ด้วยสารเหนียว ไข่จะมีลักษณะกลมรี ส่วนหัวและท้ายมน (ภาพที่ 1) ระยะไข่ใช้เวลาเฉลี่ย 6.60 ± 1.51 วัน (ตารางที่ 1)

มีความกว้างเฉลี่ย 0.31 ± 0.03 มิลลิเมตร และความยาว 0.57 ± 0.03 มิลลิเมตร เมื่อหนอนพักออกจากไข่จะอาศัยอยู่ในกลีบกระเทียม ระยะหนอนมีทั้งหมด 4 วัย รวมใช้เวลาเฉลี่ย 46.40 ± 3.66 วัน ระยะหนอนจะมีความกว้างของหัวกะโหลกอยู่ในช่วง 0.20-0.82 มิลลิเมตร และความกว้างของลำตัวเพิ่มขึ้น ตัวหนอนวัยสุดท้ายจะลอกคราบและเข้าดักแด้อยู่ในกลีบกระเทียมระยะเวลาเฉลี่ยของระยะดักแด้คือ 5.20 ± 0.83 วัน

ตัวเต็มวัยเมื่อออกจากดักแด้ในระยะแรกยังอาศัยอยู่ในกลีบกระเทียม ไม่มีการเจาะเปลือกหุ้มกลีบกระเทียมแต่จะตัวเต็มวัยระยะนี้จะมีลำตัวสีน้ำตาลอ่อนต่อมาจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและมีจุดสีน้ำตาลเข้มขึ้นประปรายที่ปีกคู่แรก หลังจากนั้นด้วงเมล็ดกาแฟจะกัดเปลือกกระเทียมเพื่อออกมาภายนอก ทำให้กระเทียมเกิดรูจากการเจาะที่มีความกว้างขนาดพอที่ตัวเต็มวัยจะออกมาได้ (ภาพที่ 2) ตัวเต็มวัยมีส่วนหัวกว้างและยื่นออกไปด้านหน้าคล้ายงวง หนวด 3 ปล้องสุดท้ายมีขนาดใหญ่กว่าปล้องอื่น ๆ มีช่วงอายุเฉลี่ย 29.75 ± 5.68 วัน วงจรชีวิตของด้วงเมล็ดกาแฟตั้งแต่ระยะไข่จนถึงตัวเต็มวัยใช้เวลาเฉลี่ย 87.95 ± 37.83 วัน (ตารางที่ 1) ซึ่งมีระยะการเจริญเติบโตเฉลี่ยใกล้เคียงกับรายงานของ รัตนภาพร (2555) ที่เลี้ยงในข้าวโพดและมีระยะการเจริญเติบโตเฉลี่ย 89.33 วัน ที่อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-75 เปอร์เซ็นต์ แต่รายงานของ Npumechi (1993) ที่เลี้ยงด้วงเมล็ดกาแฟด้วยแผ่นมันสำปะหลังดิบในประเทศไนจีเรีย มีระยะการเจริญเติบโตเฉลี่ย 46 วัน อุณหภูมิที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีคือ 20-33 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 11-12 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ด้วงเมล็ดกาแฟในระยะไข่ ระยะหนอน และระยะดักแด้

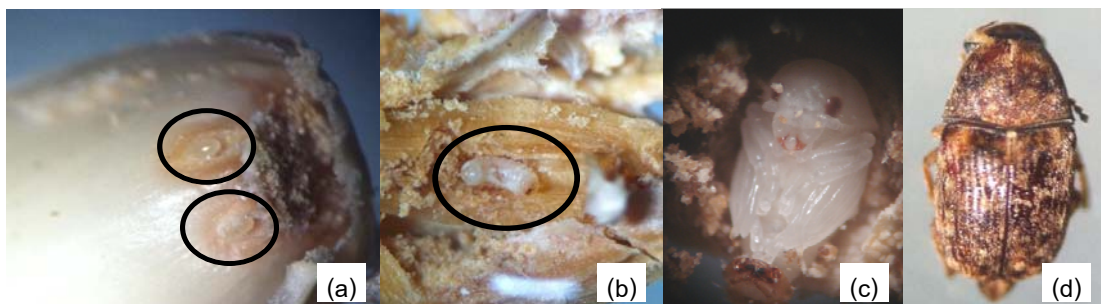


Figure 1 Coffee bean weevil, *Araecerus fasciculatus*; eggs (a) (circles), larva (b) (circle), pupa (c) and adult on garlic clove (d)

Table 1 Duration and size of various developmental stages of coffee bean weevil, *A. fasciculatus* reared on garlic cloves in laboratory condition at 27°C and 68% RH

Developmental stage	Age Mean $\pm$ SD (Days)	Range (Days)	Head capsule Width (mm) mean $\pm$ SD	Body	
				Width (mm) Mean $\pm$ SD	Length (mm) Mean $\pm$ SD
Egg	6.60 $\pm$ 1.51	(5-8)	-	0.31 $\pm$ 0.03	0.57 $\pm$ 0.03
Larva	46.40 $\pm$ 3.66	(34-56)	-	-	-
Instar 1	10.00 $\pm$ 2.34	(7-12)	0.20 $\pm$ 0.00	0.27 $\pm$ 0.02	0.45 $\pm$ 0.09
Instar 2	9.60 $\pm$ 1.14	(8-11)	0.44 $\pm$ 0.07	0.77 $\pm$ 0.12	0.99 $\pm$ 0.18
Instar 3	10.20 $\pm$ 2.17	(7-13)	0.76 $\pm$ 0.04	1.67 $\pm$ 0.16	5.40 $\pm$ 1.39
Instar 4	16.60 $\pm$ 3.20	(12-20)	0.82 $\pm$ 0.14	2.19 $\pm$ 0.07	4.19 $\pm$ 0.48
Pupa	5.20 $\pm$ 0.83	(4-6)	-	1.95 $\pm$ 0.12	4.42 $\pm$ 0.19
Adult	29.75 $\pm$ 5.68	(24-36)	-	1.80 $\pm$ 0.18	3.29 $\pm$ 0.31
Total life cycle	87.95 $\pm$ 37.83	(67-106)	-	-	-

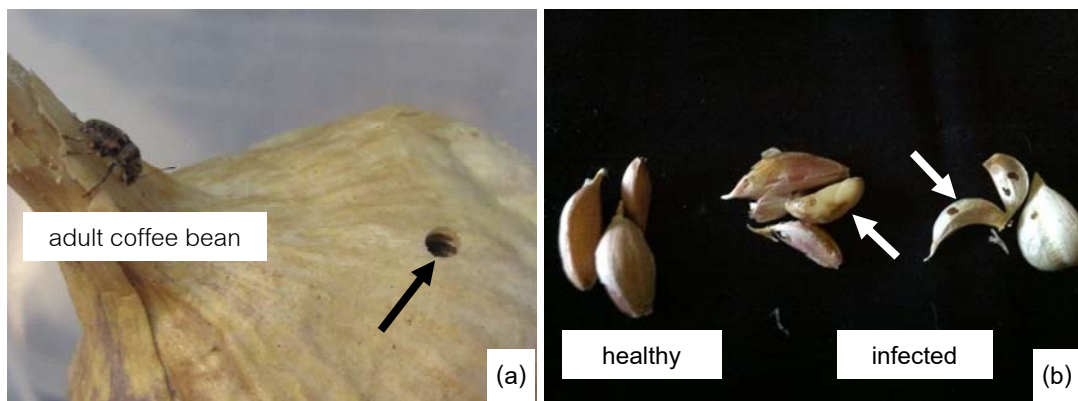


Figure 2 Damage of coffee bean weevil in garlic bulb (a) and in garlic cloves (b) (arrow)

ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และ Jean (2004) รายงานว่า ด้วงเมล็ดกาแฟที่เลี้ยงในเมล็ดกาแฟมีระยะการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะไข่จนถึงตัวเต็มวัยคือ 61-87 วัน นอกจากนี้ยังรายงานอยู่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 37 องศาเซลเซียส ทำให้ด้วงเมล็ดกาแฟไม่สามารถดำรงชีวิตได้ ซึ่งพืชอาหาร และอุณหภูมิ อาจเป็นสาเหตุทำให้ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกันโดยอุณหภูมิต้องเหมาะสมไม่สูงหรือต่ำเกินไป ปัจจัยของความชื้นสัมพัทธ์และพืชอาหารมีผลต่อความอยู่รอดของด้วงเมล็ดกาแฟ Sayed (1935) รายงานว่าด้วงเมล็ดกาแฟมีข้อจำกัดในการเจริญและพัฒนาในเมล็ดข้าวโพดและจันทน์เทศ (nutmeg) หากสภาพในสภาพความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์

มีผลต่อการพัฒนาการเจริญเติบโตของด้วงเมล็ดกาแฟ ซึ่งในสภาพความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 27-28 องศาเซลเซียส ดังกล่าวนี้อาจทำให้แมลงมีอายุยาวนานขึ้น (86-134 วัน) ถ้าอยู่ในสภาพความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ความอยู่รอดของด้วงเมล็ดกาแฟอาจขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการวางไข่ หากแมลงวางไข่บนพืชอาหารพบว่าไข่นั้นไม่สามารถฟักเป็นตัวหนอนได้

จากการทดสอบปรดด้วงเมล็ดกาแฟด้วยก๊าซ CO₂ ความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์ ที่ 72 ชั่วโมง พบว่า ด้วงเมล็ดกาแฟในระยะไข่มีความทนทานต่อก๊าซ CO₂ มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การตายเท่ากับ 0.50 $\pm$ 0.58 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($P \leq 0.05$) รองลงมาระยะหนอน และระยะดักแด้ มีเปอร์เซ็นต์การตายเท่ากับ 27.93 ± 10.05 และ 32.50 ± 0.95 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนระยะตัวเต็มวัยมีเปอร์เซ็นต์การตายเท่ากับ 100 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์คือมีความทนทานต่อก๊าซ CO_2 น้อยที่สุด (ตารางที่ 2) โดยเปอร์เซ็นต์การตายของระยะหนอน ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัยมากกว่าระยะไข่อาจเนื่องจากระยะไข่มีการหายใจน้อยกว่าระยะอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Davidson and Pearis (1966) ที่พบว่าก๊าซ CO_2 มีผลต่อแมลง โดยกระตุ้นทำให้รูหายใจ (spiracle) ของแมลงซึ่งเป็นอวัยวะสำคัญในแมลงระยะหนอนและระยะตัวเต็มวัยโดยรูหายใจเปิดกว้างและเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ก๊าซ CO_2 ที่ใช้ในการรวมเข้าไปแทนที่ออกซิเจนทำให้ในร่างกายนแมลงมี CO_2 สูง ส่งผลให้มีปริมาณออกซิเจนในการเจริญเติบโตลดลงและทำให้แมลงตายในที่สุด ในขณะที่ระยะไข่ของแมลงมีรูหายใจ (aeropyle) ขนาดเล็กมาก อาจเป็นสาเหตุให้ระยะไข่ไม่มีการรับก๊าซ CO_2 ได้น้อยกว่า จึงส่งผลกระทบต่อระยะไข่ให้น้อยกว่า (Chapman, 1998) นอกจากนี้ Gautam *et al.* (2014) รายงานว่า โครงสร้างที่แมลงใช้แลกเปลี่ยนอากาศผ่านผนังเซลล์ของไข่แมลง ได้แก่ aeropyle ซึ่งเป็นช่องเปิดขนาดเล็กสามารถแลกเปลี่ยนก๊าซกับบรรยากาศได้ และ micropyle ซึ่งเป็นช่องเปิดที่ไข่ใช้ในการรับสเปิร์ม พบว่า ผีเสื้อยาสูบ *Ephestia elutella* (Hübner) และ มอดยาสูบ *Lasioderma serricorne* (F.) เป็นแมลงที่มี aeropyle จำนวนมาก (17.4 ± 0.79 และ $291,200 \pm 13,145$ รู ตามลำดับ) พื้นที่แลกเปลี่ยนอากาศมาก (20.71 ± 1.39 และ 990.1 ± 180.4 ตารางไมครอน (μm^2)

ตามลำดับ) แสดงความอ่อนแอต่อการรวมด้วยก๊าซ sulfuryl fluoride ในขณะที่ ตัวงักกัด *Carpophilus hemipterus* (L.) เป็นแมลงที่มีจำนวน aeropyle เท่ากับ 2 ± 0.0 รู และพื้นที่เท่ากับ 2.16 ± 0.19 ตารางไมครอน ซึ่งมีจำนวน aeropyle น้อยกว่าผีเสื้อยาสูบและมอดยาสูบ พบว่าต้องใช้ก๊าซ sulfuryl fluoride มากกว่าในการกำจัดอย่างสมบูรณ์

สอดคล้องกับการศึกษาของ Davidson and Peairs (1966) ที่พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อแมลง โดยกระตุ้นทำให้รูหายใจ (spiracle) เปิดกว้างและเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปแทนที่ออกซิเจนทำให้ในร่างกายนแมลงมีคาร์บอนไดออกไซด์สูง ส่งผลให้มีปริมาณออกซิเจนในการเจริญเติบโตลดลงและทำให้แมลงตายในที่สุด นอกจากนี้การศึกษาประสิทธิภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อแมลงและไรศัตรูในโรงเก็บ 9 ชนิด ได้แก่ มอดพื้นเลื้อย (*O. surinamensis*) มอดตัวแบน (*C. ferrugineus*) มอดยาสูบ (*L. serricorne*) ตัวงักงั่วขาว (*S. oryzae*) มอดหัวป้อม (*R. dominica*) ตัวงักงั่วแดง (*A. obtectus*) ผีเสื้อข้าวโพด (*E. kuehniella*) เหาหนังสือ (*Li. bostrychophila*) และไรศัตรูโรงเก็บ (*T. putrescentiae*) ในทุกระยะการเจริญเติบโต ที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ความดัน 15 และ 20 บาร์ ระยะเวลา 15, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่าระยะไข่ของเหาหนังสือและมอดยาสูบทนทานต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 15 บาร์ (Riudavets *et al.*, 2010) อีกทั้งจากการรายงานของ Annis and Morton (1997) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของก๊าซ

Table 2 Mortality percentage of coffee bean weevil, *A. fasciculatus* in garlic cloves exposed to 35% CO_2 for 72 hrs.

Developmental stage	Mortality $\pm$ S.D. ^{1/}
Adult	100 ± 0.00 a ¹
Pupa	32.50 ± 0.95 b
Larva	27.93 ± 10.05 b
Egg	0.50 ± 0.58 c

^{1/} Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 95 % by LSD.

คาร์บอนไดออกไซด์ในการควบคุมด้วงงวงข้าว *S. oryzae* ทุกระยะการเจริญเติบโต ที่ความเข้มข้น 15-100 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าระยะดักแด้มีความทนทานต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์ และการศึกษาความเป็นพิษของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมอดสมุนไพรมอดหญ้า (Stegobium paniceum) และมอดยาสูบ (*L. serricorne*) ในทุกระยะการเจริญเติบโตของแมลงทั้ง 2 ชนิด พบว่าในระยะดักแด้เป็นระยะที่ทนทานต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ และระยะตัวเต็มวัยมีความอ่อนแอที่สุด (Gunasekaran and Rajendran, 2005)

อย่างไรก็ตามก๊าซ CO₂ อาจมีผลต่อคุณภาพการเก็บรักษากระเทียมในระยะยาว จึงควรมีการศึกษาระดับ CO₂ ที่เหมาะสมในการกำจัดแมลงและส่งผลต่อคุณภาพกระเทียมน้อยที่สุด ก๊าซ CO₂ มีผลต่อกระเทียมในการช่วยชะลอการงอก การเสื่อมและการเปลี่ยนสีของกระเทียม แต่หากปริมาณ CO₂ ที่สูงมากเกินไป อาจส่งผลไปลดปริมาณสาร fructan สารสำคัญในกระเทียมที่เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลฟรุคโตสได้

สรุป

การศึกษาดั้วเมล็ดกาแฟ *Araecerus fasciculatus* ที่เลี้ยงในกระเทียม ซึ่งมีความชื้น 59.9-61.64 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส พบว่า ดั้วเมล็ดกาแฟสามารถเจริญเติบโตได้ดี บนกลีบกระเทียม โดยระยะไข่ 6.60 ± 1.51 วัน ระยะหนอนมีทั้งหมด 4 วัย ใช้เวลารวม 46.40 ± 3.66 วัน ระยะดักแด้ 5.20 ± 0.83 วัน และระยะตัวเต็มวัย 29.75 ± 5.68 วัน ตั้งแต่ระยะไข่ถึงระยะตัวเต็มวัยใช้เวลาเฉลี่ย 87.95 ± 37.83 วัน ระยะไข่ของด้วงเมล็ดกาแฟมีความทนทานต่อก๊าซ CO₂ ที่ความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 72 ชั่วโมง มากที่สุดเนื่องจากมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การตายน้อยที่สุดคือ 0.5 ± 0.58 ในขณะที่ระยะหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย มีเปอร์เซ็นต์การตายคือ 27.93 ± 10.05 , 32.5 ± 0.95 และ 100.00 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และความอนุเคราะห์ด้วงเมล็ดกาแฟจาก คุณกรรณิการ์ เพ็งคุ้ม สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เพื่อนำมาใช้ในการทดลองขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในความอนุเคราะห์ใช้ก๊าซ CO₂ และเครื่องวัดก๊าซ CO₂ และห้องปฏิบัติการในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มยุทธศาสตร์และสารสนเทศ. 2553. กระเทียม. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล : http://www.ndoae.com/Data_plant/garlic2010.htm (10 มิถุนายน 2556).
- กุลวิชัย พานิชกุล เยาวลักษณ์ จันทรียง พรัชราชตนะพันธ์. 2552. ผลของฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโต และการทำลายของด้วงงวงข้าว *Sitophilus oryzae* (L.) บนข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41: 215-218.
- ชุมพล กันทะ. 2533. หลักการป้องกันการกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ. ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 249 หน้า.
- ธนสิน เด่นเจริญกุล และรุจ ศิริสัญลักษณ์. 2557. ผลกระทบการเปิดเขตการค้าเสรีไทย-จีนต่อเกษตรกรผู้ปลูกกระเทียมใน จังหวัดแม่ฮ่องสอน. วารสารเกษตร 30(1): 79-87.
- พรรณเพ็ญ ชโยภาส ณัฐวัฒน์ แยมยิ้ม กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม รังสิมา เก่งการพานิช ใจทิพย์ อุไรชื่น ดวงสมร สุทธิสุทธิ ภาวินี หนูชนะภัย อัจฉรา

- เพชรโชติ และ ศรุตา สิทธิไชยากุล. 2554. ประสิทธิภาพกับดักแสงไฟในการดักจับด้วงปีกตัดในกระเทียมหลังการเก็บเกี่ยว. รายงานผลงานวิจัยเรื่องเดิม ประจำปี 2554. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. หน้า 19-25.
- พรทิพย์ วิสารทานนท์ พรหมเพ็ญ ชโยภาส ใจทิพย์ อุไรชื่น รังสิมา เก่งการพานิช กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม จิราภรณ์ ทองพันธ์ ดวงสมร สุทธิสุทธิลักษณ์ ร่วมเย็น ภาวินี หนูชนะภัย และ อัจฉรา เพชรโชติ. 2548. แมลงที่พบในผลผลิตเกษตรและการป้องกันกำจัด. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. 170 หน้า.
- รัตนพร ไชยศรี. 2555. ชีวิตวิทยาและฤดูกาลระบาดของด้วงกาแฟ. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 21 หน้า.
- ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2555. สถิติการค้าสินค้าเกษตรกับต่างประเทศ 2554. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 120 หน้า.
- สุทธิสันต์ พิมพ์สวัสดิ์ และ วิโรจน์ แก้วเรือง. 2551. มอดยาสูบศัตรูหมากเลย ๑ ขาใบหมอน. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.gotoknow.org/posts/176049> (15 มีนาคม 2557).
- สำนักงานพาณิชย์จังหวัดเชียงใหม่. 2554. ความเคลื่อนไหวราคาส่งออก/นำเข้ากระเทียม. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://tisc.feu.ac.th/content.aspx?file_upload_id=1956 (11 มิถุนายน 2557).
- Abbott, W. S. 1925. Method for computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology 18:256-267.
- Annis, P. C. and R. Morton. 1997. The acute mortality effects of carbon dioxide on various life stages of *Sitophilus oryzae*. Journal of Stored Products Research 33(2): 115-124.
- Back, E. A. and R. T. Cotton. 1922. Stored- Grain Pests. Farmer's Bulletin No. 1260. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. 47 p.
- Barrera, J. F. 2008. Coffee Pests and Their Management. pp. 961-998. In: J. L. Capinera (ed.). Encyclopedia of Entomology. 2nd ed. Springer, Amsterdam.
- Chapman, R. F. 1998. The insects: Structure and function. 4th ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Davidson, R. H. and L. M. Peairs. 1966. Insect Pests of Farm Garden and Orchard. John Wiley & Son, Inc., New York. 675 p.
- Gautam, S. G., G. P. Opit, J. S. Tebbets, D. Margosan, and S. Walse. 2014. Egg morphology of key stored-product insect pests of the United States. Annals of the Entomological Society of America 107: 1-10.
- Gunasekaran, N. and S. Rajendran. 2005. Toxicity of carbon dioxide to drugstore beetle *Stegobium paniceum* and cigarette beetle *Lasioderma serricorne*. Journal of Stored Products Research 41(3): 283-294.
- Monro, H. A. U. 1975. Manual of Fumigation for Insect Control. FAO Rome. 381 p.
- Npumechi, M. N. 1993. The Biology of *Araecerus fasciculatus* DeG. (Coleoptera: Anthribidae) on selected tuber product. M. Sc, Thesis. University of Nigeria, Nigeria. 138 p.

- Riudavets, J., C. Castañé, O. Alomar, M. J. Pons, and R. Gabarra. 2010. The use of carbon dioxide at high pressure to control nine stored-product pests. *Journal of Stored Products Research* 46: 228-233.
- Sayed, M. T. EL. 1935. On the biology of *Araecerus fasciculatus* De Geer (Col., Anthribidae), with special reference to the effects of variation in the nature and water content of the food. *Annals of Applied Biology* 22(3): 557-577.
- Wainman, H., E. Chakrabarti and P. R. Warre. 1983. The use of a methyl bromide/carbon dioxide mixture as space Fumigant. *International Pest Control* 25: 174-175.
- Wintgens, J. N. 2004. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim. 976 p.
-

การออกแบบกับดักฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ เพื่อควบคุมผีเสื้อหนอนใยผักในการผลิตกะหล่ำปลีนพื้นที่สูง

Synthetic Sex Pheromone Trap Designs for Controlling Diamondback Moth in Cabbage Production on Highland

อาทิตยา ทองคำกุล^{1/} จิราพร กุลสาริน^{1/*} และ ไสว บุรณพานิชพันธุ์^{2/}
Artitaya Tongkamkul^{1/}, Jiraporn Kulsarin^{1/} and Sawai Buranapanichpan^{2/}*

Abstract: Attractive effects of synthetic diamondback moth (DBM) sex pheromones (Z-11-hexadecen-1-ol (alc): compound A: compound B by 0.1:1:1 mg) mixed with the solid paraffin as evaporation retardant using 2 trap designs; wing spin trap and delta spin trap, were done in Mae Tho Royal Project Development Center, Hot district, Chiang Mai province. The results found that after trap establishment for 7, 14 and 21 days, wing spin trap with DBM sex pheromone attracted 19.56, 19.11 and 10.78 moths higher than in the delta spin trap with DBM sex pheromone at 12.67, 13.94 and 8.89 moths, respectively. The result revealed that wing spin trap was more effective in attracting higher than the delta spin trap. The effects of position to place DBM pheromone trap played an important role of catching DBM. Among the sex pheromone establishment positions; inside, outside, and both (in and outside) cabbage plantation area, wing spin trap with DBM sex pheromone placed both in and out of cabbage plantation area showed the most effective to catch DBM.

Keywords: Diamondback moth, pheromone trap design, sex pheromone

^{1/} ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

^{1/} Department of Entomology and Plant Pathology Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

* Corresponding author: E-mail address: jiraporn.k@cmu.ac.th

บทคัดย่อ: ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักเพศผู้ของกับดัก 2 แบบ คือ wing spin trap และ delta spin trap โดยใช้ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ Z-11-hexadecen-1-ol (alc) : compound A : compound B อัตรา 0.1:1:1 มิลลิกรัม ผสมกับสารชะลอการระเหย คือ solid paraffin ในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่โจ้ อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าหลังการวางกับดักเป็นเวลา 7, 14 และ 21 วัน กับดักแบบ wing spin trap สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักเพศผู้ได้รวม 19.56, 19.11 และ 10.78 ตัวตามลำดับ มากกว่ากับดักแบบ delta spin trap ที่สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้รวม 12.67, 13.94 และ 8.89 ตัวตามลำดับ จึงสรุปได้ว่ากับดักแบบ wing spin trap มีประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้มากกว่าการใช้กับดักแบบ delta spin trap และพบว่าการวางกับดักฟีโรโมนนอกแปลงพร้อมกับวางภายในแปลงปลูกกะหล่ำปลี มีประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักสูงกว่าการวางเฉพาะนอกแปลงหรือเฉพาะในแปลงเพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ: ผีเสื้อหนอนใยผัก รูปแบบกับดักฟีโรโมน ฟีโรโมนเพศ

คำนำ

กะหล่ำปลี (*Brassica oleracea* var. *capitata* Linn.) เป็นพืชผักวงศ์กะหล่ำที่นิยมบริโภคในประเทศไทย รวมทั้งบางชนิดใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแปรรูปเพื่อการส่งออก ราคาของกะหล่ำปลีนอกจากขึ้นกับฤดูกาลแล้ว ความสวยงามของใบที่ไร้ร่องรอยการเข้าทำลายของศัตรูพืชก็เป็นสิ่งสำคัญ (สมบัติ และคณะ, 2547; Wang *et al.*, 2004) ปัจจุบันพบการระบาดของแมลงศัตรูพืชเข้าทำลาย และสร้างความเสียหายต่อกะหล่ำปลีอย่างรุนแรง ได้แก่ หนอนใยผัก (diamondback moth, *Plutella xylostella*) ที่พบระบาดไปทั่วโลก ซึ่งระยะตัวอ่อนเป็นระยะที่สร้างความเสียหายต่อผลผลิต (Talekar and Shelton, 1993; Lee *et al.*, 2005) โดยเฉพาะหนอยวัยที่ 3 และ 4 เข้าทำลายกัดกินยอดที่กำลังเจริญเติบโต ทำให้ยอดผักเสียหาย และส่งผลให้ต้นพืชเจริญเติบโตผิดปกติเป็นเหตุให้เกิดโรคเน่าและ (นุชนารถ, 2546) เนื่องจากหนอนชนิดนี้มีวงจรชีวิตสั้นมีการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว จึงพบการระบาดอยู่เสมอ มีความสามารถในการพัฒนาสร้างความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงได้รวดเร็ว และหลายชนิด เนื่องจากเกษตรกรนิยมใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงไม่เหมาะสม (Talekar *et al.*, 1985)

ฟีโรโมน คือสารเคมีที่สิ่งมีชีวิตสร้างขึ้น และถูกปล่อยออกนอกอวัยวะ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม และขบวนการทางสรีรวิทยาของสมาชิกอื่น ๆ

ที่อยู่ในสปีชีส์ (species) เดียวกัน (Su *et al.*, 2004) สารฟีโรโมนเพศ เป็นสารเคมีที่สามารถดึงดูดเพศตรงข้าม ซึ่งในแมลงเพศเมียมักปล่อยกลิ่นที่เฉพาะเจาะจงในการดึงดูดแมลงเพศผู้ โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อการผสมพันธุ์ (mating) จึงมีการประยุกต์ใช้ฟีโรโมนเป็นเหยื่อล่อในกับดักเพื่อให้แมลงเพศผู้เข้ามาติดกับดัก เพื่อเบี่ยงเบนหรือรบกวนการผสมพันธุ์ของผีเสื้อหนอนใยผัก (Phillips, 1997) การใช้สารฟีโรโมนเพศจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีแนวโน้มในการป้องกันกำจัดที่ดี เพื่อลดการใช้สารเคมีกำจัดแมลง โดยการตัดวงจรชีวิตในด้านการขยายพันธุ์ อีกทั้งไม่เป็นอันตรายต่อแมลงชนิดอื่นที่มีประโยชน์ เพราะมีความจำเพาะเจาะจงต่อชนิดของกลิ่นเพศ ซึ่งสารฟีโรโมนเพศในอัตราส่วนที่สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักเพศผู้ได้นั้นมีความแตกต่างกันออกไป (Nemoto *et al.*, 1992) จากงานทดลองของ Chow (1977) ได้ทดสอบอัตราที่เหมาะสมของฟีโรโมนเพศ (Z-11-16 : Ald, Z-11-16 : Ac และ Z-11-16 : OH) ที่ปริมาณ 5 และ 50 มิลลิกรัม สาร Z-9-14 : Ac ปริมาณ 5 และ 10 มิลลิกรัม และสาร Z-11-16 : OH ปริมาณ 1 และ 10 มิลลิกรัม พบว่าสารฟีโรโมนทุกสารสามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักมาติดกับดักได้ ยกเว้น Z-11-16 : OH ปริมาณ 1 มิลลิกรัม ที่ไม่สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักเพศผู้ได้ อัจฉราพรและคณะ (2528) ทำการทดลองสวนผักของเกษตรกร อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี ระหว่างธันวาคม 2527 ถึงมีนาคม 2528 พบว่า การใช้กับดักชนิดกล่องพลาสติกกลมทากาว Rimifoot ร่วมกับสารเพศ Z-11-hexadecenal (Z11-16 :

Ald) : Z-11-hexadecenyl acetate (Z11-16 : OAc) : Z-11-hexadecen-1-ol (Z11-16:OH) อัตราส่วน 5:5:0.1 ในปริมาณ 100 ไมโครกรัม เป็นกับดักที่มีประสิทธิภาพสูง ในการดักผีเสื้อหนอนใยผักเช่นเดียวกับงานทดลองของ อนุสรณ์ และคณะ (2556) ทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผัก พบว่าสาร ฟีโรโมนสังเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด คือ Z-11-hexadecenal (Z11-16 : Ald) : Z-11-hexadecenyl acetate (Z11-16 : OAc) : Z-11-hexadecen-1-ol (Z11-16 : OH) ใน อัตราส่วน 50:50:1 ในปริมาณ 100 มิลลิกรัม ภายใน ระยะเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า มีประสิทธิภาพในการดึงดูด ผีเสื้อหนอนใยผักเพศผู้ได้ดีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ ทางการค้างานทดลองของ Gadi *et al.* (2001) ทำการ ทดสอบประสิทธิภาพของสารฟีโรโมนสังเคราะห์รวมกับ การวางกับดักฟีโรโมนแบบ delta trap ให้มีระยะห่างกัน 10 เมตร สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้ดีและจากการ วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์กับดักฟีโรโมนเพศเพื่อควบคุม ผีเสื้อหนอนใยผักที่เหมาะสมกับสภาพอากาศบนพื้นที่สูง มีการผสมสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ Z-11-hexadecen-1-ol(alc) : compound A : compound B ในอัตรา 0.1:1:1 มิลลิกรัม เข้ากับสารชะลอการระเหย คือ solid paraffin ซึ่งสามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้ผลดี โดยใช้ ร่วมกับกับดักฟีโรโมนแบบ wing trap (จิราพร และ อภิวัฒน์, 2555) จึงนำมาทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยการใช้ ร่วมกับกับดักฟีโรโมนรูปแบบใหม่ ที่มีการพัฒนา รูปลักษณะให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเหมาะสมกับสภาพ อากาศบนพื้นที่สูง รวมทั้งศึกษาตำแหน่งการวางกับดักใน แปลงปลูกกะหล่ำปลีให้สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผัก ได้มากที่สุด วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อหารูปแบบ กับดักสาร ฟีโรโมนเพศสังเคราะห์และตำแหน่งการวางกับ ดักในแปลงปลูกกะหล่ำปลีที่เหมาะสมสำหรับดึงดูดผีเสื้อ หนอนใยผักบนพื้นที่สูง

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษารูปแบบกับดักฟีโรโมนร่วมกับสารฟีโรโมน เพศสังเคราะห์และตำแหน่งที่แตกต่างกันในการวาง กับดักฟีโรโมนสังเคราะห์ที่เหมาะสมในการควบคุม ผีเสื้อหนอนใยผัก

การเตรียมอุปกรณ์กับดักฟีโรโมน

การทำกับดักฟีโรโมนได้พัฒนาจากงานวิจัยของ จิราพรและอภิวัฒน์ (2555) โดยส่วนหลังคาใช้แผ่น พิวเจอร์บอร์ดขนาด 11×12 นิ้ว กรีดตามกึ่งกลางทางด้าน ยาวให้ห่างจากขอบด้านละ 4 เซนติเมตร จากนั้นกรีดลาก ไปจรดมุมทั้ง 4 มุม ระวังอย่าให้ขาดจากกัน ส่วนฐานใช้ พิวเจอร์บอร์ด ขนาด 10×12 นิ้ว ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กรีดทำแนวพับโดยวัดระยะจากขอบด้านข้างทางยาวเข้า มา เท่ากับ 3.5×8 เซนติเมตร และตัดมุมทั้ง 4 ด้านออก ให้ เหลือส่วนตรงกลาง นำหลังคาและฐานมาประกบกันโดย ใช้ลวดยึดบริเวณกึ่งกลางรอยพับ ด้านใต้สอดแผ่น พลาสติกทากาวเหนียว (ภาพที่ 1) สำหรับกับดักทั้ง 2 รูปแบบ มีวิธีการประกอบ และติดตั้งที่ต่างกัน จึงแทนชื่อ รูปแบบกับดักฟีโรโมน ดังนี้

รูปแบบที่ 1 กับดักฟีโรโมนแบบ wing spin trap นำส่วนหลังคาบดักมาเจาะรูตรงกลาง สอดแท่งหลอด ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร สำหรับเสียบแกนหมุน ที่ใช้ ลวดยาวประมาณ 50 เซนติเมตร ขึ้นด้วยพลาสติกแข็ง เจาะรูตรงกลาง จากนั้นทำการประกบกับส่วนฐาน ผูกลวด แกนหมุนติดกับไม้หลักการใช้แกนหมุนแบบลวดแขวนมี ผลให้กับดักสามารถหมุนและเหวี่ยงตามแรงลมได้ จากนั้นนำกับดักไปปักในแปลงในแนวเฉียง 45 องศา ให้กับดักอยู่สูงกว่าทรงพุ่ม 30-40 เซนติเมตร (ภาพที่ 2a)

รูปแบบที่ 2 กับดักฟีโรโมนแบบ delta spin trap นำส่วนฐานกับดักมาเจาะรูตรงกลาง สอดแท่งหลอดยาว ประมาณ 1 เซนติเมตร สำหรับเสียบแกนหมุน โดยใช้ตะปู ขนาดเล็กขึ้นด้วยพลาสติกแข็งเจาะรูตรงกลาง นำไปตอก ยึดติดกับไม้หลักประกบกับดักเข้ากับส่วนหลังคา การใช้ แกนหมุนมีผลให้กับดักสามารถหมุนตามแรงลมได้ นำกับ ดักไปปักในแปลงในแนวตั้งตรงให้สูงเหนือพื้นดิน 30-40 เซนติเมตร (ภาพที่ 2b)

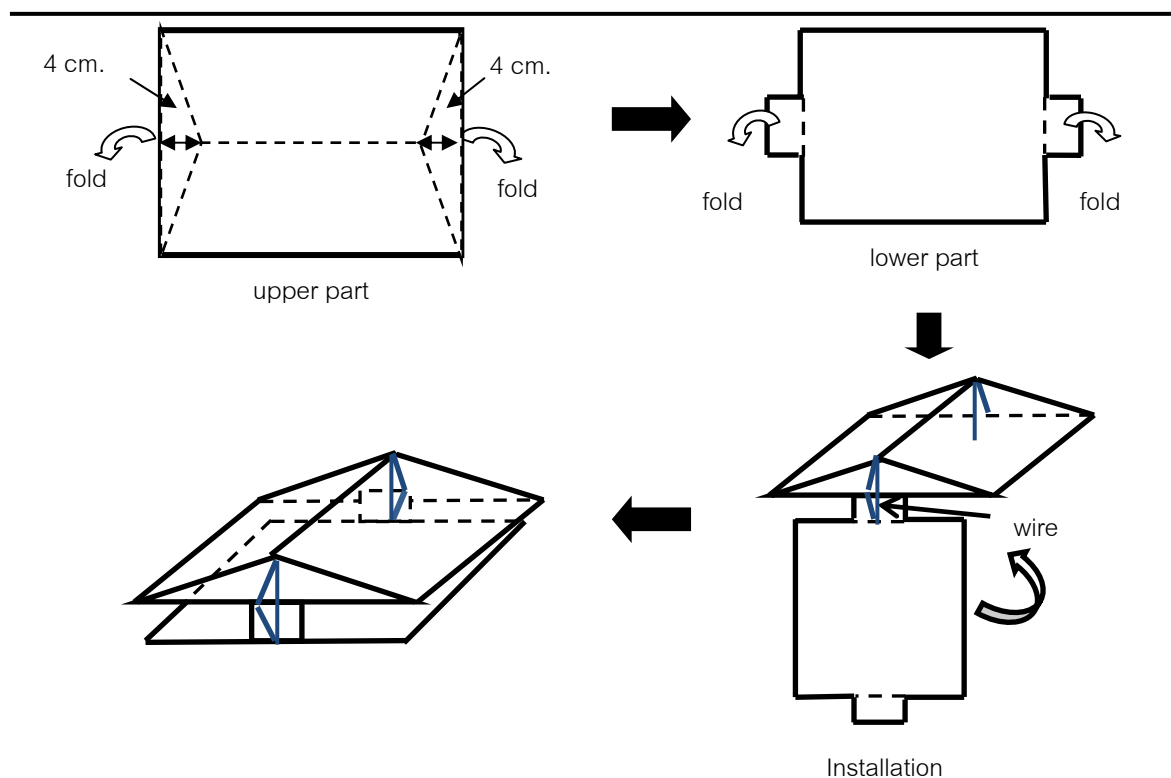


Figure 1 Wing trap preparation

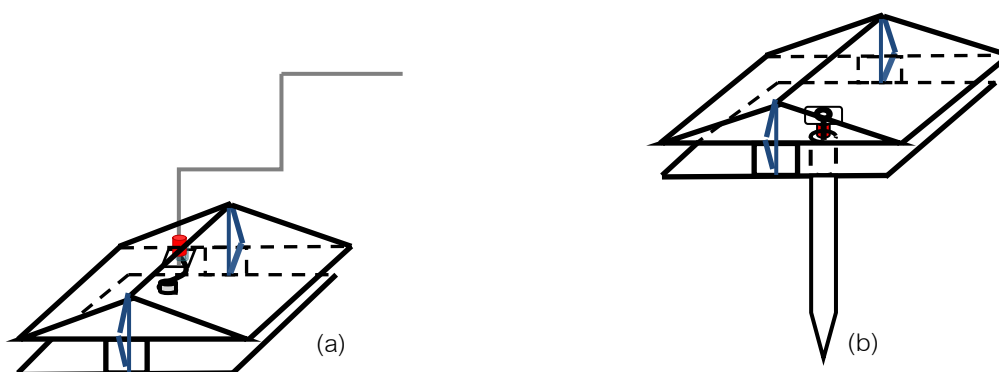


Figure 2 Synthetic sex pheromone trap design (a) wing spin trap and (b) delta spin trap

ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อ
หนอนใยผักเพศผู้จากรูปแบบของกับดักฟีโรโมน โดยใช้
ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ ซึ่งมีส่วนผสมสารฟีโร
โมนเพศสังเคราะห์ Z-11-hexadecen-1-ol : compound
A : compound B = (alc : A : B) อัตราส่วน 0.1:1:1
มิลลิกรัม เข้ากับสารชะลอการระเหย คือ solid paraffin
(จิราพร และอภิวัฒน์, 2555) และศึกษาการวางกับดัก

ฟีโรโมนสังเคราะห์ในตำแหน่งที่แตกต่างกันในแปลงปลูก
กะหล่ำปลี ออกแบบการทดลองแบบ RCBD โดยมี
ตำแหน่งการวางกับดัก แบ่งเป็น 3 ตำแหน่ง ดังนี้
ตำแหน่งที่ 1 วางกับดักเฉพาะนอกแปลงเพียงอย่าง
เดียว
ตำแหน่งที่ 2 วางกับดักเฉพาะในแปลงเพียงอย่าง
เดียว

ตำแหน่งที่ 3 วางกับดักนอกแปลงพร้อมกับการวาง
ในแปลง
และรูปแบบกับดักฟีโรโมนร่วมกับสารฟีโรโมนเพศ
สังเคราะห์ แบ่งเป็น 4 รูปแบบ ดังนี้
รูปแบบที่ 1 กับดักแบบ wing spin trap ร่วมกับสารฟี
โรโมนเพศสังเคราะห์ (alc + A + B)
รูปแบบที่ 2 กับดักแบบ delta spin trap ร่วมกับสารฟี
โรโมนเพศสังเคราะห์ (alc + A + B)
รูปแบบที่ 3 กับดักแบบ wing spin trap
รูปแบบที่ 4 กับดักแบบ delta spin trap
รวมทั้งหมดเป็น 12 กรรมวิธี (3 ตำแหน่ง $\times$ 4
รูปแบบกับดัก) ทุกกรรมวิธีทำ 6 ซ้ำ นำไปทดสอบในแปลง
เพาะปลูกกะหล่ำปลี ในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง
แม่โจ้ อำเภอฮอดจังหวัดเชียงใหม่ โดยวางให้แต่ละกับดัก
มีระยะห่างกัน 15 เมตร อยู่เหนือหรือระดับเดียวกับความ
สูงของกะหล่ำปลี 30-45 เซนติเมตร เพื่อให้กลิ่นของสารฟี
โรโมนเพศสังเคราะห์กระจายไปตามทิศทางลม ทำการ
ตรวจนับจำนวนผีเสื้อหนอนใยผักที่ติดภายในกับดัก ทุก
7 วัน จำนวน 3 ครั้ง วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อหนอน
ใยผักเพศผู้จากรูปแบบของกับดักฟีโรโมน โดยใช้ร่วมกับ
สารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ ซึ่งมีส่วนผสมสารฟีโรโมนเพศ
สังเคราะห์ (alc : A : B) อัตราส่วน 0.1:1:1 มิลลิกรัม
ในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่โจ้ อำเภอฮอด
จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าในระยะเวลา 7 วันรูปแบบกับดัก
แบบ wing spin trap ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์
(alc + A + B) ที่วางในแปลงเพียงอย่างเดียวสามารถ
ดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้สูงสุด 20.83 ตัว รองลงมา คือ
กับดักแบบ wing spin trap ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศ
สังเคราะห์ (alc + A + B) ที่ตำแหน่งการวางนอกแปลง
พร้อมกับการวางภายในแปลง และการวางนอกแปลงเพียง
อย่างเดียว สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้ 20.00 และ
17.83 ตัว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($P \leq 0.05$) กับกับดักรูปแบบอื่นในตำแหน่งอื่น

การวางกับดักเฉพาะในแปลงดึงดูดผีเสื้อหนอน
ใยผักไม่แตกต่างจากการวางกับดักทั้งนอกและในแปลง
พร้อมกัน ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($P \leq 0.05$) กับกับการวางกับดักเฉพาะนอกแปลง เมื่อ
เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผัก
ของกับดักแต่ละรูปแบบจากผลรวมในทุกตำแหน่งพบว่า
กับดักแบบ wing spin trap ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศ
สังเคราะห์ (alc + A + B) สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผัก
ได้รวม 19.56 ตัว ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
ทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับกับดักรูปแบบ delta spin trap
ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ (alc + A + B) ที่
สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้รวม 12.67 ตัว ส่วนกับ
ดักทั้ง 2 รูปแบบ เมื่อไม่ใช้ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศ
สังเคราะห์ สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้ปริมาณ
น้อยกว่าการใช้ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตาราง
ที่ 1)

จากผลการทดลองที่ระยะเวลา 14 วัน พบว่า
รูปแบบกับดักแบบ wing spin trap ร่วมกับสารฟีโรโมน
เพศสังเคราะห์ (alc + A + B) ที่ตำแหน่งการวางนอก
แปลงพร้อมกับการวางภายในแปลงสามารถดึงดูดผีเสื้อหนอน
ใยผักได้สูงสุด 25.17 ตัว ไม่แตกต่างกับกับดักแบบ delta
spin trap ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ (alc + A +
B) ที่ตำแหน่งการวางนอกแปลงพร้อมกับการวางภายในแปลง
สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้ 18.83 ตัว แต่มีความ
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับกับ
ดักรูปแบบอื่นในตำแหน่งอื่น

และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดึงดูด
ผีเสื้อหนอนใยผักของกับดักแต่ละรูปแบบจากผลรวมใน
ทุกตำแหน่งการวางกับดัก พบว่ากับดักแบบ wing spin
trap ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ (alc + A + B)
สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้รวม 19.11 ตัว แตกต่าง
กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับกับดักรูปแบบ
delta spin trap ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ (alc +
A + B) ที่สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้รวม
13.94 ตัว ผลการวางกับดักผีเสื้อหนอนใยผักในวันที่ 14
หลังจากการวางกับดักมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับการวาง
ในช่วง 7 วัน (ตารางที่ 2)

Table 1 Effective of trapping design with synthetic sex pheromones using in different positions of cabbage plantation area at Mae Tho Royal Project Development Center by 7 days

Design	Average number of male diamondback moths			Total ^{2/}
	trapping position			
	out	in	combined	
Wing spin trap with synthetic sex pheromones(alc + A + B)	17.83 ab ^{1/}	20.83 a	20.00 a	19.56 X
Delta spin trap with synthetic sex pheromones (alc + A + B)	7.33 bc	14.33 ab	16.33 ab	12.67 Y
Wing spin trap	0.00 c	1.67 c	1.17 c	0.94 Z
Delta spin trap	0.17 c	1.33 c	0.50 c	0.67 Z
Total ^{3/}	6.33 B	9.54 A	9.50 A	

^{1/} Means followed by the same letters in area are not significantly different at 95% confidence by LSD^{2/} Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 95% confidence by LSD^{3/} Means followed by the same letters in the same row are not significantly different at 95% confidence by LSD**Table 2** Effective of trapping design with synthetic sex pheromones using in different positions of cabbage plantation area at Mae Tho Royal Project Development Center by 14 days

Design	Average number of male diamondback moths			Total ^{2/}
	trapping position			
	out	in	combined	
Wing spin trap with synthetic sex pheromones (alc + A + B)	13.50 bc ^{1/}	18.67 b	25.17 a	19.11 X
Delta spin trap with synthetic sex pheromones (alc + A + B)	9.67 c	13.33 bc	18.83 ab	13.94 Y
Wing spin trap	1.00 d	0.33 d	2.00 d	1.11 Z
Delta spin trap	0.50 d	0.00 d	1.67 d	0.72 Z
Total ^{3/}	6.17 B	8.08 B	11.92 A	

^{1/} Means followed by the same letters in area are not significantly different at 95% confidence by LSD^{2/} Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 95% confidence by LSD^{3/} Means followed by the same letters in the same row are not significantly different at 95% confidence by LSD

จากผลการทดลองที่ระยะเวลา 14 วัน พบว่ารูปแบบกับดักแบบ wing spin trap ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ (alc + A + B) ที่ตำแหน่งการวางนอกแปลงพร้อมกับวางภายในแปลงสามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้สูงสุด 25.17 ตัว ไม่แตกต่างกับกับดักแบบ delta spin trap ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ (alc + A + B) ที่ตำแหน่งการนอกแปลงพร้อมกับวางภายในแปลงสามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้ 18.83 ตัว แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับกับดักรูปแบบอื่นในตำแหน่งอื่น

และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักของกับดักแต่ละรูปแบบจากผลรวมในทุกตำแหน่งการวางกับดัก พบว่ากับดักแบบ wing spin trap ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ (alc + A + B) สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้รวม 19.11 ตัว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับกับดักรูปแบบ delta spin trap ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ (alc + A + B) ที่สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้รวม 13.94 ตัว ผลการวางกับดักผีเสื้อหนอนใยผักในวันที่ 14 หลังจากการวางกับดักมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับการวางในช่วง 7 วัน (ตารางที่ 2)

Table 3 Effective of trapping design with synthetic sex pheromones using in different positions of cabbage plantation area at Mae Tho Royal Project Development Center by 21 days

Design	Average number of male diamondback moths			Total ^{2/}
	trapping position			
	out	in	combined	
Wing spin trap with synthetic sex pheromones (alc) + A + B	10.33 ab ^{1/}	10.83 ab	11.17 a	10.78 X
Delta spin trap with synthetic sex pheromones (alc + A + B)	8.50 bc	10.50 ab	7.67 c	8.89 Y
Wing spin trap	0.50 d	1.67 d	1.00 d	1.06 Z
Delta spin trap	1.17 d	1.67 d	0.50 d	0.94 Z
Total ^{3/}	5.13 A	6.04 A	5.08 A	

^{1/} Means followed by the same letters in area are not significantly different at 95% confidence by LSD

^{2/} Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 95% confidence by LSD

^{3/} Means followed by the same letters in the same row are not significantly different at 95% confidence by LSD

วิจารณ์

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักระหว่างรูปแบบกับดัก 2 แบบ คือ wing spin trap และ delta spin trap ดำเนินการในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่โถ พบว่ากับดักแบบ wing spin trap สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้มากกว่ากับดักแบบ delta spin trap เนื่องจากกับดักทั้ง 2 รูปแบบ ซึ่งมีการพัฒนาให้มีจุดหมุนที่สามารถหมุนตามแรงลมได้แมลงจึงสามารถบินเข้าหาได้ทุกทิศทาง และการใช้แกนหมุนแบบลวดแขวนในกับดักแบบ wing spin trap สามารถเหวี่ยงได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการติดตั้งแบบวางอยู่กับที่ของกับดักแบบ delta spin trap ซึ่งมีความสอดคล้องกับการทดลองของจิราพรและอภิวัฒน์ (2555) ที่ได้ทำการทดสอบความเหมาะสมของรูปแบบของกับดักฟีโรโมนแบบ delta trap และ wing trap ร่วมกับกาเหี่ยว พบว่ากับดักแบบ wing trap มีประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักได้มากกว่าการใช้กับดักแบบ delta trap และสอดคล้องกับการวิจัยของ Michereff *et al.* (2000) พบว่ารูปแบบกับดักแบบ wing trap มีประสิทธิภาพในการดักจับผีเสื้อหนอนใยผักเพศผู้ได้ดีกว่ารูปแบบกับดักแบบ

delta trap ดังนั้นการใช้กับดักแบบ wing spin trap จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ดักจับผีเสื้อหนอนใยผักมากกว่ากับดักแบบ delta spin trap และจากการทดลองเดียวกัน พบว่ากับดักฟีโรโมนเพศที่วางในตำแหน่งทั้งนอกและในแปลงปลูก มีประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักสูงกว่าการวางเฉพาะนอกแปลง หรือเฉพาะภายในเพียงอย่างเดียว เนื่องจากตำแหน่งการวางกับดักทั้งนอกและในแปลงพร้อมกัน สามารถดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักจากภายนอกแปลง เป็นการป้องกันไม่ให้แมลงเข้าสู่แปลงและดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักที่อยู่ด้านในแปลงให้มาติดกับดักได้แต่อย่างไรก็ตาม Rushtapakornchai and Saito (1990) ได้รายงานถึงประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดโดยใช้กับดักฟีโรโมนเพศ พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนกับดักให้มากขึ้น และใช้อย่างต่อเนื่อง

สรุป

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักจากรูปแบบของกับดักฟีโรโมนแบบ 2 แบบ คือแบบ wing spin trap และ delta spin trap โดยใช้ร่วมกับสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์ Z-11-hexadecen-1-ol

(alc) : compound A : compound B อัตราส่วน 0.1:1:1 มิลลิกรัมเข้ากับสารชะลอการระเหย คือ solid paraffin ในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่โถ อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า รูปแบบกับดักฟีโรโมนแบบ wing spin trap มีประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักสูงกว่ารูปแบบกับดักฟีโรโมนแบบ delta spin trap นอกจากนี้กับดักฟีโรโมนที่วางพร้อมกันทั้งนอกและในแปลงปลูก มีประสิทธิภาพในการดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผักสูงกว่าการวางเฉพาะด้านนอกแปลง หรือเฉพาะภายในเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการใช้รูปแบบกับดักฟีโรโมนแบบ wing spin trap เหมาะสมกับการวางกับดักที่วางพร้อมกันทั้งนอกและในแปลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสถาบันวิจัยและพัฒนาที่สูง (องค์การมหาชน) และบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่โถ อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์สำหรับงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จิราพร กุลสาริน และ อภิวัฒน์ ธีรวิมลกุลรักษ์. 2555. การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์กับดักฟีโรโมนเพื่อควบคุมหนอนใยผักในการปลูกพืชตระกูลกะหล่ำบนที่สูง. รายงานการวิจัยและพัฒนาชีวภัณฑ์เกษตรและผลิตภัณฑ์ควบคุมศัตรูพืชเพื่อทดแทนสารเคมีบนพื้นที่สูง. สถาบันวิจัยพื้นที่สูง, เชียงใหม่. 70 หน้า.
- นุชนารถ จงเลขา. 2546. คู่มือการควบคุมโรคและศัตรูพืชต่าง ๆ ของพืชผักแบบผสมผสาน. ศูนย์อารักขาพืช มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่. 164 หน้า.
- สมบัติ ศรีชูวงศ์ ไสว นูรณพานิชพันธุ์ และ ชวนพิศ บุญขิตศิริกุล. 2547. เพื่อพัฒนาโครงการการลดการใช้สารเคมีเกษตรในพืชผักตระกูลกะหล่ำ. รายงานผลการวิจัย. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 12 หน้า.
- อัจฉราพร เกตุกระทุ่ม เกศรา จีระจรรยา และ สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ. 2528. กับดักสารเพศของหนอนใยผัก. วารสารวิชาการเกษตร 3(3): 176-181.
- อนุสรณ์ พงษ์มี จิราพร กุลสาริน และ อภิวัฒน์ ธีรวิมลกุลรักษ์. 2556. อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารฟีโรโมนเพศสังเคราะห์เพื่อดึงดูดผีเสื้อหนอนใยผัก. วารสารวิชาการเกษตร 29(2): 145-153.
- Chow, Y. S. 1977. Disruption effect of the synthetic sex pheromone and its analogues on diamondback moth. Academia Sinica 12: 105-108.
- Gadi, V., R. Prasad and A. Guerrero. 2001. Optimum timing of insecticide applications against diamondback moth *Plutella xylostella* in cole crops using threshold catches in sex pheromone traps. Pest Management Science 57: 90-94.
- Lee, S., D. W. Lee and K. S. Boo. 2005. Sex pheromone composition of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) in Korea. Journal of Asia Pacific Entomology 8: 243-248.
- Michereff, M. F. F., E. F. Vilela, F. Michereff and A. Mafra-Neto. 2000. Synthetic sex pheromone use for field trapping of diamondback moth males. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 35(10): 1919-1926.
- Nemoto, H., E. Yano and K. Kiritani. 1992. Pheromonal control of diamondback moth in the management of crucifer pests. pp. 91-97. In: N. S. Talekar (ed.). Proceedings of the second international workshop on diamondback moth and other crucifer pests. AVRDC Publication No. 92-368, Shanhu, Taiwan.

- Phillips, T. W. 1997. Semiochemicals of stored-product insects: research and applications. *Journal of Stored Products Research* 33(1): 17-30.
- Rushtapakornchai, W. and T. Saito. 1990. Development and implementation of the yellow sticky trap for diamondback moth control in Thailand. Report on Insect Toxicological Studies on Resistance to Insecticides and Integrated Control of Diamondback Moth. Department of Agriculture, Bangkok, Thailand, 523-528.
- Su, F. C., M. Y. Lin and N. S. Talekar. 2004. How to see sex pheromone for controlling eggplant fruit and shoot borer. AVRDC, Taiwan. 15 p.
- Talekar, N. S. and A. M. Shelton. 1993. Biology, ecology and management of diamondback moth. *Annual Review of Entomology* 38: 275-301.
- Talekar, N. S., H. C. Yang, S. T. Lee, B. S. Chen and L.Y. Sun. 1985. Annotated bibliography of diamondback moth. Asian Vegetable Research and Development Center. Shanhua, Taiwan. 469 p.
- Wang, X., V. Le, Y. Fang and Z. Zhang. 2004. Trap effect on capture of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) with sex pheromone lures in cabbage fields in Vietnam. *Applied Entomology and Zoology* 39(2): 303-309.
-

การใช้ของเสียจากการผลิตครั้งเม็ดเพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ 1.
ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและระยะเวลาการเก็บต่อ
คุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง

Use of Waste Material from Seedlac Production for Producing
Organic Fertilizer I. Effects of Drying Temperature and
Storage period on Properties of Lac Organic Fertilizer

ศิริรัตน์ ปากประโคน^{1/} และ ชูชาติ สันตทรัพย์^{1/*}
Sirirat Pakprakon^{1/} and Choochad Santasup^{1/*}

Abstract: The aim of this study was to evaluate the potential of utilizing waste material from seedlac processing as organic fertilizer. In this study two experiments were conducted at the Faculty of Agriculture, Chiang Mai University during May 2011-May 2012. In the first experiment, different drying temperature that ranged between 35-65°C were applied to fresh lac waste sediment to find an optimum temperature that affected minimum nutrients loss. Physical-chemical analysis of dried lac waste sediment, referred to as lac organic fertilizers (LOF) obtained from drying process and the fresh lac waste were performed for comparison. For the second experiment, The LOFs were stored at room temperature for six months and samples of LOF were taken at one month intervals for their properties analysis. The result showed that the optimal temperature for lac waste sediment drying was about 45-55°C. The loss of organic matter and nitrogen content after sediment lac drying was observed at temperature higher than 55°C lower than 45°C. Ammonium nitrogen was the main nutrient that loses 47 and 72%, respectively, but phosphorus was only slightly affected by drying. Six-months storage of the lac organic fertilizers (drying 55°C, 10 ±1% moisture content) resulted in a decrease in pH, 1.4-1.9 pH unit in comparison with the beginning. Results from this study indicated that the dried lac waste sediment had a high potential for agricultural utilization.

Keywords: Lac waste sediment, Lac organic fertilizer, properties, effect of drying temperature, storage

^{1/} ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

^{1/} Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

* Corresponding author: E-mail address: santasup@gmail.com

บทคัดย่อ: การศึกษาศักยภาพของการใช้ตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตครั้งเม็ด เพื่อนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ ได้ดำเนินการที่คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งตะกอนครั้งต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง โดยใช้อุณหภูมิระหว่าง 35-65 องศาเซลเซียส ในการอบ แล้วจึงนำตะกอนครั้งแห้งที่ได้ (ปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง) มาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ เปรียบเทียบกับคุณสมบัติของตะกอนครั้งก่อนอบแห้ง ในการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง โดยนำปุ๋ยอินทรีย์ครั้งที่ได้จากการอบแห้งมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องที่แล้วทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั้งทุกเดือน เป็นระยะเวลา 6 เดือน จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งตะกอนครั้ง ควรอยู่ระหว่าง 45-55 องศาเซลเซียส การใช้ความร้อนสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส และต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้สูญเสียอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจน โดยเฉพาะไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมที่สูญเสียถึงร้อยละ 47 และ 72 ตามลำดับ แต่อุณหภูมิของการอบแห้ง มีผลต่อการลดลงของฟอสฟอรัสเพียงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ครั้งที่ได้จากการอบแห้งที่ 55 องศาเซลเซียส ที่มีปริมาณความชื้นประมาณ 10 ± 1 เปอร์เซ็นต์ ไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 6 เดือน ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดต่างของปุ๋ยอินทรีย์ครั้งลดต่ำลง 1.4-1.9 หน่วย จากค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้น จากข้อมูลการศึกษาข้างต้นชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์ครั้งที่ได้จากการอบแห้ง มีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรได้

คำสำคัญ: ตะกอนครั้ง ปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง คุณสมบัติ ผลของอุณหภูมิการอบแห้ง การเก็บรักษา

คำนำ

ประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก ซึ่งในแต่ละปีจึงมีวัสดุเหลือทิ้งเป็นปริมาณค่อนข้างสูง จึงเป็นปัญหาในการกำจัดวัสดุของเสียเหล่านั้น หากมีการรวบรวมวัสดุอินทรีย์ดังกล่าวมาผ่านกระบวนการจัดการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ก็สามารถนำกลับมาใช้สำหรับปรับปรุงดินได้ เนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มักมีธาตุอาหารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น กากตะกอนจากโรงกรองน้ำประปา ส่วเหล้าจากโรงงานผลิตสุรา โรงงานน้ำอัดลม เป็นต้น (ธงชัย, 2550) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าว จะมีระบบการกำจัดของเสียที่ถูกต้องและมีการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้แล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้หลายวิธี และวิธีหนึ่งที่พบว่าเหมาะสำหรับการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นสารอินทรีย์ คือ การทำปุ๋ยหมัก และการทำแห้ง/อบแห้ง เช่น การศึกษาของ วิษณุพงศ์ และคณะ (2552) ที่ทำปุ๋ยหมักร่วมจากเศษอาหารและกากของเสียของโรงงานผลิตสารให้ความหวานที่ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างกากของเสียต่อเศษอาหารในอัตราส่วนดังต่อไปนี้ 0:100, 10:90, 20:80, 30:70 และ

40:60 ทำการหมักเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์ พบว่าปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ในปุ๋ยหมักร่วมทั้ง 5 อัตราส่วน มีปริมาณอยู่ในช่วง 1.54-8.05, 0.18-0.48 และ 0.0538-0.1026 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของไมตรี (2551) ที่ศึกษาปริมาณธาตุอาหารพืชในสารละลายที่ได้จากการหมักวัสดุอินทรีย์ 5 ชนิด คือ ผลไม้ เศษอาหาร สัตว์ทะเล หัวปลาล และ วัชพืช โดยใช้จุลินทรีย์จาก 4 แหล่ง คือ เชื้อจุลินทรีย์มูลนิคิเว เชื้อจุลินทรีย์จากกรมพัฒนาที่ดิน เชื้อจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ และ เชื้อจุลินทรีย์ตามธรรมชาติจากการเพาะเลี้ยง โดยใช้น้ำมะพร้าวและสับปะรด หลังจากทำการหมักเป็นเวลา 40 วัน แล้วกรองเอาน้ำมาวัดปริมาณธาตุอาหารพบว่า สารละลายจากเชื้อจุลินทรีย์กรมพัฒนาที่ดิน ให้ปริมาณรวมของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองสูงสุด 2.19 และ 0.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนั้นยังให้ปริมาณจุลธาตุอาหารสูงสุดและมีต้นทุนต่ำสุดอีกด้วย จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การกำจัดวัสดุเหลือทิ้งอินทรีย์ด้วยการทำปุ๋ยหมักมีข้อเสียคือต้องใช้ระยะเวลานาน เมื่อเทียบกับการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งอินทรีย์ด้วยการทำแห้ง ซึ่งการทำแห้งเหมาะสำหรับวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นกากตะกอนน้ำเสีย (sewage sludge) แต่มีข้อเสีย

หากทำแห้งด้วยการอบแห้งโดยใช้ความร้อนเนื่องจาก
จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม การอบแห้งวัสดุเหลือทิ้งที่เป็น
ของเสียประเภทกากตะกอนน้ำเสียก็เป็นวิธีที่สะดวก
รวดเร็ว อีกทั้งยังสะดวกในการขนส่งและการนำไปใช้
โรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั้งเม็ดก็เป็นอีกหนึ่ง
อุตสาหกรรมที่มีวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต
ซึ่งในกระบวนการผลิตครั้งเม็ดยังมีครั้งดิบจะถูกนำมาแยก
สิ่งเจือปนออก ด้วยการตำหรือบดครั้งให้แตกออกเป็นก้อน
หยาบ ๆ หลังจากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรง และนำเอา
ครั้งที่ได้ไปล้างน้ำ จากครั้งดิบ 100 กิโลกรัม จะผลิตครั้ง
เม็ดได้ 80 กิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2535) ทำให้
มีวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จำนวนมากถึง
ร้อยละ 20 ของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิต สำหรับน้ำที่
ใช้ในการล้างครั้ง ได้ผ่านการบำบัดโดยการแยกตะกอน
ออก ตะกอนครั้งส่วนใหญ่เป็นวัสดุอินทรีย์ ที่มี
ส่วนประกอบของโปรตีนจากซากครั้งและเศษไม้ วัสดุ
เหล่านี้ มีปริมาณธาตุอาหารมีคุณลักษณะเหมาะสมที่จะ
นำมาใช้ในการปรับปรุงดินได้ ซึ่งเห็นได้จากการศึกษา
คุณสมบัติเบื้องต้นของตะกอนของเสียจากกระบวนการ
ผลิตครั้งเม็ด พบว่ามีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน
ค่อนข้างสูง (3.4-3.8 %N) ทำให้เกิดแนวคิดที่จะนำวัสดุ
เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตครั้งเม็ด มาใช้เพื่อเป็น
วัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยการอบแห้งด้วยตู้อบลม
ร้อน เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วและเหมาะสมกับ
การกำจัดวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นสารอินทรีย์ประเภทกาก
ตะกอนน้ำเสียการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นอินทรีย์
ดังกล่าวเป็นการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
อย่างคุ้มค่า รวมทั้งเป็นการช่วยป้องกันมลภาวะที่เกิดจาก
วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาศักยภาพของการใช้ตะกอนของเสีย
จากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั้งเม็ดเพื่อนำมาผลิต
เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ดำเนินการที่คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ.
2554 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 โดยแบ่งการศึกษา

ทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาผลของ
อุณหภูมิที่ใช้อบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของ
ปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง และขั้นตอนที่ 2 ศึกษาผลของระยะเวลา
การเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการ
ของปุ๋ยอินทรีย์

**การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งต่อ
คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง:** การศึกษาผลของ
อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั้งต่อคุณสมบัติของ
ปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง โดยทำการหาปริมาณความชื้นของตะกอน
ครั้งก่อนอบ ได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์
(CRD) จำนวน 3 ซ้ำ และ 4 กรรมวิธีทดลอง คือ ใช้
อุณหภูมิตอบแห้งที่ 35, 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส โดย
ทำการชั่งตะกอนครั้งเปียก 0.5 กิโลกรัม ใส่ภาชนะทดลองที่มี
ขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร
จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ตาม
กรรมวิธีทดลอง ทำการสุ่มตัวอย่างตะกอนครั้งทุก 12
ชั่วโมง จนกระทั่งตะกอนครั้งแห้ง (ความชื้นประมาณ 10-
15 เปอร์เซ็นต์)

จากนั้นนำตะกอนครั้งที่ได้จากการอบทุก 12
ชั่วโมง มาวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักแห้งหลังอบ, ค่าความ
เป็นกรด-ด่าง (pH) (กรมวิชาการเกษตร, 2541), ปริมาณ
อินทรีย์วัตถุ (OM) (Nelson and Sommers, 1996) การ
วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก โดยใช้วิธีการย่อย
ตัวอย่างตะกอนครั้งด้วยกรดผสม (Conc. H_2SO_4 กับ
Selenium powder) สีของตะกอนครั้งที่ได้จากการย่อย
ด้วยกรดไม่รบกวนต่อการวิเคราะห์ปริมาณดังกล่าว
จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total
N) (Novozamsky *et al.*, 1974), ปริมาณฟอสฟอรัส
(P_2O_5) (วาสนา, 2548) ปริมาณโพแทสเซียม (K_2O)
(Helmke and Sparke 1996) และ วิเคราะห์ปริมาณ
อินทรีย์ไนโตรเจนที่มีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ ไนโตรเจนใน
รูปแอมโมเนียม (NH_4^+-N) (Novozamsky *et al.*, 1974)
และ ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรท (NO_3^-N) (Diatloff
and Rengl, 2001) โดยใช้วิธีการสกัดตะกอนครั้งด้วย KCl
2 N สีของสารสกัดตะกอนครั้งไม่รบกวนต่อการวิเคราะห์
ปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+-N) แต่สีของ
สารสกัดตะกอนครั้งรบกวนต่อการวิเคราะห์ปริมาณ
ไนโตรเจนในรูปไนเตรท (NO_3^-N) ดังนั้นจึงแก้ปัญหา

ดังกล่าวด้วยการทำตัวควบคุม โดยไม่เติมสารพัฒนาสีในตัวอย่างที่เป็นตัวควบคุม

การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครึ่ง: นำตะกอนครึ่งเปียกไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเหลือความชื้นประมาณ 10 ± 1 เปอร์เซ็นต์ แล้วจึงมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นบรรจุปุ๋ยอินทรีย์ครึ่งใส่ถุงพลาสติกจำนวน 4 ถุง ๆ ละ 1 กิโลกรัม และปิดปากถุงพลาสติกแล้วจึงนำไปปุ๋ยอินทรีย์ครึ่งไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) โดยปุ๋ยอินทรีย์ครึ่งในขณะเก็บรักษามีปริมาณความชื้นประมาณ 10 ± 1 เปอร์เซ็นต์ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา จากนั้นทำการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ครึ่งทุก 1 เดือน มาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ด้วยวิธีเช่นเดียวกับการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครึ่ง เป็นระยะเวลา 6 เดือน

ผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครึ่ง ได้ใช้ตะกอนครึ่งเปียกจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตครั้งเม็ดในการทดลอง และการศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ ได้ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครึ่งที่ผ่านการผลิตด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสมในการทดลอง ดังนั้นวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองที่ 1 และ 2 จึงมีคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

ผลของอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครึ่ง: จากการนำตะกอนครึ่งเปียกจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตครั้งเม็ด ซึ่งมีสมบัติบางประการก่อนการทดลองได้แก่ pH, OC, OM, Total N, C:N ratio, P_2O_5 , K_2O , NH_4^+-N และ NO_3^--N เท่ากับ 6.96, 35.92%, 61.93%, 3.46%, 10.38 0.42%, 0.20%, 6,969.17 mg/kg, 0.33mg/kg ตามลำดับ มาทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 35-65 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH, OC, OM, Total N, P_2O_5 และ NH_4^+-N ของตะกอน

ครึ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นปริมาณ C:N ratio, total K และ NO_3^--N ที่อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดังกล่าวเพียงเล็กน้อย อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งส่งผลอย่างมากต่อการลดลงของปริมาณ total N และ NH_4^+-N เมื่อเทียบกับคุณสมบัติของตะกอนครึ่งก่อนอบแห้ง โดยในตัวอย่างตะกอนครึ่งเปียกมีค่า total N และ NH_4^+-N เท่ากับ 3.46% และ 6,969.17 mg/kg ตามลำดับ การใช้อุณหภูมิต่ำ (35 องศาเซลเซียส) ในการอบแห้งตะกอนครึ่งส่งผลให้ OM, Total N และ NH_4^+-N ลดลงต่ำสุด เหลือเพียง 50.23%, 2.51% และ 1912.17 mg/kg ตามลำดับ และการใช้อุณหภูมิสูง (65 องศาเซลเซียส) ในการอบแห้งตะกอนครึ่งส่งผลให้ค่า pH และ P_2O_5 ลดลงต่ำสุดเหลือเพียง 5.99 และ 0.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าอุณหภูมิที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์ครึ่งโดยรวมน้อยที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือการอบแห้ง ด้วยอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีผลต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงปริมาณค่า pH, OC, OM, Total N, C:N ratio, P_2O_5 , K_2O , NH_4^+-N และ NO_3^--N เท่ากับ 6.54, 31.05%, 53.54%, 2.30%, 11.59, 0.35%, 0.18%, 3041.80 mg/kg และ 0.11 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครึ่ง: เมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์ครึ่งที่ผ่านการอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณความชื้นประมาณ 10 ± 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นกรรมวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์ครึ่งโดยรวมน้อยที่สุด คุณสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครึ่งก่อนการเก็บรักษา ได้แก่ pH, OC, OM, Total N, C:N ratio, P_2O_5 , K_2O , NH_4^+-N และ NO_3^--N ดังนี้ 6.66, 21.46, 37.70%, 3.76%, 5.82, 0.69%, 0.41%, 3817.71mg/kg, 0.22 mg/kg ตามลำดับ จากนั้นนำมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) โดยตรวจสอบคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครึ่งทุก 1 เดือน เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครึ่งที่เก็บรักษาตั้งแต่เดือนที่ 1-6 มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครึ่งก่อนทำการ

Table 1 Effects of drying temperature on properties of lac waste

Treatment	drying time (hour)	Properties of lac waste								
		pH	OC (%)	OM (%)	total N (%)	C:N ratio	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)
1. FLWS ^{2/} (67.40)	0	6.96	35.92	61.93	3.46	10.38	0.42	0.20	6969.17	0.26
2. 35°C (10.96) ^{3/}	108	6.44 ^{b1/}	29.13 ^b	50.23 ^b	2.51 ^b	11.61	0.34 ^b	0.17	1912.17 ^c	0.13
3. 45°C (11.58)	60	6.08 ^c	30.99 ^a	53.44 ^a	2.67 ^a	11.61	0.33 ^{ab}	0.17	3030.10 ^b	0.14
4. 55°C (11.36)	36	6.54 ^a	31.05 ^a	53.54 ^a	2.68 ^a	11.59	0.35 ^a	0.18	3041.80 ^b	0.13
5. 65°C (10.00)	24	5.99 ^d	29.43 ^b	50.74 ^b	2.54 ^b	11.59	0.30 ^b	0.18	3297.25 ^a	0.14
LSD (0.05)	-	0.03	0.52	0.91	0.50	ns	0.03	ns	63.40	ns
%CV	-	0.32	1.14	1.14	1.17	0.00	6.07	6.94	1.46	11.92

^{1/} Means within same column followed by different superscript are significantly different at P≤0.05

^{2/} Fresh lac waste sediment without drying

^{3/} Moisture

ns non significant

เก็บรักษา ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และ NH₄⁺-N โดยค่า pH เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในเดือนที่ 3 จนกระทั่งลดลงต่ำสุดในเดือนที่ 6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.67 มีการลดลงจากค่าเริ่มต้นคิดเป็นร้อยละ 29.88 สำหรับปริมาณ NH₄⁺-N ถึงแม้ระยะการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ครั้งจะส่งผลต่อการลดลงของปริมาณ NH₄⁺-N อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณ NH₄⁺-N จากการวิเคราะห์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในเดือนที่ 3 จนกระทั่งลดลงต่ำสุดในเดือนที่ 6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3447.54 mg/kg มีการลดลงจากค่าเริ่มต้นคิดเป็นร้อยละ 10 และระยะของการเก็บรักษาได้ส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั้งเมื่อเทียบกับคุณสมบัติก่อนการเก็บรักษา ได้แก่ ปริมาณ OM, total N, C:N ratio, P₂O₅, K₂O, NH₄⁺-N และ NO₃⁻-N (ตารางที่ 2)

ผลและวิจารณ์

ผลของอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง: จากการอบแห้งตะกอนครั้งเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง ด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่าง 35-65 องศาเซลเซียส ได้ส่งผลกระทบต่อ

คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในปริมาณ total N และ NH₄⁺-N การใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 55 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส ในการอบแห้งส่งผลให้ปริมาณ total N ลดลงเหลือเพียง 2.51 เปอร์เซ็นต์ หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 30 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนอบแห้ง ซึ่งการลดลงของปริมาณ total N เป็นผลโดยตรงจากการลดลงของ NH₄⁺-N โดยปริมาณ NH₄⁺-N มีแนวโน้มลดลงต่ำสุดเหลือเพียง 1,912.17 mg/kg หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิที่ต้องใช้ระยะเวลาในการอบนานขึ้น ทำให้มีโอกาสสูญเสียเพิ่มขึ้นซึ่งอาจมีผลมาจากการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแก๊ส NH₃ โดยกระบวนการ ammonia volatilization ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีปัจจัยคืออุณหภูมิและความชื้นสูง (อรรณ, 2551) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Vlek and Stumpe (1978) พบว่าการระเหยของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 0-46 องศาเซลเซียส การระเหยของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์ ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส การเพิ่มอุณหภูมิ มีผลทำให้อัตราส่วนของแอมโมเนียม เปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งตะกอนครั้ง

Table 2 Effects of lac organic fertilizer storage on chemical properties (moisture 10 ±1%)

Period (Month)	Properties of lac organic fertilizer							
	pH	OM (%)	total N (%)	C:N ratio	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)
0	6.66 ^{a1/}	37.70	3.76	5.82	0.69	0.41	3817.71	0.22
1	5.23 ^b	37.16	3.76	5.79	0.64	0.40	3785.64	0.21
2	5.23 ^b	37.24	3.74	6.09	0.61	0.40	3670.25	0.21
3	4.72 ^c	37.70	3.73	5.87	0.60	0.40	3518.33	0.22
4	4.71 ^c	36.61	3.74	5.68	0.62	0.41	3473.88	0.20
5	4.70 ^{cd}	36.78	3.73	5.72	0.61	0.40	3406.99	0.21
6	4.67 ^d	36.63	3.71	5.73	0.60	0.40	3447.54	0.20
LSD (0.05)	0.04	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	0.48	6.64	9.83	14.99	11.60	10.36	7.90	60.10

^{1/} Means within same column followed by different superscript are significantly different at $P \leq 0.05$

^{ns} non significant

เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์นั้น ควรอยู่ระหว่าง 45-55 องศาเซลเซียส เนื่องจากการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ส่งผลน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง แต่อย่างไรก็ตาม การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั้งด้วยการหมักวิธีอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสม ซึ่งใช้ระยะเวลาในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ผลของระยะการเก็บรักษา ต่อสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง: จากการนำปุ๋ยอินทรีย์ครั้งที่ผ่านมาการอบแห้งในตู้อบร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณความชื้นประมาณ 10 ±1 เปอร์เซ็นต์ มาเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าระยะการเก็บรักษาส่งผลให้ปริมาณค่า pH และ NH₄⁺-N มีแนวโน้มลดลง การลดลงของค่า pH ควบคู่กับการลดลงของ NH₄⁺-N อาจเกิดจากการ oxidize ของ NH₄⁺-N ไปเป็น NO₃⁻-N โดยกระบวนการ nitrification แต่ NO₃⁻-N ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงอาจเป็นไปได้เช่นกันว่า NH₄⁺-N และ/หรือ NO₃⁻-N เกิดกระบวนการ immobilization (อรวรรณ, 2551) อย่างไรก็ตามค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5.5-8.5 (จิตพิพงษ์, 2548) สำหรับปริมาณ NH₄⁺-N ที่มีแนวโน้มลดลง มีผลจากปริมาณความชื้นเพียงเล็กน้อยขณะการเก็บรักษา ซึ่งอาจเกิดจากการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย

NH₃ โดยกระบวนการ ammonia volatilization (อรวรรณ, 2551) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ครั้งในระยะเวลาที่นานมากกว่า 6 เดือน ควรมีการผสมปูนโดโลไมท์ลงไปในปุ๋ยอินทรีย์ครั้งด้วย เพื่อลดความเป็นกรดของปุ๋ยอินทรีย์ครั้งที่เกิดขึ้นได้

สรุป

วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั้งเม็ด มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั้งด้วยกรรมวิธีอบแห้งเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงระหว่าง 45-55 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 55 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส ในการอบแห้งจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั้งได้ โดยเฉพาะปริมาณ Total N ที่ลดลงเหลือเพียง 2.51 เปอร์เซ็นต์ หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 30 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนอบแห้ง ซึ่งเกิดจากการลดลงของไนโตรเจนเกิดการลดลงของ NH₄⁺-N ที่มีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,912.17 mg/kg หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการอบแห้ง ดังนั้นการอบแห้งตะกอนครั้งเปียก ด้วยอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส จึงเป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมที่สุด

ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของตะกอนครั้งเพียงเล็กน้อย ทั้งยังเป็นกรรมวิธีที่ประหยัดพลังงานและใช้เวลาน้อยในการอบแห้ง สำหรับระยะในการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง ไม่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ย ยกเว้นค่า pH ของปุ๋ยที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งมีค่าลดลงต่ำสุด เท่ากับ 4.67 หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา ดังนั้นภายหลังการผลิต อาจมีการเติมปูนโดโลไมท์ลงไป ในปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง เพื่อลดความเป็นกรดของตัวปุ๋ยเมื่อต้องเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานาน สำหรับอัตราของปูนโดโลไมท์ที่จะผสมลงไป ในปุ๋ยเพื่อลดความเป็นกรดของปุ๋ยอินทรีย์ครั้งนั้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาอัตราที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาก็เพื่อที่จะนำเศษวัสดุของเสียที่ได้จากการผลิตครั้งเม็ด มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดทางด้านการเกษตรต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท เอทีอี มาสตาเก (ประเทศไทย) จำกัด ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และพื้นที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณผู้ร่วมโครงการวิจัย ที่ช่วยเก็บรวบรวมข้อมูล ประมวลผล และอำนวยความสะดวก

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2541. คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ย. กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
กรมส่งเสริมการเกษตร. 2535. การเพาะเลี้ยงครั้ง. กรมส่งเสริมการเกษตร. 32 หน้า.
ธงชัย มาลา. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. ภาควิชาปฐพี ศาสตร์ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 300 หน้า.

ธิตินพงษ์. 2548. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2458. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://law.longdo.com/law/376/sub25312#_ftn1 (13 มีนาคม 2557)
ภัทรวรรณ อารวรรณ์ และ ชวาลภาฤทธิ์. ไม่ระบุปีที่พิมพ์. การใช้ตะกอนชีวภาพจากกระบวบับน้ำเสีย โรงงานผลิตโอเลฟินส์เป็นวัสดุผลิตปุ๋ยหมักร่วม. การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9. 8 หน้า
มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพิษณุโลก. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 184 หน้า.
ไมตรี แก้วทับทิม. 2551. ปริมาณธาตุอาหารพืชในสารละลายที่ได้จากการหมักวัสดุอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ. วารสารเกษตร 24(3) : 233-244
วาสนา ยุวดี. 2548. คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. สำนักวิจัย พัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
วิญญูพงศ์ เกลี้ยงช่วย ไกรชาติ ต้นตระกูลธนาภา ธนาศรี สีหะบุตร สุเทพ ศิลปานันท์กุล และ พิเศษฐ์ วัฒนสมบุญ. 2552. การผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากเศษอาหารและกากของเสียของโรงงานผลิตสารให้ความหวาน. วารสารสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ 7(1): 74-83.
อรรวรรณ์ ฉัตรสิริรุ่ง. 2551. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน่วยพิมพ์และผลิตเอกสาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 253 หน้า.
Diatloff. E. and Z. Rengel. 2001. Compilation of simple spectrophotometric techniques for the determination of elements in nutrient solutions. Journal of Plant Nutrition 24(1): 75-86.

- Nelson. D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In*: Sparks D. L., A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston and M. E. Summers. SSSA. Book Series: 5 Method of Soil Analysis Part 3 Chemical Method. SSSA. USA. pp. 1123-1139.
- Helmke. P. A. and L. Sparks. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. *In*: Sparks, D. L., A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston and M. E. Summer. SSSA. Book Series: 5 Method of Soil Analysis Part 3 Chemical Method. SSSA. USA. pp. 551-574.
- Novozamsky. I., R. van Eck., J. Ch. 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.
- Vlek, P. L. G. and J. M. Stumpe. 1978. Effect of solution chemistry and environmental conditions in ammonia volatilization from aqueous system. Journal of Soil Science 42: 416-421
-

การใช้น้ำออกซิไดซ์ที่ผ่านการแยกด้วยไฟฟ้าในการควบคุมเชื้อแบคทีเรียเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักอินทรีย์

Using Electrolyzed Oxidizing Water in Controlling Bacteria for Prolonging Storage-life of Organic Vegetables

วันวิสา เตชะวงศ์^{1/} และ เกวลิน คุณาศักดากุล^{1/*}

Wanwisa Techawong^{1/} and Kaewalin Kunasakdakul^{1/*}

Abstract: The purpose of this study was to examine the effects of electrolyzed oxidizing water (EO water) on reduction of rot disease in organic vegetables. EO water was produced in various concentrations of NaCl at 0.00625, 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 percent. Then the free chlorine concentrations and pH values were measured in the range of 0.40-137.00 ppm and 3.65-4.11, respectively. While the electrolyte conductivity (EC) showed in the range of 0.49-6.23 mS/cm. *Erwinia carotovora*, bacterial pathogens of soft rot disease were isolated from Chinese cabbage and were used for inhibitory effect trials of EO water. Bacterial suspension cells were soaked for 1 and 5 min into each concentration of EO water. After incubated on NA medium for 24-48 hrs., results showed that the bacterial growth was completely inhibited except the trial of EO water at concentration of 0.00625 percent which was found very few colonies grew up. In addition, magnification observed on the bacterial cell size, revealed that those the EO treated trials showed smaller size than in the control (distilled water) treatment, except in the concentrations of 0.00625 and 0.0125 percent. Applications of various concentrations of EO water for reduction of soft rot disease were done on organic vegetables (Chinese cabbage and Cos lettuce) and the results showed that the 0.3 percent EO treatment was the best to reduce soft rot incident. Then, soft rot inhibitory effect of EO water at 0.3 percent was compared to other disinfectants; Ozone water (0.02 percent), potassium permanganate (0.05 g/l), sodium bicarbonate (2.5 g/l) and chlorinated water (0.02 percent). The results revealed that EO water could reduce soft rot disease and prolong shelf-life of organic vegetables (Chinese cabbage and Cos lettuce) better than other disinfectant solutions.

Keywords: Prolonging shelf-life, electrolyzed oxidizing water (EO water), organic vegetables

^{1/} ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

^{1/} Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

* Corresponding author: E-mail address: kaewalin.k@cmu.ac.th

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อตรวจสอบผลของน้ำออกซิไดซ์ที่ผ่านการแยกด้วยไฟฟ้า (electrolyzed oxidizing water: น้ำ EO) ต่อการลดการเกิดโรคเน่าและเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผักอินทรีย์ โดยการผลิตน้ำ EO ด้วยเครื่อง Super Oxseed Labo ที่เตรียมได้จากสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ระดับความเข้มข้น 0.00625, 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าน้ำ EO มีค่าความเข้มข้นของคลอรีนอิสระอยู่ในช่วง 0.40-137.00 ppm และมีค่า pH ระหว่าง 3.65-4.11 เมื่อวัดค่าความสามารถในการแตกตัวของสารละลาย (electrolyte conductivity; EC) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.49-6.23 mS/cm เมื่อนำเซลล์แขวนลอยของเชื้อแบคทีเรีย *Erwinia carotovora* ที่แยกได้จากอาการเน่าและของผักกาดขาวปลี แช่น้ำ EO ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 1 และ 5 นาที หลังจากบ่มเชื้อบนอาหาร NA เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าเชื้อแบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ทุกกรรมวิธี คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้น 0.00625 เปอร์เซ็นต์ ที่พบโคโลนีของแบคทีเรียเจริญบนจานอาหารจำนวนน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าเซลล์ของแบคทีเรียที่แช่ร่วมกับน้ำ EO ทุกความเข้มข้นมีขนาดเล็กลง ยกเว้นความเข้มข้น 0.00625 และ 0.0125 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ และจากการคัดเลือกระดับความเข้มข้นของน้ำ EO ที่นำมาใช้ในการตัดโคนและรอยตัดของผักอินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ ผักกาดกวางตุ้งและผักกาดหวาน พบว่าที่ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์สามารถลดการเกิดโรคเน่าและของผักได้ดีที่สุด โดยไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษกับพืช และเมื่อนำน้ำ EO ความเข้มข้นดังกล่าวมาประยุกต์ใช้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดโรคเน่าและกับกับสารฆ่าเชื้อชนิดอื่น ๆ ได้แก่ น้ำไอโซน (ความเข้มข้น 0.02 เปอร์เซ็นต์) น้ำผสมด่างทับทิม (อัตราส่วน 0.05 กรัมต่อลิตร) น้ำผสมผงฟู (อัตราส่วน 2.5 กรัมต่อลิตร) และน้ำผสมคลอรีน (ความเข้มข้น 0.02 เปอร์เซ็นต์) พบว่าสามารถลดการเกิดโรคเน่าและและยืดอายุการเก็บรักษาผักกาดกวางตุ้งและผักกาดหวานได้ดีกว่าสารฆ่าเชื้อที่นำมาทดสอบ ยกเว้นผักกาดฮ่องเต้เล็กที่พบว่าการใช้น้ำผสมคลอรีนได้ผลดีที่สุด

คำสำคัญ: ยืดอายุการเก็บรักษา น้ำออกซิไดซ์ที่ผ่านการแยกด้วยไฟฟ้า ผักอินทรีย์

คำนำ

การผลิตและการตลาดของเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทยมีแนวโน้มเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ยังคงพบปัญหาความสูญเสียของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะในพื้นที่เขตร้อนซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการตลาดของผลิตผลเหล่านี้โดยตรง พบว่าความเสียหายที่เกิดกับผักในระหว่างการขนส่งและการวางจำหน่ายเป็นจำนวนมาก จากการประเมินมูลค่าความเสียหายของผักสดหลังการเก็บเกี่ยวและการขนส่ง โดยผู้ประกอบการคิดเป็นประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าโดยรวมหรือประมาณ 10,000 ล้านบาทต่อปี (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2556) โดยมีจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถเข้าทำลายผลิตผลและก่อให้เกิดความเสียหายในระหว่างกระบวนการดังกล่าว ทำให้ผลิตผลที่ถูกเชื้อเข้าทำลาย

เกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็ว การหาแนวทางใหม่ในการควบคุมโรคเพื่อลดหรือหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี เช่น การนำน้ำออกซิไดซ์ที่ผ่านการแยกด้วยไฟฟ้าซึ่งมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิด และมีการทดสอบแล้วว่าไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เนื่องจากไม่มีสารพิษตกค้างในผลผลิตและสภาพแวดล้อม (Sakurai *et al.*, 2003) จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความเข้มข้นของเกลือในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นต่ำสุด ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเน่าหลังการเก็บเกี่ยวของพืชผักในหองปฏิบัติการ รวมถึงทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการยับยั้งการเกิดโรคบนผักและยืดอายุการเก็บรักษา เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมและทดแทนการใช้สารเคมีในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การแยกเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเน่าและ (soft rot) ของผัก

สำรวจและเก็บตัวอย่างผักตระกูลกะหล่ำ ได้แก่ ผักกาดขาวปลี ผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดฮ่องเต้ และ คื่นห่าน ที่แสดงอาการเน่าและจากร้านขายผักในท้องตลาด อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ นำมาแยกเชื้อแบคทีเรีย โดยวิธี cross streak โดยใช้ loop เผลาไฟรอให้เย็นกดปลาย loop ลงที่ชั้นพีช ก่อนนำไปลากลงไปในหน้าอาหาร Nutrient Agar (NA) บ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง คัดเลือกโคโลนีเดี่ยวของเชื้อแบคทีเรียมาเพิ่มปริมาณบนอาหารเดิมให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ จากนั้นนำเชื้อแบคทีเรียที่ได้มา cross streak บนอาหาร NA และ Endo-Agar บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจสอบลักษณะการเจริญเติบโต รูปร่างและสีของโคโลนี ที่เจริญบนอาหารชนิดต่าง ๆ ทดสอบการทำปฏิกิริยากับ สารละลาย KOH 3 เปอร์เซ็นต์ การติดสีย้อมของแกรม และตรวจความสามารถในการทำให้เกิดโรคเน่าและด้วยวิธีปลูกเชื้อลงบนมันฝรั่ง แครอท แตงกวา และผักกาดขาว จากนั้นนำตัวอย่างที่แสดงอาการโรคเน่ามาแยกเชื้อในห้องปฏิบัติการ เพื่อยืนยันการเป็นเชื้อสาเหตุโรคตามกฎการพิสูจน์โรคของ Koch (Johnson and Case, 2013)

2. การเตรียมและการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำออกซิไดซ์ที่ผ่านการแยกด้วยไฟฟ้า

ผลิตน้ำออกซิไดซ์ที่ผ่านการแยกด้วยไฟฟ้าโดยใช้เครื่องผลิตยี่ห้อ SUPER OXSEED LABO (บริษัท Amano. Co., Yokohama, Japan) โดยใช้สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นดังนี้ 0.00625, 0.0125, 0.25, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากนั้นผ่านกระแสไฟฟ้า 110 โวลต์เป็นเวลา 15 นาที (จามรี และคณะ, 2553) นำน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด (electrolyzed oxidizing water; น้ำ EO) ที่ได้แต่ละความเข้มข้นส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าความสามารถในการแตกตัวของสารละลาย (electrolyte conductivity; EC) และค่าความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ (available free chlorine; AFC) เก็บน้ำ EO

แต่ละความเข้มข้นไว้ในภาชนะปิดที่ฆ่าเชื้อแล้ว (ขวด Duran) เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3. ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำ EO ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเน่าและ

นำเซลล์แขวนลอยของเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากการทดลองที่ 1 ความเข้มข้น 10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ EO แต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex แช่ไว้เป็นเวลา 1 และ 5 นาที จากนั้นนำเซลล์แขวนลอยเชื้อแบคทีเรีย ปริมาตร 200 ไมโครลิตรมา spread plate บนผิวหน้าอาหาร NA ส่วนชุดควบคุมใช้น้ำกลั่นฆ่าเชื้อแทน น้ำ EO บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตการเจริญและวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเชื้อแบคทีเรียภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

4. การประยุกต์ใช้น้ำ EO เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักอินทรีย์

4.1 การศึกษาผลความเข้มข้นเกลือของน้ำ EO

นำผักกาดหวานอินทรีย์ที่เก็บเกี่ยวจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่สะป๊อก อำเภอแม่วาง และ ผักกาดฮ่องเต้อินทรีย์จากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งเจิง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีขนาดต้นใกล้เคียงกัน ต้นสมบูรณ์ ไม่มีบาดแผล ไม่มีโรคและไม่มีแมลงทำลาย ตัดแต่งใบแก่และใบที่ซ้ำออก โดยไม่มีการล้างทำความสะอาด นำน้ำ EO แต่ละความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองที่ 2 มาล้างผักทั้งต้น นำผักวางผึ่งบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ แล้วจึงนำไปใส่ไว้ในกล่องพลาสติกใส สังเกตลักษณะความเป็นพิษต่อพืช ได้แก่ อาการใบช้ำและอาการเหลืองบนส่วนต่างๆ ของพืชทดสอบ

จากนั้นนำน้ำ EO ที่ระดับความเข้มข้นที่ไม่ก่อให้เกิดพิษกับพืชมาทำการทดสอบลดโรคเน่าและเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักอินทรีย์ โดยใช้สาลิจุ่มลงไปบนน้ำ EO แต่ละความเข้มข้น แล้วเด็ดเบา ๆ ที่บริเวณโคนและรอบรอยตัด และใช้น้ำผสมคลอรีนความเข้มข้น 0.02

เปอร์เซ็นต์ (U. S. Food and Drug Administration, 2001) เป็นชุดเปรียบเทียบ ระวังอย่าให้น้ำไหลเข้าไปในบริเวณชอกใบ นำผักวางผึ่งบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ แล้วจึงนำไปใส่ในถุงพลาสติกขนาด 25×30 เซนติเมตร ที่เจาะรูไว้แล้วจำนวน 18 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ถุงละ 4 ต้น ปิดปากถุงให้สนิท เพื่อให้มีลักษณะและสภาพแวดล้อมคล้ายกับการวางจำหน่าย และบันทึกลักษณะของผักก่อนการเก็บรักษา วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยแบ่งการทดลองเป็น 6 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ นำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3-4 วัน และอุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส บันทึกผลเปอร์เซ็นต์ จำนวนต้นที่เกิดอาการเน่าและและระยะเวลาการเก็บรักษา เพื่อคัดเลือกความเข้มข้นเกลือที่เหมาะสมที่สุดของน้ำ EO และนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำ EO กับสารฆ่าเชื้อชนิดต่าง ๆ ในการควบคุมโรคเน่าและ

นำผักกาดฮ่องเต้เล็กอินทรีย์ที่เก็บเกี่ยวจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงอินทนนท์ อำเภอจอมทอง ผักกาดกวางตุ้งอินทรีย์จากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งเริง อำเภอหางดง และผักกาดหวานอินทรีย์จากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่สะป๊อก อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีขนาดต้นใกล้เคียงกัน ต้นสมบูรณ์ ไม่มีบาดแผล ไม่มีโรคและไม่มีแมลงทำลาย นำมาตัดแต่งเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.1 โดยไม่มีการล้างทำความสะอาดผลิตผล จากนั้นนำไปแช่โคนและรอยตัด โดยวิธีการใช้สาลี่จุ่มลงในน้ำสารละลายฆ่าเชื้อชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำไอโซน (ความเข้มข้น 0.02 เปอร์เซ็นต์) น้ำผสมต่างทับทิม (อัตราส่วน 0.05 กรัมต่อลิตร) น้ำผสมผงฟู (อัตราส่วน 2.5 กรัมต่อลิตร) และน้ำผสมคลอรีน (ความเข้มข้น 0.02 เปอร์เซ็นต์) เปรียบเทียบกับน้ำ EO ความเข้มข้นที่คัดเลือกได้จากข้อ 4.1 โดยแช่เบา ๆ ที่บริเวณโคนและรอยตัด ระวังอย่าให้น้ำไหลเข้าไปในบริเวณชอกใบ นำผักวางผึ่งบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ แล้วจึงนำไปใส่ในถุงพลาสติก จากนั้นปิดปากถุงให้สนิทด้วยเทปกาวยึดติดผัก เพื่อให้มีลักษณะและสภาพแวดล้อมคล้ายกับการวางจำหน่าย วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยแบ่งการทดลองเป็น 6 กรรมวิธี ๆ ละ 9 ซ้ำ ตามกรรมวิธีดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่มีการล้างและแช่ผลิตผล)
- กรรมวิธีที่ 2 การแช่ด้วยน้ำไอโซน (ความเข้มข้น 0.02 เปอร์เซ็นต์)
- กรรมวิธีที่ 3 การแช่ด้วยน้ำ EO (ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์)
- กรรมวิธีที่ 4 การแช่ด้วยน้ำผสมต่างทับทิม (อัตราส่วน 0.05 กรัมต่อลิตร)
- กรรมวิธีที่ 5 การแช่ด้วยน้ำผสมผงฟู (อัตราส่วน 2.5 กรัมต่อลิตร)
- กรรมวิธีที่ 6 การแช่ด้วยน้ำผสมคลอรีน (ความเข้มข้น 0.02 เปอร์เซ็นต์)

บันทึกผลเปอร์เซ็นต์จำนวนต้นที่เกิดอาการเน่าและและระยะเวลาการเก็บรักษา เปรียบเทียบผลของสารละลายฆ่าเชื้อชนิดต่าง ๆ กับชุดควบคุมที่ไม่มีการล้างและแช่ผลิตผล

ผลและวิจารณ์

1. การแยกเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเน่าและ (soft rot) ของผัก

จากการแยกเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคเน่าและของผักกาดขาวปลี นำไปศึกษาลักษณะการเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อพบว่า เชื้อที่เจริญบนอาหาร Endo-Agar มีโคโลนีสีแดงเข้มเหลืองโลหะ (metallic sheen) รูปร่างกลม พื้นผิวของโคโลนีเป็นเมือกเยิ้มและเหลืองแสง เมื่อตรวจดูลักษณะของเชื้อภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่า รูปร่างของเชื้อเป็นแบบท่อนสั้น ไม่สร้างสปอร์ ขนาดประมาณ 0.5-1.0×1.0-2.0 ไมครอน ซึ่งเป็นลักษณะของแบคทีเรีย *Erwinia carotovora* (วิลลาร์ธ, 2551) เมื่อนำไปทดสอบการติดสีย้อมของแกรม แบคทีเรียจะติดสีแดงของ safranin-O และเมื่อทดสอบการทำปฏิกิริยากับสารละลาย KOH 3 เปอร์เซ็นต์ เชื้อแบคทีเรียเป็นเมือกเหนียวติดขึ้นมากับปลาย loop จึงพิสูจน์ได้ว่าเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้เป็นแบคทีเรียแกรมลบ และเมื่อนำทดสอบความสามารถในการก่อให้เกิดโรคกับพืชทั้ง 4 ชนิด พบว่าเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้ทำให้เกิดแผลเน่าและรุนแรงบนพืชที่นำมาทดสอบ แสดงให้เห็นว่าเชื้อ

E. carotovora สามารถก่อให้เกิดโรคเน่าและได้กับพืชอาศัยหลายชนิดโดยโรคจะเกิดขึ้นกับทุกส่วนของพืช จึงได้คัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรครุนแรง เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2. การเตรียมและการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำออกซิไดซ์ที่ผ่านการแยกด้วยไฟฟ้า

จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำ EO ที่ผลิตได้และเก็บไว้ในภาชนะปิดที่อุณหภูมิห้องพบว่าค่า pH ของน้ำ EO แต่ละความเข้มข้นมีค่าอยู่ในช่วง 4.11-3.65 และมีค่า EC อยู่ในช่วง 0.49-6.23 mS/cm โดยค่าที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเกลือ เช่นเดียวกับค่า AFC ที่เพิ่มขึ้นที่เพียงพอสำหรับการยับยั้งการเจริญหรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี (Hoon *et al.*, 2004) แต่ค่า pH, EC และค่า AFC ที่วัดได้นี้ไม่เสถียรและมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการดำเนินงาน กำลังไฟฟ้า ระยะเวลา ความเข้มข้น และชนิดของเกลือที่ใช้ (จามรี และคณะ, 2553) จึงทำให้คุณสมบัติของน้ำ EO จากแต่ละแหล่งการทดลองมีความแตกต่างกัน ดังรายงานของ Muhammad *et al.* (2002) ได้เตรียมน้ำ EO ขึ้นจากสารละลาย NaCl โดยผ่านกระแสไฟฟ้า 8-10 แอมแปร์ และ 9-10 โวลต์ตามลำดับ พบว่าค่า pH ของน้ำ EO อยู่ในช่วง 2.6-3.6 และค่า oxidation-reduction potential (ORP) เท่ากับ 1170 ± 20 มิลลิโวลต์ ชนัญชิตา และคณะ (2551) พบว่าการใช้ NaCl ที่เข้มข้นมากขึ้นทำให้มีค่า pH ต่ำลง และ

การใส่สารละลายเกลืออิมตัวโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเป็นเวลา 60 นาทีจะมีค่า pH 3.9 และค่าความเข้มข้นคลอรีนอิสระเท่ากับ 102 ppm

3. ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำ EO ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคเน่าและ

จากการศึกษาและทดสอบผลของน้ำ EO ต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. carotovora* โดยแช่เซลล์แขวนลอยของแบคทีเรียร่วมกับน้ำ EO ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าน้ำ EO ทุกความเข้มข้นสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้น 0.00625 เปอร์เซ็นต์ ที่พบโคโลนีของแบคทีเรียเจริญบนจานอาหารจำนวนน้อย สอดคล้องกับรายงานของ Hoon *et al.* (2004) พบว่าการใช้น้ำ EO ที่มีค่าความเข้มข้นเกลือที่สูงขึ้น และค่า pH ที่ต่ำลง จะสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli* O157:H7 และ *Listeria monocytogenes* ได้ดีขึ้นตามลำดับ นอกจากนั้นเมื่อตรวจดูเซลล์แบคทีเรียที่ผ่านการแช่ร่วมกับน้ำ EO ทุกความเข้มข้นที่ใช้ทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่ามีขนาดเล็กลงและติดสีย้อมน้อย ซึ่งแตกต่างกับชุดควบคุมอย่างชัดเจน ยกเว้นความเข้มข้น 0.00625 และ 0.0125 เปอร์เซ็นต์ ที่เซลล์แบคทีเรียมีลักษณะไม่แตกต่างจากชุดควบคุม (ภาพที่ 1) ทั้งนี้ Bearson *et al.* (1997) ได้อธิบายว่าสารอินทรีย์ที่มีสภาพเป็นกรดสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้เพราะละลายได้ในไขมัน เมื่อเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลายสารภายในเซลล์จะเกิดการรั่วไหลออกมา เซลล์แบคทีเรียจึงมีขนาดเล็กลงและติดสีย้อมได้น้อยลง

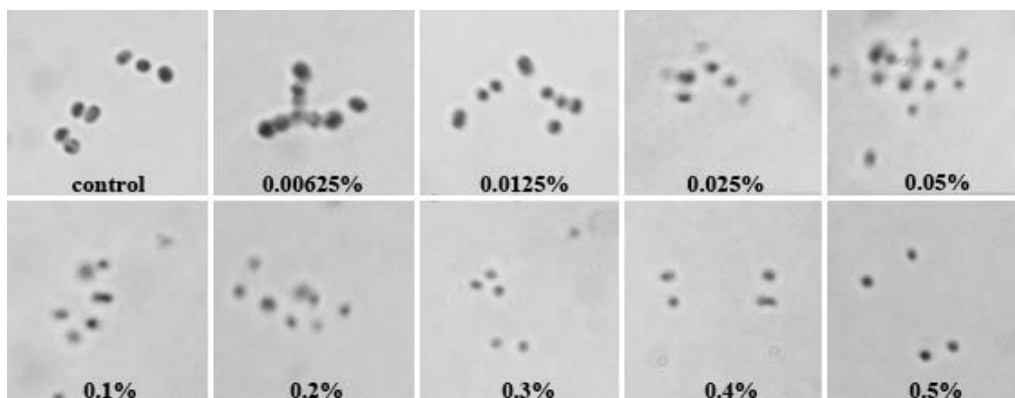


Figure 1 Safranin-O staining and decreasing in size of *Erwinia carotovora* cells after soaking in electrolyzed oxidizing water at various concentrations of sodium chloride

นอกจากนั้นยังทำให้กรด HOCl ซึมเข้าสู่ภายในเซลล์แบคทีเรียได้ง่ายขึ้น และไปมีผลยับยั้งกระบวนการ metabolism ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย โดยจะเกิดปฏิกิริยากับเซลล์ทำให้มีผลในการทำลายเซลล์แบคทีเรีย (Fuller, 1989)

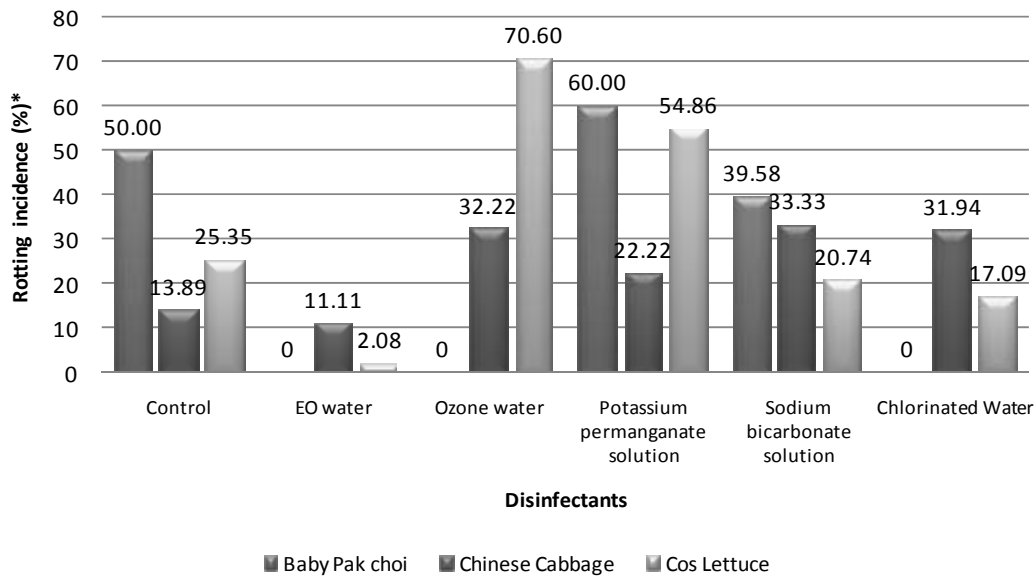
4. การประยุกต์ใช้น้ำ EO เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักอินทรีย์

4.1 การศึกษาผลความเข้มข้นเกลือของน้ำ EO

จากการทดสอบความเป็นพิษของน้ำ EO ที่ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยนำน้ำ EO แต่ละความเข้มข้นมาล้างผักทั้งต้น พบว่าความเข้มข้น 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ใบพืชแสดงอาการช้ำ หลังจากล้างด้วยน้ำ EO เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สอดคล้องกับงานวิจัยของสุจิตพรธน (2556) พบว่าน้ำ EO ความเข้มข้น 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ใบของต้นกล้าแตงกวาญี่ปุ่นเกิดอาการยอดไหม้ และเมื่อทำการทดลองเช็ดโคนและรอยตัดของผักกาดหวานอินทรีย์และผักกาดฮ่องเต้อินทรีย์ด้วยน้ำ EO ความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ใช้น้ำ EO และการเช็ดด้วยน้ำผสมคลอรีนความเข้มข้น 0.02 เปอร์เซ็นต์ พบว่าผักกาดหวานในทุกกรรมวิธีแสดงอาการเน่าและมีจุดสีน้ำตาลคล้ำบนใบ 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าน้ำ EO ไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักกาดหวานที่อุณหภูมิห้องได้ ซึ่งแตกต่างจากการทดลองในผักกาดฮ่องเต้ พบว่าทุกกรรมวิธีที่เช็ดด้วยน้ำ EO ไม่แสดงอาการเน่า แตกต่างจากชุดควบคุมที่แสดงอาการเน่าภายใน 2 วัน

4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำ EO กับสารฆ่าเชื้อชนิดต่าง ๆ ในการควบคุมโรคเน่าและ

จากการใช้น้ำ EO ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ เช็ดโคนและรอยตัดของผักอินทรีย์ เปรียบเทียบกับสารละลายฆ่าเชื้อชนิดต่าง ๆ พบว่าน้ำ EO สามารถป้องกันโรคเน่าและในผักกาดฮ่องเต้เล็กได้ดีมาก โดยไม่พบอาการเน่าหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งแตกต่างจากกรรมวิธีที่เช็ดด้วยน้ำผสมต่างทั้งหมื่นน้ำผสมผงฟู และชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ที่พบเปอร์เซ็นต์การเน่าเท่ากับ 60.00, 39.58 และ 50.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการทดลองในผักกาดกวางตุ้ง พบว่าการใช้น้ำ EO ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเท่ากับ 11.11 ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติจาก 13.89 เปอร์เซ็นต์ ของชุดควบคุม แต่แตกต่างจากการใช้น้ำไอโซน น้ำผสมผงฟู น้ำผสมคลอรีน และน้ำผสมต่างทั้งหมื่น ที่มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเท่ากับ 32.22, 33.33, 31.94 และ 22.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในการทดลองกับผักกาดหวานพบว่าน้ำ EO สามารถลดการเกิดโรคเน่าและได้ดีกว่าการใช้สารละลายฆ่าเชื้อชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเน่าและเพียง 2.08 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน (ภาพที่ 2) นอกจากนั้นยังพบว่าผักกาดกวางตุ้งและผักกาดหวานจะเน่าทั้งหมดภายใน 3 วัน หลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีเพียงผักกาดฮ่องเต้เล็กที่พบว่าหลังการทดลองเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4-5 วัน ในกรรมวิธีที่เช็ดด้วยน้ำไอโซนแสดงอาการเน่าทั้งหมดภายใน 4 วัน ขณะที่การเช็ดด้วยน้ำ EO และน้ำผสมคลอรีน สามารถชะลอการเน่าให้ช้าลงได้ โดยแสดงอาการเน่าทั้งหมดภายใน 5 วัน



*average of 4 replications

Figure 2 Rot incidences of 3 organic vegetables after wiping by disinfectant solutions comparing with 0.3 percent electrolyzed oxidizing water (EO water) and untreated control prior to store at room temperature (28°C) for 3 days

สรุป

น้ำ EO สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *E. carotovora* ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ หลังจากแช่รวมกับน้ำ EO ที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.0125, 0.25, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้น 0.00625 เปอร์เซ็นต์ ที่พบโคโลนีของแบคทีเรียเจริญบนจานอาหารจำนวนน้อย ซึ่งการประยุกต์ใช้น้ำ EO กับผักอินทรีย์ โดยทดลองล้างผักอินทรีย์ทั้งต้นด้วยน้ำ EO ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์มีความเป็นพิษต่อพืช ทำให้ใบพืชแสดงอาการซ้ำ แต่การใช้น้ำ EO ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ เช็ดโคนและรอยตัดของผักอินทรีย์ พบว่าจะสามารถลดเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเน่าและได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ระดับความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าการใช้น้ำ EO ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการเกิดโรคเน่าและของผักกาดฮ่องเต้เล็กได้มากที่สุด รองลงมาได้แก่ผักกาดหวาน และผักกาด

กวางตุ้ง และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักกาดฮ่องเต้เล็กได้เป็นเวลา 5 วัน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) โครงการวิจัยและพัฒนาการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพผลผลิตพืชผักในพื้นที่โครงการหลวง และพื้นที่ขยายผลโครงการหลวงที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย และโรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์มูลนิธิโครงการหลวงที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

จามรี เกติมา เกวลิน คุณาศักดากุล วิลาวัลย์ คำปวน และ เจริญ คุ่มสุภา. 2553. ผลของน้ำอ็อกซิไดซ์ต่อการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของ

- มะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว. รวบรวมผลงาน
โครงการที่ได้รับทุนโครงการ IRPUS ประจำปี
2552. หน้า 626. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล:
web.agri.cmu.ac.th/qa/intra/SAR/2553-
54/sms/.../2552/2552_16.pdf (14 พฤษภาคม
2556).
- ชนัญชิตา สิงคมณี กานดา หวังชัย และ จ่านง อุตยบุตร.
2551. การใช้โอโซนและน้ำอิเล็กโทรไลต์ในการ
ควบคุมเชื้อรา *Penicillium digitatum* ของส้ม
พันธุ์สายน้ำผึ้ง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร
39(3) พิเศษ: 257-260.
- วิลาวรรณ เชื้อบุญ. 2551. ลักษณะและการทดสอบ
ประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ควบคุม
เชื้อ *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*
สาเหตุโรคเน่าและของกะหล่ำดอก. วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 121 หน้า.
- ศุภยเทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2556. นวัตกรรม
ยืดอายุผักผลไม้บรรจุภัณฑ์ฉลาด. (ระบบ
ออนไลน์). แหล่งข้อมูล :
http://www.mtec.or.th/index.php/2013-05-
29-09-06-21/2013-05-29-09-39-49/84- (2
สิงหาคม 2557).
- สุจิตพรณ บุญมี. 2556. ผลของน้ำออกซิไดส์ที่ผ่านการ
แยกด้วยไฟฟ้าต่อการลดโรคราแป้งในพืชวงศ์
แตง. วารสารเกษตร (29)3: 257-266.
- Bearson, S., B. Bearson and J. W. Foster. 1997. Acid
stress responses in enterobacteria. pp. 135-
164. In: S. Salminen and A. Von Wright
(eds.). Lactic Acid Bacteria. Marcel Dekker,
Inc. New York.
- Fuller, R. 1989. Probiotics in human and animals.
Journal of Applied Bacteriology 66: 1430-
1434.
- Hoon, P., Y. C. Hung and D. Chung. 2004. Effects of
chlorine and pH on efficacy of electrolyzed
water for inactivating *Escherichia coli*
O157:H7 and *Listeria monocytogenes*.
Food Microbiology 91: 13-18.
- Johnson T. R. and C. L. Case. 2013. Koch's
Postulates. Laboratory experiments in
microbiology, Tenth Edition. 317-325.
(Online). Available:
http://www.learningace.com/doc/7755731/d
0da6c21dc5ca6eca71df599500bea97/40-
koch-s-postulates (August 18, 2014).
- Muhammad, I. A., Y. Seo, S. Oshits and Y. Kawagoe.
2002. Disinfection effects of electrolyzed
oxidizing water on suppressing fruit rot of
pear caused by *Botryosphaeria*
berengeriana. Food Research International
35: 657-664.
- Sakurai, Y. M., N. Y. Sato and K. Sato. 2003.
Endoscope contamination from HBV- and
HCV- positive patients and evaluation of a
cleaning/disinfecting method using strongly
acidic electrolyzed water. Digestive
Endoscopy 15: 19-24.
- U. S. Food and Drug Administration. 2001.
Microbiological safety of controlled and
modified atmosphere packaging of fresh
and fresh-cut produce. In Analysis and
Evaluation of Preventive Control Measures
for the Control and Reduction/Elimination of
Microbial Hazards on Fresh and Fresh-cut
Produce. (Online). Available:
http://www.fda.gov (June 3, 2014).

การยับยั้งอะฟลาทอกซิน บี 1 โดยการใช้สายพันธุ์ไม่ผลิต สารพิษของเชื้อรา *Aspergillus flavus*

Aflatoxin B1 Inhibition Using Atoxigenic *Aspergillus flavus* of Strains

กวินตรา ข่งขัน^{1/} ทศวรรต อะโนราช^{1/} พยุงศักดิ์ อินตะวิชา^{2/} สมชาติ ธนะ^{2/}
โชค ไสรัจกุล^{2/} และ ขรรค์ชัย ดันเมฆ^{1/*}

Kawintra Khangkhan^{1/}, Tosawat Anorach^{1/}, Payungsak Intawicha^{2/}, Somchart Thana^{2/},
Choke Sorachakula^{2/} and Khanchai Danmek^{1/*}

Abstract: The inhibition of aflatoxin B1 (AFB1) production by toxigenic strain of *Aspergillus flavus* was examined in the laboratory tests using four of atoxigenic *A. flavus* strains including *A. flavus* UPA01 UPA02 UPA03 and UPA04 isolated from maize crop producing areas in Phayao Province, Thailand. The experiment was conducted to find out the colony radial growth rate (*Kr*) of fungi on solid medium using Potato Dextrose Agar (PDA) and incubated at 30°C in the dark. The results showed that the *Kr* values of all *A. flavus* strains did not appeared significantly difference between *A. flavus* strains. The average *Kr* values of all each *A. flavus* approximately showed as 0.7 cm/day. For the quantities of aflatoxin, *A. flavus* spore suspension at concentration of 1×10^5 spore/ml was inoculated in modified yeasted glucose sucrose (mYES) at 30°C in the dark for 7 day. Toxigenic strain of *A. flavus* NRRL3357 produced and showed AFB1 value as 5.361 ± 259.10 ng/ml but all four atoxigenic strains of *A. flavus* did not produce aflatoxins (AFB1, AFB2, AF1 and AFG2). When *A. flavus* NRRL3357 was co-incubated with each four atoxigenic *A. flavus* strains in modified yeasted glucose (mYEG), all atoxigenic *A. flavus* strains significantly greater inhibited AFB1 from toxigenic *A. flavus* strain with more seventy percentage of inhibition. The kinetic parameters were expressed by Monod's equation. The specific growth rates (μ) of all *A. flavus* were similar. On the other parameter including specific glucose consumption rate (q_s), toxigenic strain of *A. flavus* NRRL3357 was the highest q_s value (0.22 mmol/g cell/hr) but it strain was reduced in q_s value when

^{1/} สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

^{1/} Program of Biotechnology, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao 56000

^{2/} สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

^{2/} Program of Animal Science, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao 56000

* Corresponding author: E-mail address: khanchai.da@up.ac.th

co-cultured with atoxigenic strains of *A. flavus*. The results indicated atoxigenic strains of *A. flavus* inhibited AFB₁ produced by toxigenic strain of *A. flavus* NRRL3357 with competitive exclusion of substrate (glucose) consumption.

Keywords: *Aspergillus flavus*, aflatoxin B₁, aflatoxin inhibition

บทคัดย่อ: การยับยั้งการผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน บี₁ (AFB₁) ของเชื้อรา *Aspergillus flavus* ได้ถูกทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้เชื้อรา *A. flavus* จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *A. flavus* UPA01 UPA02 UPA03 และ UPA04 ซึ่งเป็นชนิดเดียวกันแต่เป็นสายพันธุ์ที่ไม่ผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน คัดแยกได้จากดินบริเวณที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดพะเยา ประเทศไทย การทดลองเริ่มจากการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อราบนอาหารแข็ง (Kr) โดยใช้ Potato Dextrose Agar (PDA) และบ่มเลี้ยงเชื้อราที่อุณหภูมิ 30 °C ในที่มืด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสายพันธุ์ของเชื้อรา *A. flavus* ที่ใช้ทดสอบ ผลการทดลองพบว่าค่า Kr ของเชื้อรา *A. flavus* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ค่า Kr เฉลี่ยของเชื้อรา *A. flavus* มีค่าการเจริญ 0.7 ซม.ต่อวัน ในด้านการศึกษากำหนดการผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินทำได้โดยนำสปอร์ของเชื้อรา *A. flavus* ความเข้มข้น 1×10^5 สปอร์ต่อมล มาบ่มเลี้ยงในอาหารสูตร modified yeasted sucrose (mYES) เป็นเวลา 7 วันที่อุณหภูมิ 30 °C ในที่มืด เชื้อรา *A. flavus* NRRL3357 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินมีการผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน บี₁ คือ 5.361 ± 259.10 นกต่อมล ในขณะที่เชื้อรา *A. flavus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ที่ใช้ทดสอบไม่มีการผลิตอะฟลาทอกซิน (บี₁ บี₂ จี₁ และ จี₂) เมื่อนำไปเลี้ยงร่วมกันกับ *A. flavus* NRRL3357 ที่ผลิตอะฟลาทอกซินในอาหารสูตร modified yeasted glucose (mYEG) พบว่าเชื้อราทั้ง 4 สายพันธุ์นี้สามารถยับยั้งการผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน บี₁ ได้มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการศึกษากำหนดอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อราจะใช้สมการการศึกษาของ Monod ซึ่งพบว่าเชื้อรา *A. flavus* ที่นำมาทดสอบมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) ที่ใกล้เคียงกัน ในค่าอื่น ๆ เช่น อัตราการใช้สับสเตรทจำเพาะ (q_s) เชื้อรา *A. flavus* NRRL3357 มีค่า q_s มากที่สุด (0.22 mmol/g cell/hr) แต่จะลดลงเมื่อมีการเลี้ยงร่วมกับสายพันธุ์ที่ไม่ผลิตอะฟลาทอกซิน ซึ่งทำให้เห็นว่าเชื้อรา *A. flavus* สายพันธุ์ที่ไม่สร้างอะฟลาทอกซินจะไปยับยั้งการสร้างอะฟลาทอกซิน บี₁ จากเชื้อรา *A. flavus* NRRL3357 ได้โดยการแข่งขันการใช้สับสเตรทซึ่งคือน้ำตาลกลูโคส

คำสำคัญ: เชื้อรา *Aspergillus flavus* สารพิษอะฟลาทอกซิน บี₁ การยับยั้งสารพิษอะฟลาทอกซิน

คำนำ

อะฟลาทอกซิน (aflatoxins) เป็นสารประกอบทุติยภูมิที่มีความเป็นพิษและสารก่อมะเร็งที่สามารถพบได้ในธรรมชาติและในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ (Ehrlich and Cotty, 2004) โดยเฉพาะแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ถั่วลิสงและฝ้าย (Lillehoj *et al.*, 1974; Reddy *et al.*, 2007; Passone *et al.*, 2010) ประกอบไปด้วยอะฟลาทอกซิน 4 ชนิดหลัก คือ อะฟลาทอกซิน บี₁ บี₂ จี₁ และ จี₂ (AFB₁, AFB₂, AFG₁ และ AFG₂) (Klich, 2007) สำหรับสิ่งมีชีวิตหลักที่มีการผลิต อะฟลาทอกซิน คือ เชื้อราซึ่งมักจะผลิตอะฟลาทอกซินในระหว่างการเจริญเติบโต

ในธรรมชาติ เช่น เชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* section *Flavi* โดยเฉพาะ *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus parasiticus* ซึ่งเชื้อรา *A. flavus* จะเป็นเชื้อราที่มักก่อปัญหากับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรค่อนข้างมาก เพราะเป็นเชื้อราที่ผลิตอะฟลาทอกซินชนิดที่มีความเป็นพิษสูงและผลิตมาในปริมาณมาก คือ อะฟลาทอกซิน บี₁ (Reddy *et al.*, 2009) ดังนั้นถ้ามีการปนเปื้อนอยู่ในธรรมชาติจำนวนมากโดยเฉพาะในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะทำให้มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินดังกล่าวได้ ซึ่งจากรายงานของสำนักงานเกษตรจังหวัดพะเยา ในปี พ.ศ. 2556 พบว่าเป็นแหล่งปลูกและผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ติดอันดับ 1 ใน 20 จังหวัดแรก

ของประเทศไทยมาอย่างต่อเนื่อง มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดทั้งจังหวัดมากกว่า 300,000 ไร่ แม้ว่าในพื้นที่ปลูกข้าวโพดดังกล่าวจะเป็นพื้นที่ปลูกพืชไร่ที่มีโอกาสพบการปนเปื้อน *A. flavus* สายพันธุ์ที่มีการผลิต อะฟลาทอกซิน (toxigenic strains) (Ehrlich and Cotty, 2004) อย่างไรก็ตามในธรรมชาติยังสามารถพบเชื้อรา *A. flavus* ชนิดเดียวกันแต่เป็นสายพันธุ์ที่ไม่ผลิตอะฟลาทอกซิน (atoxigenic strains) แต่จะมีอัตราการพบที่น้อยกว่า (Mellon and Cotty, 1995) ซึ่งเมื่อนำไปศึกษาการเจริญพบว่าเชื้อรา *A. flavus* แต่ละสายพันธุ์มีอัตราการเจริญที่ แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ อาทิ เช่น สายพันธุ์ของเชื้อรา ค่า water activity อุณหภูมิและอาหารเลี้ยงเชื้อ เป็นต้น (Ramakrishna *et al.*, 1996) และเมื่อมีการเลี้ยงร่วมกันระหว่าง *A. flavus* สายพันธุ์ที่มีการผลิตอะฟลาทอกซิน กับเชื้อรา *A. flavus* ชนิดเดียวกันแต่เป็นสายพันธุ์ที่ไม่ผลิตอะฟลาทอกซิน พบว่าปริมาณอะฟลาทอกซินลดลง อย่างมีนัยสำคัญ จึงเป็นแนวทางให้ในต่างประเทศมีนักวิจัยหลายท่านได้คัดแยกหาเชื้อรา *A. flavus* สายพันธุ์ที่ไม่ผลิตอะฟลาทอกซินไปควบคุม *A. flavus* ได้เป็นผลสำเร็จ (Ehrlich and Cotty, 2004) แต่การนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยยังเป็นข้อจำกัดค่อนข้างมาก เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาการพบเชื้อราดังกล่าวนี้และนำไปใช้ประโยชน์มักมีการจดลิขสิทธิ์โดยหน่วยงานและนักวิจัยต่างชาติ ดังนั้นถ้ามีแนวทางในใช้เชื้อรา *A. flavus* สายพันธุ์ใหม่ไม่ผลิตอะฟลาทอกซินที่คัดแยกภายในประเทศไทยที่มีศักยภาพสูงในการยับยั้งเชื้อรา *A. flavus* สายพันธุ์ที่ผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินจะทำให้สามารถนำทรัพยากรของเชื้อรานี้ไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ลดการใช้สารเคมีและยาฆ่าเชื้อยาในการผลิตด้านการเกษตร การผลิตข้าว การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด และอาหารสัตว์ เป็นต้น ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้มีแนวทางที่นำเชื้อรา *A. flavus* สายพันธุ์ที่ไม่ผลิตอะฟลาทอกซิน ที่คัดแยกภายในประเทศไทยมาศึกษาการเจริญและการนำไปใช้ยับยั้งการผลิตอะฟลาทอกซินโดยเฉพาะอะฟลาทอกซิน ปี 1 จากเชื้อรา *A. flavus* สายพันธุ์ที่ผลิตอะฟลาทอกซิน

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อรา

ในการทดลองนี้ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อทั้งหมด 7 ชนิด ซึ่งมีส่วนประกอบและรายละเอียดในการเตรียมดังต่อไปนี้ คือ

- V8 juice medium (Cotty, 1988) ประกอบด้วย น้ำผลไม้ V8 5.0% (v/v) และ agar 2.0% (w/v)

- modified yeast extract-sucrose (mYES) (Horn *et al.*, 2000) ประกอบด้วย sucrose 0.5% (w/v) และ yeast extract 0.5% (w/v) ส่วนอาหาร modified yeast extract-glucose (mYEG) ประกอบด้วย glucose 0.5% (w/v) และ yeast extract 0.5% (w/v)

- *Aspergillus flavus* and *parasiticus* agar (AFPA) (Frandsberg *et al.*, 2003) ประกอบด้วย peptone 1.0% (w/v) yeast extract 2.0% (w/v) ferric ammonium citrate 0.05% (w/v) dichoran 0.2% (w/v) ที่ละลายในเอทานอลปริมาตร 1.0 ml และ agar 1.5% (w/v)

- Czapek medium containing Avid[®] (Danmek *et al.*, 2011) ประกอบด้วย sucrose 3.0% (w/v) sodium nitrate 0.3% (w/v) potassium phosphate dibasic anhydrous 0.1% (w/v) magnesium sulfate (anhydrous) 0.05% (w/v) potassium chloride 0.05% (w/v) ferrous sulfate 0.001% (w/v) และ agar 2.0% ภายหลังจากการ autoclave ทำการเติม Avid (0.15 EC, Novartis Crop Protection, Greensboro, NC 27419)) ปริมาตร 40 µl ต่ออาหาร 1 ลิตร

- Potato Dextrose Agar (PDA) และ Malt Extract Agar (MEA) เตรียมตามอัตราส่วนและวิธีการเตรียมของบริษัท Difco, USA

อาหารเลี้ยงเชื้อทั้งหมดปรับ pH ด้วย HCl 1.0 N เพื่อให้มี pH เท่ากับ 6.0 และนำไปฆ่าเชื้อด้วยการ autoclave ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

เชื้อราที่ใช้ในการทดลอง

เชื้อรา *A. flavus* สายพันธุ์ที่ไม่สร้างสารพิษอะฟลาทอกซินทั้ง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ UPAG01 UPAG02

UPAG03 และ UPAG04 เป็นเชื้อราที่คัดแยกจากแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดพะเยา ประเทศไทย ปัจจุบันถูกเก็บรักษาที่สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ประเทศไทย และ CBS-KNAW FUNGAL DIVERSITY CENTER ประเทศเนเธอร์แลนด์ ในขณะที่เชื้อรามารฐาน *A. flavus* NRRL 3357 (toxigenic strain) และ NRRL 21882 (atoxigenic strain) ได้รับจากภาควิชา Plant Pathology and Crop Physiology Agcenter Louisiana State University ประเทศสหรัฐอเมริกา เชื้อราทั้งหมดเก็บไว้บนอาหาร PDA ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C ซึ่งสามารถเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายสปอร์โดยการนำมาถ่ายเชือบนอาหาร V8 juice medium บ่มเชื้อราที่อุณหภูมิ 30°C เป็นระยะเวลาประมาณ 7 วัน เพื่อให้สปอร์ของเชื้อราเจริญเต็มที่ จากนั้นจึงทำเป็นสารละลายสปอร์ในน้ำกลั่นที่เติม Tween 80 ความเข้มข้น 0.01% (v/v) และปรับความเข้มข้นของสปอร์ให้เท่ากับ 10^5 spore/ml (Cotty and Misaghi, 1984)

การศึกษาลักษณะของเชื้อรา *A. flavus*

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาบนอาหารแข็งตามวิธีการของ Klich (2002) และ Danmek *et al.* (2011) โดยศึกษาลักษณะต่าง ๆ เช่น ขนาดของโคโคนี สีของโคโคนี สีของสปอร์ ลักษณะของ conidia ขนาดของ sclerotia และสีด้านหลังของโคโคนี เป็นต้น ส่วนการศึกษาระดับชีวโมเลกุลทำตามวิธีของ Glass and Donaldson (1995) โดยทำการเลี้ยงเชื้อรา *A. flavus* บนอาหารสูตร MEA ที่อุณหภูมิ 30°C เพื่อให้มีการเจริญของเส้นใยและสปอร์ จากนั้นจึงนำมาสกัด DNA โดยใช้ชุดตรวจสอบสำเร็จรูป MoBio-Ultraclean™ Microbial DNA Isolation Kit ชิ้นส่วนของ DNA ที่มี gene ของ β -tubulin gene จะถูกจำลองโดยใช้ primers Bt2a (GGTAACCAAATCGGTGCTGCTTTC) และ Bt2b (ACCCTCAGTGAGTGACCCCTTGGC) และนำไปหาลำดับเบสโดยการทำให้ PCR โดยใช้ชุดตรวจสอบตรา ABI Prism® Big Dye™ Terminator v. 3.0 Ready Reaction Cycle sequenced Kit และทำการตรวจสอบชนิดของ

เชื้อรา *A. flavus* โดยใช้โปรแกรม Seq Man the Laser Gene package

การเจริญของเชื้อราบนอาหารแข็ง

ตัดโคโคนีของ *A. flavus* ที่เจริญบนอาหารแข็ง PDA ขนาด 0.2 cm มาวางใส่ในจานเพาะเชื้อที่มีอาหาร PDA ใหม่ จากนั้นจึงทำการบ่มเชื้อราที่อุณหภูมิ 30°C เป็นระยะเวลาประมาณ 7 วัน ในแต่ละวันทำการวัดรัศมีการเจริญของโคโคนีของเชื้อรา (cm) เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หาค่าอัตราการเจริญเติบโตบนอาหารแข็ง (colony radial growth rate (K_r)) ตามวิธีการของ Morrison and Righelato (1974) ซึ่งหาได้จากสมการเส้นตรงการถดถอย ($K_r = dr/dt$) โดยที่ dr/dt คืออัตราการเจริญของรัศมีโคโคนีเชื้อราที่ได้บันทึกในวันที่สังเกต ($time_o$) ต่อวันเริ่มทำการทดลอง ($time_i$)

การผลิตอะฟลาทอกซินและการเจริญของเชื้อราบนอาหารเหลว

นำสารละลายสปอร์ของเชื้อราแต่ละสายพันธุ์ (10^5 spore/ml) ปริมาตร 15 μ l ใส่ลงในอาหาร mYES และ mYEG medium ปริมาตร 1.0 ml ที่บรรจุอยู่ในหลอดทดลองขนาด 5.0 ml ตามวิธีดัดแปลงของ Horn *et al.* (2000) จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นระยะเวลา 7 วัน และนำตัวอย่างมาสกัดอะฟลาทอกซินด้วยสารละลายคลอโรฟอร์ม จากนั้นจึงนำไปตรวจสอบปริมาณอะฟลาทอกซิน ปิ1 (ng/ml) ด้วยวิธี High performance liquid chromatography ตามวิธีดัดแปลงของ Sweany *et al.* (2011)

สำหรับการศึกษาการเจริญของเชื้อราบนอาหารเหลวทำโดยนำสารละลายสปอร์ของเชื้อราแต่ละสายพันธุ์ (10^5 spore/ml) ปริมาตร 150 μ l ใส่ลงในอาหาร mYEG medium ปริมาตร 10.0 ml จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยในแต่ละวันทำการนำตัวอย่างมาวิเคราะห์การเจริญของเชื้อราโดยการชั่งน้ำหนักแห้ง (g/l) ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เหลืออยู่ในอาหาร (g/l) และปริมาณอะฟลาทอกซิน (mg/l) เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราการเจริญจำเพาะ (μ) ของเชื้อราตามสมการของ Monod (1) (1942) ดังนี้ คือ

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S} \quad (1)$$

โดยที่ S แทนค่าของปริมาณความเข้มข้นของซับสเตรทและ K_s คือค่าคงที่อิ่มตัวของซับสเตรท ซึ่งจากสมการที่ (1) สามารถนำมาปรับเพื่อหาค่าอัตราการเจริญจำเพาะ (μ) โดยใช้การคำนวณจากค่าการเจริญของเชื้อราต่อหน่วยเวลา ตามสมการที่ (2) คือ

$$\mu = \frac{\ln x_1 - \ln x_0}{t_1 - t_0} \quad (2)$$

สำหรับค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด ($\mu_{\max}$) สามารถคำนวณหาได้โดยการสร้างกราฟข้อมูลตามวิธีการของ Lineweaver-Burk plot และสามารถสร้างสมการได้ (3) คือ

$$\frac{1}{\mu} = \frac{K_s}{\mu_{\max}} \frac{1}{S} + \frac{1}{\mu_{\max}} \quad (3)$$

ส่วนอัตราการใช้ซับสเตรตจำเพาะ (q_s) และอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์จำเพาะ (q_p) สามารถหาได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ (4)

$$q_s = \mu/Y_{x/s} \text{ and } q_p = \mu \cdot Y_{p/s} \quad (4)$$

การวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง กลูโคสและอะฟลาทอกซิน ปี 1

การหาน้ำหนักแห้งของเชื้อราทำได้โดยนำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 จากนั้นจึงนำ เชื้อราไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นระยะเวลา 7 วัน หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ ทำการจดบันทึกน้ำหนักของเชื้อราที่เกิดขึ้น

การหาปริมาณกลูโคสทำได้โดยดูการเกิดปฏิกิริยาของน้ำตาลรีดิวซ์โดยใช้สารละลาย DNS (Miller 1959) ตามวิธีการของ Ghose (1987) โดยเติมสารละลาย DNS ปริมาตร 3.0 ml ในสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบปริมาตร 1.0 ml จากนั้นจึงนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจากนั้นจึงเติมน้ำกลั่น 20.0 ml ผสมให้เข้ากันและนำไปวัดค่า

ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในตัวอย่างด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 540 nm และคำนวณหาค่าน้ำตาลโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส

การหาปริมาณอะฟลาทอกซิน ปี 1 ในตัวอย่างมาสดักอะฟลาทอกซินด้วยสารละลายคลอโรฟอร์ม จากนั้นจึงนำไปตรวจสอบปริมาณอะฟลาทอกซิน ปี 1 (ng/ml) ด้วยวิธี High performance liquid chromatography ตามวิธีดัดแปลงของ Sweany *et al.* (2011)

สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

กำหนดให้ทำการทดลองอย่างต่ำ 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติ และในแต่ละกลุ่ม การทดลองทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทีตเมนต์แต่ละกลุ่มด้วยวิธีใช้ความแตกต่างที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด (least significant difference (LSD)) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลและวิจารณ์

เชื้อรา *A. flavus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ UPAG01 UPAG02 UPAG03 และ UPAG04 เป็นเชื้อราใน *Aspergillus section Flavi* ซึ่งมีลักษณะเด่น คือ เมื่อเลี้ยงในอาหาร AFPA จะเกิดสีส้มเหลืองภายใต้โคโลนี (Pitt *et al.*, 1983) แต่จะผลิตสปอร์ได้น้อยมากและเมื่อเลี้ยงบนอาหาร Czapek medium containing Avid[®] จะเกิดโครงสร้างคล้าย synnema สอดคล้องกับการรายงานของ Damann *et al.* (2004) และ Danmek *et al.* (2011) บนอาหาร PDA มีการผลิตสปอร์สีเขียวผนังเรียบเรียบ conidia บน conidiophore เมื่อศึกษาทางระดับชีวโมเลกุลตามวิธีของ Glass and Donaldson (1995) พบว่ามีลำดับเบส 100 เปอร์เซ็นต์ตรงกับเชื้อรา *A. flavus* สายพันธุ์มาตรฐานที่ใช้เป็นเปรียบเทียบของ CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre ประเทศเนเธอร์แลนด์ สำหรับการทดลองนี้ได้ทำการศึกษ้อัตราการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* ทั้งสายพันธุ์ที่ผลิตอะฟลาทอกซิน (toxigenic strains) และสายพันธุ์ที่ไม่ผลิตอะฟลาทอกซิน

(atoxicogenic strains) บนอาหารแข็ง PDA ที่ค่า pH 6.0 เนื่องจากเป็นภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราดังกล่าว โดยเฉพาะค่า pH ในช่วง 5.0 ถึง 7.5 จะไม่มีผลกระทบต่อการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* (Brancato and Golding, 1953; Cotty 1988; Thompson, 1990; Yoder *et al.*, 2008) โดยในการศึกษานี้ เชื้อราทั้ง 6 สายพันธุ์ มีการเจริญเติบโตที่ดี มีการผลิตโคโลนีสีขาวและสปอร์เป็นสีเขียวซึ่งสามารถเจริญเติบโตเต็มที่ยอดอาหารแข็ง PDA ในจานเพาะเชื้อขนาด 9.0 cm ภายในวันที่ 6 ของการบ่มเชื้อราที่อุณหภูมิ 30°C เมื่อนำข้อมูลของการเจริญเติบโตมาคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตบนอาหารแข็ง (Kr) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 โดยแต่ละสายพันธุ์มีค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญบนอาหารแข็งประมาณ 0.70 cm/day อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อพิจารณาค่าอัตราการเจริญของเชื้อราบนอาหารแข็งในแต่ละช่วงเวลาพบว่าเชื้อราทั้ง 6 สายพันธุ์ แสดงอัตราการเจริญเหมือนกัน คือ เริ่มต้นเชื้อรา *A. flavus* จะมีการเจริญเติบโตของเส้นใยและโคโลนีในแนวราบ (วันที่ 1, 2 และ 5) และเมื่อเจริญไประยะหนึ่ง คือเวลาประมาณ 2 วัน จะสร้างก้านชูเพื่อผลิตสปอร์ซึ่งมีการเจริญในแนวตั้งซึ่งสังเกตได้จากค่าอัตราการเจริญที่ลดลงในวันที่ 3, 4 และ 6 (ภาพที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rodríguez-Urra *et al.* (2009) นอกจากนี้เมื่อนำมาศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* สายพันธุ์อื่น ๆ พบว่าเชื้อรา *A. flavus* แต่ละสายพันธุ์มีอัตราการเติบโต (Kr) ที่แตกต่างกัน

เช่น เชื้อรา *A. flavus* ATTC 16872 และ *A. flavus* สายพันธุ์ที่คัดแยกมาจากน้ำผึ้งในธรรมชาติมีอัตราการเจริญเติบโตบนอาหารแข็งเท่ากับ 0.24 และ 0.23 cm/day (Yoder *et al.*, 2008; Lopez-Malo *et al.*, 1998) เมื่อพิจารณาถึงผลของสภาพแวดล้อม เช่น ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีค่าความเป็นกรดหรือด่างสูงหรือต่ำเกินไป การเติมสารเคมีบางชนิด เช่น สารประกอบโบรอนเนต วานิลิน และอะบาเม็คตินจะมีผลต่ออัตราการเจริญของเชื้อราบนอาหารแข็ง ซึ่งถ้ามีปริมาณมากจะทำให้อัตราการเจริญลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Lopez-Malo *et al.*, 1995; Rodríguez-Urra *et al.*, 2009; Danmek *et al.*, 2011)

ในการศึกษาการผลิตอะฟลาทอกซิน ปี 1 จากเชื้อราทั้ง 6 สายพันธุ์ พบว่าแหล่งคาร์บอนที่เป็นน้ำตาลกลูโคสและซูโครส ร่วมกับค่า pH 5.0 ถึง 7.0 เป็นภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญและผลิตอะฟลาทอกซินโดยเฉพาะจากเชื้อรา *A. flavus* และ *A. parasiticus* (Klich 2007) ซึ่งจากการเลี้ยงเชื้อรา *A. flavus* บนอาหาร mYES พบว่ามีเพียงเชื้อรามาตรฐาน *A. flavus* NRRL3357 ที่ผลิตอะฟลาทอกซินและผลิตในปริมาณมากจะมีการผลิตอะฟลาทอกซินอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 2 สอดคล้องกับการ 5.361 ± 259.10 ng/ml (ภาพที่ 2) ในขณะที่เชื้อราอีก 5 สายพันธุ์ คือ เชื้อรามาตรฐาน *A. flavus* NRRL21882 และอีก 4 สายพันธุ์ที่คัดแยกจากประเทศไทย คือ UPAG01 UPAG01 UPAG01 และ UPAG01 เป็นสาย รายงานของ Lillehoj *et al.* (1974) Ramakrishna *et al.* (1996) และ Daigle and Cotty (1995) และเมื่อเลี้ยงถึงวันที่ 7 พบว่ามี

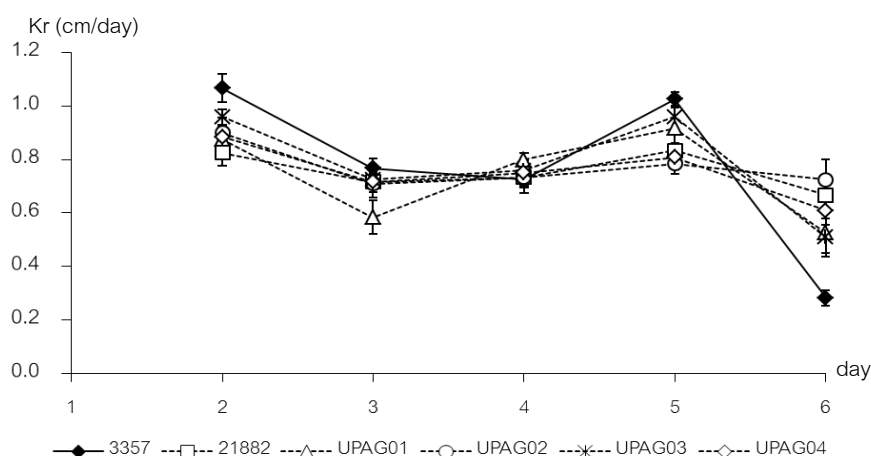


Figure 1 Kr pattern of *A. flavus* strains on PDA incubated at 30°C in the dark

ปริมาณอะฟลาทอกซิน ปี 1 สะสมเท่ากับ พันธุ์ที่ไม่ผลิตอะฟลาทอกซิน และเมื่อนำไปทดสอบการยับยั้งการผลิตอะฟลาทอกซินจากเชื้อรา *A. flavus* NRRL3357 ในอาหาร mYEG พบว่าทั้ง 5 สายพันธุ์ สามารถยับยั้งการผลิต อะฟลาทอกซินในอาหารเลี้ยงเชื้อได้มากกว่า 70% (ภาพที่ 3) จึงแสดงให้เห็นว่าเมื่อเชื้อรา *A. flavus* สายพันธุ์ที่ผลิตอะฟลาทอกซินถูกเลี้ยงร่วมกับเชื้อราชนิดเดียวกันแต่เป็นสายพันธุ์ที่ไม่ผลิตอะฟลาทอกซินจะทำให้มีการผลิตอะฟลาทอกซินลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Cotty (1994) โดยใช้เชื้อรามาตรฐานทางการค้า *A. flavus* AF36 ที่ไม่ผลิตอะฟลาทอกซินเพื่อควบคุมการผลิตดังกล่าวโดยเชื้อรา *A. flavus* ชนิดเดียวกันและ

เชื้อราอื่น ๆ อย่างไรก็ตามแม้ว่าการยับยั้งเชื้อรา *A. flavus* สายพันธุ์ที่ผลิตอะฟลาทอกซินสามารถทำได้โดยใช้เชื้อราชนิดเดียวกัน แต่ก็มีรายงานการศึกษาโดยการใช้เชื้อราชนิดอื่น ๆ เพื่อควบคุมการสร้างอะฟลาทอกซินดังกล่าวได้ด้วย เช่น *A. niger* และ *Trichoderma viride* (Klich, 2007)

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของการเจริญของเชื้อรา การใช้ขั้วสเตรทและการผลิตอะฟลาทอกซิน ซึ่งแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าการเลี้ยงเชื้อราเดี่ยว ๆ จะมีน้ำหนักเซลล์น้อยกว่าการเลี้ยงร่วมกันระหว่างเชื้อรา *A. flavus* NRRL3357 ที่สร้างอะฟลาทอกซินและเชื้อรา *A. flavus* ที่ไม่สร้างอะฟลาทอกซินทั้ง 4 สายพันธุ์ และค่า

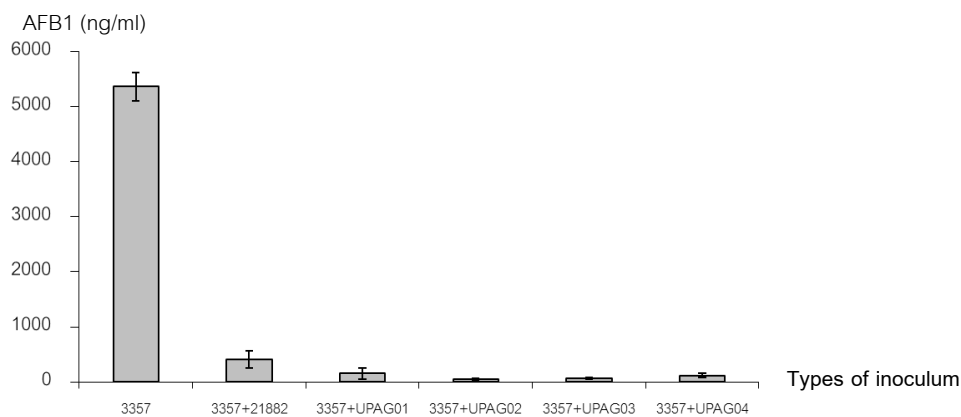


Figure 2 AFB₁ values obtained from co-cultivated toxigenic *A. flavus* strain NRRL 3357 with each atoxigenic strains in mYEG at 30°C in the dark for 7 days

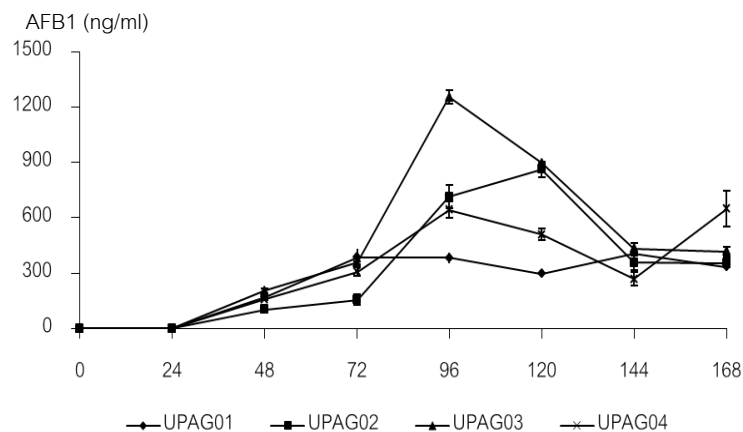


Figure 2 AFB₁ values obtained from co-cultivated toxigenic *A. flavus* strain NRRL 3357 with each atoxigenic strains in mYEG at 30°C in the dark for 7 days

Table 1 Kinetic parameters of *A. flavus* cultures

Kinetic parameters	Single culture*					Co-culture with <i>A. flavus</i> NRRL 3357*			
	3357	UPAG01	UPAG02	UPAG03	UPAG04	UPAG01	UPAG02	UPAG03	UPAG04
Dry weight (g/L)	6.75 ^b	6.67 ^{bc}	6.90 ^b	7.38 ^a	6.48 ^c	7.25 ^{ab}	7.46 ^{ab}	7.49 ^{ab}	7.91 ^a
Glucose (g/L)	38.21 ^b	41.27 ^a	40.82 ^{ab}	41.00 ^a	40.60 ^{ab}	40.08 ^a	39.23 ^b	39.55 ^{ab}	40.42 ^a
μ (h ⁻¹)	0.0084 ^a	0.0069 ^{bc}	0.0076 ^b	0.0086 ^a	0.0070 ^b	0.0083 ^{ab}	0.0080 ^{ab}	0.0090 ^a	0.0084 ^{ab}
μ_{max} (h ⁻¹)	0.0152 ^a	0.0067 ^c	0.0077 ^c	0.0128 ^b	0.0099 ^{bc}	0.0075 ^b	0.0087 ^{ab}	0.0081 ^{ab}	0.0103 ^a
$Y_{x/s}$ (g cell/ mol sub)	38.71 ^d	46.10 ^c	53.28 ^b	66.33 ^a	57.19 ^b	63.06 ^a	57.64 ^b	51.90 ^c	57.04 ^b
q_s (mmol/g cell/hr)	0.22 ^a	0.15 ^b	0.14 ^b	0.13 ^b	0.13 ^b	0.15 ^{ab}	0.16 ^{ab}	0.17 ^a	0.14 ^{ab}
$Y_{p/s}$ (mg AFB1/g sub)	0.427	0	0	0	0	0.044 ^b	0.039 ^b	0.061 ^a	0.049 ^b
q_p (μ g AFB1/g cell/hr)	3.52	0	0	0	0	0.43 ^b	0.32 ^{bc}	0.61 ^a	0.44 ^b

*Significant level (p=0.05), sample (n=3)

อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะเชื้อรา *A. flavus* แต่ละสายพันธุ์มีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามแม้ว่าการเลี้ยงเชื้อราพร้อมกันระหว่าง *A. flavus* สายพันธุ์ที่สร้างและไม่สร้างอะฟลาทอกซินจะทำให้เชื้อราที่มีมวลรวมและอัตราการเจริญเติบโตเฉพาะเพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่ได้ทำให้มีการผลิตอะฟลาทอกซินเพิ่มขึ้น เมื่อศึกษาถึงอัตราการใช้ซับสเตรท ซึ่งคือกลูโคสแม้ว่า *A. flavus* NRRL3357 มีการใช้กลูโคสได้เร็วและปริมาณมากกว่าในการทดลองอื่น ๆ คือ มีปริมาณกลูโคสเหลือเท่ากับ 38.21 g/L อัตราการใช้ซับสเตรทเท่ากับ 38.72 g cell/mol และอัตราการใช้ซับสเตรทเฉพาะเท่ากับ 0.22 mmol/g cell/hr แต่เมื่อมาเลี้ยงร่วมกับเชื้อราทั้ง 4 สายพันธุ์ที่ไม่สร้างอะฟลาทอกซินกลับพบว่าอัตราการใช้กลูโคสลดลง จึงอาจเป็นไปได้ว่าเชื้อรา *A. flavus* ที่ไม่สร้างอะฟลาทอกซินสามารถไปยับยั้ง *A. flavus* NRRL3357 โดยมีผลให้เชื้อราดังกล่าวใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญได้ช้าลง ทำให้มีผลต่อการยับยั้งผลิตอะฟลาทอกซิน โดยดูได้จากค่าอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ และอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์เฉพาะในตารางที่ 1 นอกจากนี้ยังอาจเกิดได้จากอีกหลายปัจจัย เช่น การยับยั้งในลักษณะของ competitive exclusion การผลิตสารบางชนิด และกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเลี้ยง เป็นต้น (Cotty and Bayman, 1993; Ehrlich and Cotty, 2004)

สรุป

จากการศึกษาทั้งหมดนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าเชื้อรา *A. flavus* ที่ไม่สร้างอะฟลาทอกซินทั้ง 4 สายพันธุ์ที่คัดแยกได้จากประเทศไทย มีประสิทธิภาพสูงและสามารถนำไปใช้ยับยั้งการผลิตอะฟลาทอกซินจากเชื้อราชนิดเดียวกันได้ โดยในการทดลองนี้เชื้อรา *A. flavus* สายพันธุ์ที่ไม่สร้างอะฟลาทอกซินได้ไปยับยั้งการสร้างอะฟลาทอกซิน ปี1 จากเชื้อรา *A. flavus* NRRL3357 โดยการแข่งกันการใช้ซับสเตรทอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามกระบวนการศึกษายังเป็นแค่การทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการเท่านั้น ซึ่งจะมีแนวทางการนำไปศึกษาในระดับปฏิบัติการกับเชื้อรา *Aspergillus* spp. ชนิดอื่น ๆ เช่น *Aspergillus parasiticus* ที่ผลิตอะฟลาทอกซินจีอะฟลาทอกซินในกลุ่มอื่น ๆ (ปี1 ปี2 จี1 และจี2) และการทดลองภาคสนามต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนส่วนหนึ่งจากโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาเชิงพื้นที่ งบประมาณร่วมทุนระหว่าง มพ. -สกว. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 (สัญญาเลขที่ ABC57001) มหาวิทยาลัยพะเยา และสถานีวิจัยทดสอบพันธุ์สัตว์พะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา สำหรับสถานที่ในการวิจัย ขอขอบคุณ Professor Dr. Kenneth E. Damann, Jr. จากภาควิชา Plant Pathology & Crop Physiology Agcenter

Louisiana State Univeristy ประเทศสหรัฐอเมริกาสำหรับเชื้อรามาตรฐาน *A. flavus* และ Professo0072 Dr. Dr. h. c. R. A. Samson และ Martin Meijer จาก CBS-KNAW fungal biodiversity center, The Netherlands สำหรับการมีส่วนช่วยวิเคราะห์เชื้อราในระดับชีวโมเลกุล

เอกสารอ้างอิง

- Brancato, F. P. and N. S. Golding. 1953. The diameter of the mold colony as a reliable measure of growth. *Mycologia* 45: 848-864.
- Cotty, P. J. 1988. Aflatoxin and sclerotial production by *Aspergillus flavus*: Influence of pH. *Phytopathology* 78: 1250-1253.
- Cotty, P. J. 1994. Influence of field application of an atoxigenic strain of *Aspergillus flavus* on the population of *A. flavus* infecting cotton bolls and on the aflatoxin content of cotton seed. *Phytopathology* 84: 1270-1277.
- Cotty, P. J. and P. Bayman. 1993. Competitive exclusion of a toxigenic strain of *Aspergillus flavus* by an atoxigenic strain. *Phytopathology* 83: 1283-1287.
- Cotty, P. J. and I. J. Misaghi. 1984. Zinniol production by *Alternaria* sp. *Physiology and Biochemistry* 74(7): 785-788.
- Daigle, D. J. and P. J. Cotty. 1995. Formulating Atoxigenic *Aspergillus flavus* for field release. *Biocontrol Science and Technology* 5: 175-184.
- Damann, K., R. Sweany and C. DeRobertis. 2004. Frequency of colonization of corn kernels by atoxigenic *Aspergillus flavus* applied as a potential biocontrol agent. *Phytopathology* 94: 938-945.
- Danmek, K., S. Prasongsuk, P. Lotrakul, K. E. Damann, D. E. Eveleigh and H. Punnapayak. 2011. Effect of Avid[®] on the synnema-like formation of *Aspergillus flavus* grown on Czapek medium. *African Journal of Microbiology Research* 5(18): 2812-2815.
- Ehrlich, K. C. and P. J. Cotty. 2004. An isolate of *Aspergillus flavus* used to reduce aflatoxin contamination in cottonseed has a defective polyketide synthase gene. *Applied Microbiology and Biotechnology* 65: 473-478.
- Frandberga, E., J. Pitt and M. Olsena. 2003. Quality control of *Aspergillus flavus* and *A. parasiticus* agar and comparison with dichloran 18% glycerol agar: a collaborative study. *International Journal of Food Microbiology* 89: 99-102.
- Glass, N. L. and G. C. Donaldson. 1995. Development of primer sets designed for use with the PCR to amplify conserved genes from filamentous ascomycetes. *Applied Environmental and Microbiology* 61(4): 1323-1330.
- Ghose, T. K. 1987. Measurement of cellulase activities. *International Union of Pure and Applied Chemistry* 59: 257-268.
- Horn, B. W., R. L. Greene and J. W. Dornier. 2000. Inhibition of aflatoxin B1 production by *Aspergillus parasiticus* using nonaflatoxigenic strains: role of vegetative compatibility. *Biological Control* 17: 147-154.
- Klich, M. A. 2007. Environmental and developmental factors influencing aflatoxin production by *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*. *Mycoscience* 48: 71-80.
- Klich, M. A. 2002. Biogeography of *Aspergillus* species in soil and litter. *Mycologia* 94(1): 21-27.

- Lillehoj, F. B., W. J. Garcia and M. Lambrow. 1974. *Aspergillus flavus* infection and aflatoxin production in corn: influence of trace elements. Applied Microbiology 28(5): 763-767.
- Lopez-Malo, A., S. M. Alazamora and A. Argaiz. 1995. Effect of natural vanillin on germination time and radial growth of moulds in fruit-based agar systems. Food Microbiology 12: 213-219.
- Lopez-Malo, A., S. M. Alazamora and A. Argaiz. 1998. Vanillin and pH synergistic effects on mold growth. Journal of Food Science 63(1): 143-146.
- Mellon, J. E. and P. J. Cotty. 1995. Expression of elastinolytic activity among isolates in *Aspergillus* section *Flavi*. Mycopathologia 131: 115-120.
- Miller, G. L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analysis of Chemistry 31: 426-428.
- Monod, J. 1942. Recherches sur la croissance des Cultures Bactériennes (Thèse 151 Doctorat ès Sciences Naturelles). Hermann, Paris.
- Morrison, K. B. and R. C. Righelato. 1974. The relationship between hyphal branching, specific growth rate and colony radial growth rate in *Penicillium chrysogenum*. Journal of General Microbiology 81(5): 517-520.
- Passone, M. A., L. C. Rosso, A. Ciancio, and M. Etcheverry. 2010. Detection and quantification of *Aspergillus* section *Flavi* spp. in stored peanuts by real-time PCR of nor-1 gene, and effects of storage conditions on aflatoxin production. International Journal of Food Microbiology 138: 261-281.
- Pitt, J. I., A. Hocking and D. R. Glenn. 1983. An improved medium for the detection of *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*. Journal of Applied Bacteriology 54: 109-114.
- Ramakrishna, N., J. Lacey and J. E. Smith. 1996. *Aspergillus flavus* colonization and aflatoxin B1 formation in barley grain during interaction with other fungi. Mycopathologia 136: 53-63.
- Reddy, K. N., H. K. Abbas, R. M. Zablotowicz, C. A. Abel and C. H. Koger. 2007. Mycotoxin occurrence and *Aspergillus flavus* soil propagules in a corn and cotton glyphosate-resistant cropping systems. Food Additives and Contaminants 24(12): 1367-1373.
- Reddy, K. R. N., Ch. R. Reddy, P. N. Kumar, C. S. Reddy and Muralidharan. 2009. Genetic variability of aflatoxin B1 producing *Aspergillus flavus* strains isolated from discolored rice grains. World Journal of Microbiology and Biotechnology 25: 33-39
- Rodríguez-Urra, A. B. C. Jimenez, M. Duenas and U. Ugalde. 2009. Bicarbonate gradients modulate growth and colony morphology in *Aspergillus nidulans*. Federation of European Microbiological Societies 300: 216-221.
- Sweany, R. R., K. E. Jr. Damann and M. D. Kaller. 2011. Comparison of soil and corn kernel *Aspergillus flavus* populations. Phytopathology 101(8): 952-959 p.
- Thompson, D. P. 1990. Influence of pH on the fungitoxic activity of naturally occurring compounds. Journal of Food Protection 53: 482-429.

Yoder, J. A., B. S. Christensen, T. J. Croxall, J. L. Tank and D. Sammataro. 2008. Suppression of growth rate of colony-associated fungi by high fructose corn syrup feeding supplement, formic acid, and oxalic acid. Journal of Apicultural Research and Bee World 47(2): 26-130.

ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการดำเนินงาน ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง

Factors Affecting of Successful Implementation of the Royal Project Development Centers

นภาพร ทางทิศ^{1/, 2/} และ วรทัศน์ อินทรคัมพร^{2/}

Napaporn Tangtis^{1/, 2/} and Wallratat Intaruccomporn^{2/}

Abstract: The Royal Project Development Center (RPDC) has been supporting for highland farmers by using the concept of empowering communities as a mechanism to increase income and enhance the well-being of the community on the highland area. The objectives of this research were (1) to study pattern of implementation in promoting knowledge to farmer in RPDC areas, (2) to study farmers knowledge and understanding after they have been involved with RPDC, (3) to study results of the Royal Project's implementation to farmer in RPDC areas, and (4) to study factors that affect to the implementation of RPDC. The populations of this study were 150,019 farmers in total in 38 Royal project areas. The accidental random sampling were apply, two farmers selected from each study site. The total of population were 76 farmers. The instrumentation used in this study was an interview with the close-ended questions and open-ended questions. Data analysis were used descriptive statistic such as percentage, mean, standard deviation, maximum, minimum. The analysis pattern of implementation and result of implementation of the Royal Project were asked farmers' opinion in each issue by using 5 levels measurement of Likert scale and weight mean score use to explain the meaning. More over, test a hypothesis was apply multiple regression analysis.

The result found that, there were 3 parts of operation model in promoting the knowledge for the farmers which were (1) the number of promotion, (2) support/provide facilities to farmers, and (3) quality of RPDC officers. In overall, the average of those operation models found there was high level. The perception for the quality of the RPDC officers found very high in level, as well as promoted quantity and support/provide facilities to farmers found high in level. The knowledge and understanding of farmers which promoted of 3 parts by the RPDC found high level in overall which were career, social promotion and environment development. The perception to environmental development part found very high in level as well as the social promotion part. The perception career part found moderate in level that was because farmers having specialized technical knowledge in production, such as tea, coffee, flowers and crafts. The overall results of the Royal Project

^{1/} สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) 65 ม.1 ถ.สุเทพ ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

^{1/} Highland Research and Development Institute (Public Organization) 65 Moo 1 Suthep Road, Amphoe Muang, Chiang Mai 50200 Thailand

^{2/} ภาควิชาเศรษฐศาสตร์และส่งเสริมเผยแพร่การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

^{2/} Department of Agricultural Economics and Agricultural Extension, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University 50200, Thailand

Development Center's implementation to farmer in the Royal Project areas that found in high level were economic, social and environment. There was indicated the successful of the RPDC performing in development in 3 parts simultaneously. The factors that effected to the PRDC found number of farmer in household, the number of promoted and quality of officer in the RPDC were positively.

Keywords: Implementation, the Royal Project, success

บทคัดย่อ: ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงได้พัฒนาและส่งเสริมเกษตรกรบนพื้นที่สูง โดยใช้แนวทางเสริมสร้างศักยภาพของชุมชนที่เป็นกลไกในการขับเคลื่อนการสร้างรายได้ และยกระดับความเป็นอยู่ของชุมชนบนพื้นที่สูง โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษารูปแบบการดำเนินงานในการส่งเสริมให้ความรู้เกษตรกรในศูนย์พัฒนาโครงการหลวง (2) ศึกษาความรู้ที่เกษตรกรมีความเข้าใจหลังจากได้รับการส่งเสริมจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวง (3) ศึกษาผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงต่อเกษตรกรในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง และ (4) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คือ เกษตรกรในพื้นที่โครงการหลวง 38 ศูนย์ มีจำนวน 150,019 คน เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีลักษณะคล้ายกัน ผู้วิจัยจึงกำหนดการสุ่มตัวอย่างเกษตรกรในพื้นที่โครงการหลวง 38 ศูนย์ ศูนย์ละ 2 คน โดยการสุ่มแบบบังเอิญ (accidental selection) รวมเป็น 76 คน ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้แบบสัมภาษณ์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด วิเคราะห์รูปแบบการดำเนินงานและผลการดำเนินงานของโครงการหลวง ตามระดับความคิดเห็นของเกษตรกรแต่ละประเด็น ตามมาตราวัด 5 ระดับ ของ Likert scale และแปรความหมายระดับความคิดเห็น โดยใช้วิธีนำค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weight Mean Score) การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและทำการทดสอบสมมติฐานโดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุ (Multiple Regression Analysis)

ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบการดำเนินงานในการส่งเสริมให้ความรู้เกษตรกรในศูนย์พัฒนาโครงการหลวง 3 ด้าน ได้แก่ (1) จำนวนครั้งที่ได้รับการส่งเสริม (2) การสนับสนุน/อำนวยความสะดวก และ (3) ด้านคุณภาพของเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง พบว่า ในภาพรวมทั้ง 3 ด้าน คะแนนอยู่ในระดับมาก โดยด้านคุณภาพของเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงมีคะแนนอยู่ในระดับมากที่สุด ด้านการดำเนินงานในการส่งเสริม และด้านการสนับสนุน/อำนวยความสะดวกให้กับเกษตรกร อยู่ในระดับมาก ในส่วนของความรู้ที่เกษตรกรมีความเข้าใจหลังจากได้รับการส่งเสริมจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ด้านอาชีพ สังคม และสิ่งแวดล้อม ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยความรู้ “ด้านสิ่งแวดล้อม” อยู่ในระดับมากที่สุด “ด้านสังคม” อยู่ในระดับมาก ส่วนใน “ด้านอาชีพ” อยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากเป็นความรู้เทคนิคเฉพาะด้าน เช่น ไม้ดอก ขา กาแฟ หัตถกรรม ในส่วนของผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงต่อเกษตรกรด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ภาพรวมอยู่ในระดับมาก แสดงถึงความสำเร็จของการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงที่สามารถพัฒนาทั้งสามด้านควบคู่กันไป ปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง พบว่า ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ จำนวนเกษตรกรในครัวเรือน ปริมาณการได้รับการส่งเสริม และคุณภาพของเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง

คำสำคัญ: การดำเนินงาน ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ความสำเร็จ

คำนำ

เมื่อปี พ.ศ. 2512 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงเสด็จพระราชดำเนินไปทอดพระเนตรชีวิตของชาวเขา ที่ บ้านดอยปุย ได้ทรงทราบว่าชาวเขามีการปลูกฝิ่นแต่ ยากจน รายได้ส่วนใหญ่มาจากการเก็บท้องพื้นเมืองขาย จากปัญหาดังกล่าวจึงได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ตั้ง โครงการหลวงขึ้น โดยมีหม่อมเจ้าภีศเดช รัชนี เป็นผู้รับสนองพระบรมราชโองการในตำแหน่งผู้อำนวยการ มีชื่อเรียกในระยะแรกว่า “โครงการหลวงพระบรมราชานุเคราะห์ชาวเขา” เพื่อแก้ไขปัญหาการปลูกฝิ่น พัฒนาคุณภาพชีวิตของชาวเขา และการฟื้นฟูป่าต้นน้ำลำธาร

ในปี พ.ศ. 2535 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้ ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้โครงการหลวงจดทะเบียน เป็น “มูลนิธิโครงการหลวง” เพื่อให้เป็นองค์กร สาธารณประโยชน์ที่ถาวรมั่นคง สามารถดำเนินการอย่าง ต่อเนื่อง มีระบบงานที่แน่นอนรองรับ มีการบริหารงาน ภายในคล่องตัว มีประสิทธิภาพในการดำเนินงานและ เกิดผลดียิ่งขึ้นในอนาคต พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงดำรงตำแหน่งนายกิตติมศักดิ์ และหม่อมเจ้าภีศเดช รัชนี ทรงเป็นประธานมูลนิธิ โดยมี ดร.จิรายุ อิศรางกูร ณ อยุธยา เป็นเลขาธิการมูลนิธิ (มูลนิธิโครงการหลวง, 2555) จนถึงปัจจุบันเป็นระยะเวลากว่า 44 ปี มีโครงการ หลวงทั้งหมด 38 ศูนย์/สถานี ตั้งอยู่ใน 5 จังหวัดภาคเหนือ ตอนบน โดยแนวทางการดำเนินงานจะใช้การวิจัยและ การพัฒนาเป็นตัวขับเคลื่อนการสร้างรายได้และความ เป็นอยู่ของชาวเขา เน้นให้ปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์หลาย ชนิด โดยมีระบบการใช้ที่ดินที่เหมาะสม ร่วมมือกับ หน่วยงานและชุมชนอย่างใกล้ชิด ในการพัฒนา ปัจจัยพื้นฐาน รวมทั้งการฟื้นฟูและอนุรักษ์ดินและป่าต้น น้ำลำธาร พัฒนาศูนย์และสถานีบนพื้นที่สูงให้เป็นศูนย์ ประสานงานการปฏิบัติงานในระดับพื้นที่และเป็นจุด เรียนรู้การพัฒนาที่สูงอย่างยั่งยืน (สถาบันวิจัยและพัฒนา พื้นที่สูง, 2550)

จากการดำเนินงานของมูลนิธิโครงการหลวงที่ ผ่านมา ทำให้ชาวเขาในพื้นที่โครงการหลวงมีความเป็นอยู่ ที่ดีขึ้นทั้งในด้านความมั่นคงด้านอาหาร (food security) ความมั่นคงด้านสิ่งแวดล้อม (environment security)

ความมั่นคงด้านเศรษฐกิจและสังคม (economic and social security) และด้านความมั่นคงของชาติ (national security) (มูลนิธิโครงการหลวง, 2553) ดังจะเห็นได้จาก ชาวเขามีทางเลือกในการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ทั้งพืชผัก ไม้ ผล ไม้ดอก ทดแทนการปลูกฝิ่น ทำให้พื้นที่การปลูกฝิ่น ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจะเห็นได้จากในปี พ.ศ. 2522 ประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกฝิ่นมากกว่า 150,000 ไร่ แต่ ในปี พ.ศ. 2546 พื้นที่ปลูกฝิ่นลดลงเหลือเพียงไม่เกิน 1,500 ไร่ แสดงให้เห็นถึงการประสบความสำเร็จอย่าง ชัดเจนในการดำเนินงานของมูลนิธิโครงการหลวง จน ได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติ เรื่องการพัฒนา ทางเลือกเพื่อทดแทนการปลูกฝิ่น (สำนักงาน คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคม, 2553) ใน ส่วนด้านการศึกษา พบว่ามีเยาวชนชาวเขาได้รับ การศึกษามากขึ้น หากเปรียบเทียบ ปี พ.ศ. 2543 มี ชาวเขาที่อายุตั้งแต่ 13 ปีขึ้นไป ไม่ได้รับการศึกษาถึงร้อยละ 34.60 (กองพัฒนากษัตริย์สูง, 2543) แต่ในปี พ.ศ. 2553 รายงานว่าชาวเขาในพื้นที่โครงการหลวงที่มีอายุ มากกว่า 13 ปี ไม่ได้รับการศึกษามีเพียง ร้อยละ 24 และ ชาวเขาที่มีอายุอยู่ในวัยเรียน (7-12 ปี) แล้วไม่ได้รับการ ศึกษา มีเพียง ร้อยละ 3 เท่านั้น (มหาวิทยาลัย- เชียงใหม่, 2553) รวมทั้งประชาชนมีความตระหนักในการ รักษาสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากการรวมกลุ่มกัน ใน ชุมชนทั้งการร่วมกันทำแนวกันไฟ ปลูกป่าชาวบ้านใน โอกาสสำคัญต่าง ๆ และการปลูกหญ้าแฝกเพื่อลดการ พังทลายของหน้าดิน

จากการปลูกพืชผัก ไม้ผล ไม้ดอก และเลี้ยงสัตว์ ทดแทนการปลูกฝิ่นส่งผลให้ชาวเขามีรายได้ ชีวิตและ ความเป็นอยู่ดีขึ้นเห็นได้จากผลการศึกษาของ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2553 พบว่า เกษตรกร ชาวเขาในพื้นที่โครงการหลวงมีรายได้รวมเฉลี่ย 144,375 บาท/ครัวเรือน ซึ่งสูงกว่าเส้นความยากจนถึง ร้อยละ 73 (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553) ชุมชนมีการตั้งบ้านเรือน เป็นหลักแหล่ง และทำให้การตัดไม้ทำลายป่าในพื้นที่ต้น น้ำลำธารลดลง ชุมชนอยู่ร่วมกับป่าอย่างสมดุล รวมทั้ง ผลงานของโครงการหลวงได้กลายเป็นแหล่งขององค์ ความรู้เกี่ยวกับการพัฒนาพื้นที่สูง ทั้งการผลิตพืช สัตว์

การประมง การตลาด และการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ (มูลนิธิโครงการหลวง, 2553)

จากที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้ผู้วิจัย ต้องการศึกษารูปแบบการดำเนินงานในการส่งเสริมให้ ความรู้เกษตรกรในศูนย์พัฒนาโครงการหลวง รวมทั้ง ความรู้ที่เกษตรกรมีความเข้าใจหลังจากได้รับการส่งเสริมจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ด้านอาชีพ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม ผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงต่อเกษตรกรในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม และปัจจัยที่มีผลต่อการผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง

อุปกรณ์และวิธีการ

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ เกษตรกรในพื้นที่โครงการหลวงซึ่งมี จำนวน 150,019 คน ผู้วิจัยจึงกำหนดทำการสุ่มตัวอย่างเกษตรกรในพื้นที่โครงการหลวง 38 ศูนย์ ศูนย์ละ 2 คน โดยการสุ่มแบบบังเอิญ (accidental selection) รวมเป็น 76 คน เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีลักษณะคล้ายกัน ในลักษณะของการประกอบอาชีพการเกษตร และมีระดับการศึกษาที่ใกล้เคียงกัน ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้แบบสัมภาษณ์ ซึ่งมีลักษณะคำถามแบบปลายปิด (close-ended question) และคำถามปลายเปิด (open-ended question) เก็บข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะส่วนบุคคล เศรษฐกิจ สังคม รูปแบบการดำเนินงานในการส่งเสริมให้ ความรู้เกษตรกรในศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ความรู้ที่เกษตรกรมีความเข้าใจหลังจากได้รับการส่งเสริมจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงต่อเกษตรกรในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง และปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง แล้ววิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา เช่น ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด วิเคราะห์รูปแบบการดำเนินงานและผลการดำเนินงานของโครงการหลวง ตามระดับความคิดเห็นของเกษตรกรแต่ละประเด็น ตามมาตราวัด 5 ระดับ ของ Likert scale และแปรความหมายระดับความคิดเห็น โดยใช้วิธีนำค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (weight mean score) การวิเคราะห์เชิง

เนื้อหาและทำการทดสอบสมมติฐานโดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุ (multiple regression analysis)

ผลการศึกษา

ผลการศึกษา พบว่า เกษตรกรที่ตอบข้อมูล โดยส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 78.9 มีอายุเฉลี่ย 39.80 ปี และมีจำนวนเกษตรกรในครัวเรือน 1-3 คน ร้อยละ 77 มีรายได้ครัวเรือนเฉลี่ย 9,559.20 บาท/เดือน และมีหนี้สินครัวเรือนเฉลี่ย 101,110 บาท/ครัวเรือน ซึ่งหนี้สินโดยส่วนใหญ่เกิดจากกองทุนเงินล้านและการลงทุนเพื่อการเกษตร ซึ่งเป็นเงินที่ใช้หมุนเวียนในการลงทุนทำการเกษตร มีที่ดินถือครองเฉลี่ย 15.15 ไร่/ครัวเรือน โดยมีผลการดำเนินงานสรุป ดังนี้

1) รูปแบบการดำเนินงานในการส่งเสริมให้ ความรู้เกษตรกรในศูนย์พัฒนาโครงการหลวง 3 ด้าน ได้แก่ (1) จำนวนครั้งที่ได้รับการส่งเสริมศักยภาพเกษตรกรด้านการผลิตทางการเกษตร (2) การสนับสนุน/อำนวยความสะดวก และ (3) ด้านคุณภาพของเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง พบว่า ในภาพรวมทั้ง 3 ด้านอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.77$) แสดงให้เห็นว่าการดำเนินงานในการส่งเสริมให้ ความรู้แก่เกษตรกรในพื้นที่โครงการหลวงไม่ว่าจะเป็นจำนวนปริมาณที่ได้รับการส่งเสริม การสนับสนุนและคุณภาพของเจ้าหน้าที่เกษตรกรเห็นว่าการสนับสนุนในจำนวนมากแล้ว โดยแบ่งเป็นรายละเอียดแต่ละประเด็น ดังนี้

“จำนวนครั้งที่ได้รับการส่งเสริมศักยภาพเกษตรกรด้านการผลิตทางการเกษตร” ใน 6 ประเด็นย่อย ได้แก่ (1) อบรม (2) ศึกษาดูงาน (3) จัดทำแปลงสาธิต (4) วิทยากร (5) จัดเวทีชุมชน และ (6) ให้คำปรึกษาเยี่ยมชม พบว่า มีผลการดำเนินงานรวมทั้ง 6 ประเด็น อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.61$) แสดงให้เห็นว่า เกษตรกรได้รับการส่งเสริมในปริมาณมาก โดยเกษตรกรเห็นว่าเจ้าหน้าที่ได้ให้คำปรึกษา/เยี่ยมชมในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.53$) ส่วนการอบรม วิทยากร และจัดเวทีชุมชน ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.03, 3.63$ และ 3.95 ตามลำดับ) และจัดทำแปลงสาธิตในระดับน้อย ($\bar{X} = 2.53$)

“การสนับสนุน/อำนวยความสะดวก” ใน 5 ประเด็นย่อย ได้แก่ (1) พื้นที่ดำเนินการ/พื้นที่ให้เช่า/โรงเรียนให้เช่า (2) อุปกรณ์การเกษตรให้เช่า/ยืม (3) การแจกจ่ายปุ๋ย/สารกำจัดศัตรูพืช/เมล็ดพันธุ์ (4) การรับซื้อสินค้าและผลผลิตด้านการเกษตร (5) การพัฒนาคุณภาพผลผลิต พบว่ามีผลการดำเนินงานในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.47$) แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรได้รับการสนับสนุนอำนวยความสะดวกจากโครงการหลวงเป็นอย่างดี โดยเฉพาะเกษตรกรเห็นว่าเจ้าหน้าที่ได้รับซื้อสินค้า ผลผลิตด้านการเกษตร และพัฒนาคุณภาพผลผลิตในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.28$ และ 4.49) และมีการแจกจ่ายปุ๋ย/ยาฆ่าแมลง/เมล็ดพันธุ์ ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.51$) ในส่วนของการให้เช่ายืมอุปกรณ์การเกษตรในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 2.67$) และการให้เช่าโรงเรียนและพื้นที่ดำเนินงานในระดับน้อย ($\bar{X} = 2.38$) เนื่องจากอุปกรณ์และโรงเรียนมีอยู่จำนวนจำกัดจึงอาจจะไม่เพียงพอต่อเกษตรกรทุกราย

“ด้านคุณภาพของเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง” ใน 6 ประเด็นย่อย ได้แก่ (1) มีความรู้ความชำนาญด้านการเกษตร เหมาะสมกับการให้ความรู้แก่เกษตรกร (2) เข้าใจถึงสภาพปัญหาและสภาพพื้นที่อย่างแท้จริง (3) ทำงานร่วมกับคนในพื้นที่ได้ (4) มีความสม่ำเสมอและต่อเนื่องในการดำเนินงาน (5) มีความเต็มใจในการให้บริการ (6) ความเพียงพอของเจ้าหน้าที่สำหรับการให้บริการ พบว่า มีผลการดำเนินงานรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.25$) แสดงให้เห็นว่าเจ้าหน้าที่ของโครงการหลวงมีคุณภาพในการปฏิบัติงานมากที่สุด เนื่องจากเจ้าหน้าที่มีความรู้และเชี่ยวชาญในสาขาเกษตร ร้อยละ 77.3 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี และจบการศึกษาระดับปริญญาโท ในสาขาด้านการเกษตร ร้อยละ 17.4 รวมทั้งเจ้าหน้าที่มีประสบการณ์ทำงานในศูนย์พัฒนามากกว่า 10 ปี ถึงร้อยละ 72.37 โดยเกษตรกรเห็นว่าเจ้าหน้าที่ของโครงการหลวงมีความรู้ความชำนาญด้านการเกษตร เหมาะสมกับการให้ความรู้แก่เกษตรกร ทำงานร่วมกับคนในพื้นที่ได้ มีความสม่ำเสมอและต่อเนื่องในการดำเนินงาน และมีความเต็มใจในการให้บริการในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.38, 4.50, 4.34$ และ 4.50 ตามลำดับ) และเข้าใจถึงสภาพปัญหาและสภาพ

พื้นที่อย่างแท้จริง และความเพียงพอของเจ้าหน้าที่สำหรับการให้บริการ ระดับมาก ($\bar{X} = 4.07$ และ 3.72 ตามลำดับ)

2) ความรู้ที่เกษตรกรมีความเข้าใจหลังจากได้รับการส่งเสริมจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวง พบว่า เกษตรกรมีความรู้ด้านอาชีพ สังคม และสิ่งแวดล้อมภาพรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 3.7 แสดงให้เห็นว่าหลังจากที่เจ้าหน้าที่ส่งเสริมความรู้ให้เกษตรกรแล้วเกษตรกรมีความเข้าใจมากขึ้น รายละเอียด ดังนี้

ความรู้ **“ด้านอาชีพ”** จำนวน 12 ประเด็น ได้แก่ (1) พืชผัก (2) ไม้ผล (3) ไม้ดอก (4) พืชไร่ (5) ชา (6) กาแฟ (7) สมุนไพร (8) เกษตรอินทรีย์ (9) การจัดทำปุ๋ย (10) การเลี้ยงสัตว์ (11) ท่องเที่ยว และ (12) หัตถกรรม พบว่า ในภาพรวมเกษตรกรมีความเข้าใจหลังจากได้รับการส่งเสริมอยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ยรวม 2.95 แสดงให้เห็นว่า เกษตรกรยังมีความรู้ความเข้าใจด้านอาชีพในระดับปานกลาง เนื่องจากเมื่อเกษตรกรได้รับความรู้ด้านอาชีพแล้วจะต้องนำไปลงมือทดลองปฏิบัติจึงจะมีความเข้าใจและเห็นผลอย่างแท้จริง ดังนั้น เจ้าหน้าที่จะต้องมีการติดตามการนำไปปฏิบัติของเกษตรกรหลังจากได้รับการอบรมในเรื่องต่าง ๆ แล้ว รวมทั้งการติดตามให้คำปรึกษา โดยความรู้ที่เกษตรกรมีความเข้าใจในระดับมาก ได้แก่ พืชผัก พืชไร่ และการจัดทำปุ๋ย ($\bar{X} = 3.88, 3.43$ และ 3.53 ตามลำดับ) ความรู้ที่เกษตรกรมีความเข้าใจในระดับปานกลาง ได้แก่ ไม้ผล สมุนไพร เกษตรอินทรีย์ และการเลี้ยงสัตว์ ($\bar{X} = 3.05, 2.71, 3.25$ และ 3.29 ตามลำดับ) ความรู้ที่เกษตรกรมีความเข้าใจในระดับน้อย ได้แก่ ไม้ดอก ชา กาแฟ ท่องเที่ยว และหัตถกรรม ($\bar{X} = 2.57, 2.12, 2.45, 2.57$ และ 2.58 ตามลำดับ)

ความรู้ **“ด้านสังคม”** จำนวน 6 ประเด็น ได้แก่ (1) การรวมกลุ่มเพื่อการพัฒนาชุมชน (2) การอนุรักษ์ประเพณีวัฒนธรรม (3) ความเข้าใจโทษของยาเสพติด (4) การรักษาสุขภาพ (5) การวางแผนครอบครัว และ (6) การจัดทำแผนชุมชน พบว่า ในภาพรวมเกษตรกรมีความเข้าใจหลังจากได้รับการส่งเสริมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยรวม 3.86 แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรมีความรู้ด้านสังคมในปริมาณมาก โดยความรู้ที่เกษตรกรมีความเข้าใจในระดับมากที่สุด คือ ความเข้าใจโทษของยาเสพติด ($\bar{X} = 4.21$)

ส่วนความรู้อื่น ๆ เกษตรกรมีความเข้าใจหลังจากได้รับการส่งเสริมในระดับมาก

ความรู้ “ด้านสิ่งแวดล้อม” จำนวน 5 ประเด็น ได้แก่ (1) การอนุรักษ์ต้นน้ำ (2) การปลูกป่าชุมชน (3) การอยู่ร่วมกับป่า (4) การปลูกแฝก และ (5) การปลูกป่าสามอย่างประโยชน์สี่อย่าง พบว่า ในภาพรวมเกษตรกรมีความเข้าใจหลังจากได้รับการส่งเสริมอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยรวม 4.31 โดยความรู้ที่เกษตรกรมีความเข้าใจในระดับมากที่สุด คือ การอนุรักษ์ต้นน้ำ การปลูกป่าชุมชน และการอยู่ร่วมกับป่า ($\bar{x} = 4.58, 4.50$ และ 4.47 ตามลำดับ) และความรู้ที่เกษตรกรมีความเข้าใจในระดับมาก ได้แก่ การปลูกแฝก และการปลูกป่าสามอย่างประโยชน์สี่อย่าง ($\bar{x} = 4.07$ และ 3.91 ตามลำดับ)

3) ผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงต่อเกษตรกรในพื้นที่ ด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ในภาพรวม พบว่าผลการดำเนินงานอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย 3.88 แสดงให้เห็นว่าผลการดำเนินงานของโครงการหลวงประสบความสำเร็จในระดับมาก รายละเอียด ดังนี้

ผลการดำเนินงาน “ด้านเศรษฐกิจ” ใน 3 ประเด็นย่อย ได้แก่ (1) มีรายได้เพิ่มขึ้นจากเดิม (2) ทรัพย์สินเพิ่มขึ้น และ (3) หนี้สินลดลง พบว่า ในภาพรวมมีผลการดำเนินงานอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 3.75 แสดงให้เห็นว่าผลการดำเนินงานพัฒนาด้านเศรษฐกิจประสบความสำเร็จในระดับมาก โดยเกษตรกร มีรายได้เพิ่มขึ้นจากเดิม และมีทรัพย์สินเพิ่มขึ้น ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.14$ และ 3.80 ตามลำดับ) เกษตรกรมีหนี้สินลดลง ในระดับปานกลาง ($\bar{x} = 3.30$) แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรยังคงมีหนี้สินค้างอยู่

ผลการดำเนินงาน “ด้านสังคม” ใน 7 ประเด็นย่อย ได้แก่ (1) ได้รับการศึกษาดีขึ้น (2) การดูแลสุขภาพดีขึ้น (3) ยาเสพติดลดลง (4) การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรลดลง (5) การรวมกลุ่มเพื่อการพัฒนาชุมชนเพิ่มขึ้น (6) มีการอนุรักษ์ประเพณีวัฒนธรรมดั้งเดิมเพิ่มขึ้น และ (7) โครงสร้างพื้นฐานดีขึ้น เช่น ถนน ไฟฟ้า น้ำประปา พบว่า ในภาพรวมมีผลการดำเนินงานอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 3.94 แสดงให้เห็นว่าผลการดำเนินงานพัฒนาด้านสังคมประสบความสำเร็จในระดับ

มาก เนื่องจากเกษตรกรให้ความร่วมมือในการดำเนินกิจกรรมพัฒนาและมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้ามาร่วมพัฒนาด้านโครงสร้างพื้นฐาน

ผลการดำเนินงาน “ด้านสิ่งแวดล้อม” ใน 4 ประเด็นย่อย ได้แก่ (1) การบุกรุกพื้นที่ป่าลดลง (2) มีการอนุรักษ์พื้นที่ต้นน้ำเพิ่มขึ้น (3) การทำลายหน้าดินลดลง และ (4) การใช้สารเคมีในการเกษตรลดลง พบว่า ในภาพรวมการดำเนินงานอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 3.96 แสดงให้เห็นว่าผลการดำเนินงานพัฒนาด้านสิ่งแวดล้อมประสบความสำเร็จในระดับมาก โดยมีการอนุรักษ์พื้นที่ต้นน้ำเพิ่มขึ้น ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.24$) เกษตรกรมีการบุกรุกพื้นที่ป่าลดลง การทำลายหน้าดินลดลง และการใช้สารเคมีในการเกษตรลดลง ในระดับมาก ($\bar{x} = 3.74, 3.95$ และ 3.93 ตามลำดับ) เนื่องจากเกษตรกรเห็นคุณค่าของป่าไม้มากขึ้นและตระหนักถึงภัยหากมีการบุกรุกพื้นที่ป่าและทำลายต้นน้ำลำธาร

4) ปัจจัยที่มีผลต่อผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงในภาพรวม ด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม จากการวิเคราะห์โดยสถิติการวิเคราะห์ถดถอยพหุ (multiple regression analysis) พบว่า จากปัจจัยด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม 7 ปัจจัย ได้แก่ (1) จำนวนเกษตรกรในครัวเรือน (2) รายได้หลักของครัวเรือน (3) หนี้สิน (4) จำนวนที่ดินถือครอง (5) รูปแบบการดำเนินงาน (6) การสนับสนุน/อำนวยความสะดวก และ (7) คุณภาพเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง พบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มี 3 ตัวแปร ได้แก่ (1) จำนวนเกษตรกรในครัวเรือน (2) จำนวนครั้งที่ได้รับการส่งเสริมศักยภาพเกษตรกรด้านการผลิตทางการเกษตร และ (3) คุณภาพของเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ซึ่งหากครัวเรือนใดมีจำนวนเกษตรกรมาก หรือเกษตรกรได้รับการส่งเสริมในระดับมาก รวมทั้งคุณภาพของเจ้าหน้าที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงมีคุณภาพดี จะทำให้ผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงประสบความสำเร็จทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม รายละเอียด ดังตารางที่ 1

Table 1 Multiple regression analysis of factors affecting the operation of the Royal Project to the farmers, including the economy, society and environment

Variable	b	t	Sig
1) Age	.000	-.115	.909
2) Number of farmer in the households	.100	2.269	.027**
3) Family income (Baht/month)	1.344E-5	1.283	.204
4) Farmers Debt (Baht/year)	-2.176E-7	-.548	.586
5) Number of land holding (Rai)	-.002	-.397	.693
6) Promoted quantity	.365	4.163	.000***
7) Support /Provide facilities.	.017	.234	.815
8) Quality of officer in Royal Project	.365	3.164	.002***
Constant	0.630	1.051	.297
R ² = 0.513 SEE = 0.4435 F= 8.837 Sig. of F = .000			

** Significance at 0.05

*** Significance at 0.01

วิจารณ์

1) จากการศึกษการส่งเสริมให้ความรู้แก่เกษตรกรในพื้นที่โครงการหลวง พบว่าในภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยการดำเนินงานและการสนับสนุนอำนวยความสะดวกอยู่ในระดับมาก และด้านคุณภาพเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงอยู่ในระดับมากที่สุด เนื่องจากเจ้าหน้าที่ของโครงการหลวงโดยส่วนใหญ่มีความรู้ด้านการเกษตรและมีประสบการณ์ทำงานบนพื้นที่สูงมากกว่าสิบปีและได้รับการเพิ่มศักยภาพและความรู้ทักษะตลอดเวลาทำให้ผลการดำเนินงานและการอำนวยความสะดวกตรงกับความต้องการของเกษตรกร ซึ่งสอดคล้องกับที่ ดิเรก (2524) ได้กล่าวไว้ว่า เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรมีหน้าที่เป็นผู้ชี้แนะเกษตรกร เป็นผู้ถ่ายทอดความรู้ เป็นผู้กระตุ้นให้เกษตรกรรู้จักปัญหาและความต้องการ และเป็นผู้กระตุ้นให้เกษตรกรเกิดความเชื่อมั่นและสอดคล้องกับงานวิจัยของ จักรพงษ์ (2545) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพของเกษตรกรรายย่อยในจังหวัดเชียงใหม่ คือ เจ้าหน้าที่ส่งเสริม ซึ่งเป็นผู้คอยให้ข้อมูล คำแนะนำต่าง ๆ

2) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหลายตัวกับตัวแปรตาม ผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม พบว่า ตัวแปรที่เกี่ยวข้องหรือมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง มีจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ (1) จำนวนเกษตรกรในครัวเรือน (2) จำนวนครั้งที่ได้รับการส่งเสริมศักยภาพเกษตรกรด้านการผลิตทางการเกษตร และ (3) คุณภาพของเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ซึ่งตัวแปรเหล่านี้สามารถนำมาอภิปรายผลการศึกษา ได้ดังนี้

(1) จำนวนเกษตรกรในครัวเรือน

จำนวนเกษตรกรในครัวเรือนมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เนื่องจากครัวเรือนบนพื้นที่สูงส่วนใหญ่มีสัดส่วนจำนวนสมาชิกต่อครัวเรือนค่อนข้างสูง โดยพบว่าครัวเรือนที่มีจำนวนเกษตรกรมากจะทำให้ผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงในภาพรวมของด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ได้มากกว่าครัวเรือนที่มีจำนวนเกษตรกรน้อย เนื่องจากมีโอกาสได้รับความรู้จากการส่งเสริมและ

ถ่ายทอดจากเจ้าหน้าที่ของโครงการหลวง และโอกาสด้านแรงงานมากกว่า ซึ่งผลการศึกษาค้นคว้าจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปฏิมา (2543) ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการเลี้ยงโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสนของเกษตรกรรายย่อยในอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม พบว่า การมีแรงงานในครอบครัวมากมีแนวโน้มที่ทำให้เกษตรกรยอมรับการเลี้ยงโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสนมาก และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ภาณุวัฒน์ (2548) ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจเข้าร่วมโครงการขยายผลของศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่า จำนวนแรงงานในครัวเรือนมีผลต่อการเข้าร่วมโครงการขยายผล

(2) จำนวนครั้งที่ได้รับการส่งเสริมศักยภาพเกษตรกรด้านการผลิตทางการเกษตร

ปริมาณการได้รับการส่งเสริมมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม แสดงว่า จำนวนครั้งในการส่งเสริมและถ่ายทอดความรู้ของเจ้าหน้าที่ที่ส่งเสริมความรู้แก่เกษตรกรด้วยวิธีการต่าง ๆ มีผลต่อผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลการศึกษาค้นคว้าจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ รุ่งนภา (2548) กล่าวว่า ประสิทธิภาพฝึกอบรมมีความสัมพันธ์กันอย่างมากมีนัยสำคัญทางสถิติกับความสำเร็จของโรงสีข้าวชุมชนในเชิงบวก คือ สมาชิกที่มีประสิทธิภาพในการฝึกอบรมมาก จะส่งผลให้โรงสีข้าวชุมชนประสบความสำเร็จมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เทียมหทัย (2544) ที่กล่าวว่า การส่งเสริมให้มีการฝึกอบรมให้ความรู้ในการประกอบกิจกรรมแก่สมาชิกส่งผลให้สมาชิกมีความรู้เพิ่มมากขึ้นและสามารถปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้กลุ่มประสบความสำเร็จ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เลอภพ (2536) อ้างใน เอกชัย (2545) พบว่าการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ที่มีความสัมพันธ์กับการยอมรับคำแนะนำวิธีปฏิบัติการปลูกกาแฟอาราบิก้าของชาวเขาเผ่าม้ง ในจังหวัดเชียงใหม่

(3) คุณภาพของเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง

คุณภาพของเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม แสดงว่า เจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงมีคุณภาพมาก เนื่องจากเจ้าหน้าที่ของโครงการหลวงโดยส่วนใหญ่จบการศึกษาด้านการเกษตรในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท มีประสบการณ์ทำงานบนพื้นที่สูงมากกว่าสิบปีและได้รับการเพิ่มศักยภาพและความรู้ทักษะตลอดเวลาทำให้ผลการดำเนินงานและการอำนวยความสะดวกตรงกับความต้องการของเกษตรกร จะทำให้ผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ดีกว่าการที่เจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงมีคุณภาพน้อย ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ ดิเรก (2524) กล่าวว่า ในการเปลี่ยนแปลงนวัตกรรม (Innovation) ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะนวัตกรรมนั้นเป็นเทคโนโลยีทางการเกษตรแล้วมีปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ปัจจัยที่เป็นเงื่อนไขหรือสถานการณ์โดยทั่วไป ปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยตรง และปัจจัยเกี่ยวกับผู้นำการเปลี่ยนแปลง และ สีน (2544) ได้กล่าวว่า การที่เกษตรกรจะยอมรับเทคโนโลยีนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ คือ ลักษณะของเทคโนโลยี เจ้าหน้าที่ส่งเสริม และเกษตรกร แสดงให้เห็นได้ว่าเจ้าหน้าที่มีส่วนสำคัญอย่างมากที่จะทำให้ผลการดำเนินงานประสบความสำเร็จ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ บัวทอง และวรทัศน์ (2556) กล่าวว่า ปัจจัยการยอมรับการส่งเสริมการเลี้ยงโคเนื้อของเกษตรกร อำเภอหนองแสด จังหวัดเชียงใหม่ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว คือ การติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริม อายุ รายได้จากการขายโค จำนวนโคที่เลี้ยง และการได้รับข้อมูลข่าวสาร

สรุป

จากการศึกษา พบว่ารูปแบบการดำเนินงานในการส่งเสริมให้ความรู้แก่เกษตรกร 3 ด้าน ได้แก่ (1) ปริมาณการได้รับการส่งเสริม (2) การสนับสนุนอำนวยความสะดวก และ (3) ด้านคุณภาพของเจ้าหน้าที่ศูนย์

พัฒนาโครงการหลวง พบว่า ในภาพรวมทั้ง 3 ด้าน อยู่ในระดับมาก โดยด้านคุณภาพเจ้าหน้าที่อยู่ในระดับมากที่สุด และปริมาณการได้รับการส่งเสริมและการสนับสนุนอำนวยความสะดวกอยู่ในระดับมาก แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการดำเนินงานในการส่งเสริมให้ความรู้แก่เกษตรกรของโครงการหลวงจะเน้นเรื่องคุณภาพของเจ้าหน้าที่เป็นสิ่งสำคัญที่สุด

ความรู้ที่เกษตรกรมีความเข้าใจหลังจากได้รับการส่งเสริมจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ด้านอาชีพ สังคม และสิ่งแวดล้อมภาพรวมอยู่ในระดับมาก แสดงให้เห็นว่าหลังจากที่เจ้าหน้าที่ส่งเสริมความรู้ให้เกษตรกรแล้วเกษตรกรมีความเข้าใจมากขึ้น

ผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงต่อเกษตรกรในพื้นที่ ด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในภาพรวม พบว่าทุกประเด็นอยู่ในระดับมาก แสดงให้เห็นว่าผลการดำเนินงานของโครงการหลวงประสบความสำเร็จในทั้งสามด้านควบคู่กันไป

ปัจจัยที่มีผลต่อผลการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม มี 3 ตัวแปร ได้แก่ (1) จำนวนเกษตรกรในครัวเรือน (2) ปริมาณการได้รับการส่งเสริม และ (3) คุณภาพของเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ดังนั้นการจะพัฒนาพื้นที่สูงให้ประสบผลสำเร็จจะต้องคัดเลือกส่งเสริมให้กับครัวเรือนที่มีจำนวนเกษตรกรเพียงพอที่จะทำการเกษตร หรือประกอบอาชีพการเกษตรโดยตรง รวมทั้งจะต้องได้รับการส่งเสริมให้ความรู้ในปริมาณที่เพียงพอ และเจ้าหน้าที่ที่จะเข้าไปปฏิบัติงานในพื้นที่โดยเจ้าหน้าที่ที่เข้าไปทำงานในพื้นที่เป็นผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญ ทำงานร่วมกับคนในพื้นที่ ทำงานแบบต่อเนื่อง และสม่ำเสมอ และมีความเต็มใจในการให้บริการ

เอกสารอ้างอิง

กองพัฒนาเกษตรที่สูง. 2543. กองพัฒนาเกษตรที่สูง. รายงานประจำปี 2543. หน้า 58.
จักรพงษ์ วงศาพาน. 2545. ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพของเกษตรกรย่อย ในจังหวัดเชียงใหม่. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาส่งเสริมการเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 70 หน้า.

ดิเรก ถุกรทรัพย์. 2524. การส่งเสริมการเกษตร : หลักการและวิธีการ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 249 หน้า.

เทียมหทัย ไชยจันทร์. 2544. ความสำเร็จในการดำเนินงานกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรในจังหวัดขอนแก่น. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 97 หน้า

บัวทอง แก้วหล้า และ วรทัศน์ อินทร์คัมพร. 2556. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการยอมรับการส่งเสริมการเลี้ยงโคเนื้อของเกษตรกร ในอำเภอหนองแฮด จังหวัดเชียงใหม่ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว. วารสารเกษตร 29(3): 267-275.

ปฏิมา เพ็ชรประยูร. 2543. ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการเลี้ยงโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสนของเกษตรกรรายย่อยในอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 113 หน้า.

ภาณุวัฒน์ ไชยมะโน. 2548. ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจของเกษตรกรในการเข้าร่วมโครงการขยายผลของศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 102 หน้า.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2553. สภาวะเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกรในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ปี พ.ศ. 2551/2552. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เสนอสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). หน้า 103.

มูลนิธิโครงการหลวง. 2553. รายงานประจำปี 2552. รายงาน. มูลนิธิโครงการหลวง, กรุงเทพฯ. 114 หน้า

มูลนิธิโครงการหลวง. 2555. ความเป็นมา. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล : <http://www.>

-
- royalprojectthailand.com/about. (30 เมษายน 2555).
- รุ่งนภา นาคเพ็ง. 2548. ลักษณะของสมาชิกที่มีผลต่อความสำเร็จของโรงสีข้าวชุมชนจังหวัดพิจิตร. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย สาขาส่งเสริมการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 78 หน้า.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). 2550. แผนแม่บทศูนย์พัฒนาโครงการหลวง ระยะ 4 ปี พ.ศ. 2550-2554. แผนแม่บท. สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, เชียงใหม่. 136 หน้า.
- สิน พันธุ์พินิจ. 2544. การส่งเสริมการเกษตร. รวมสาส์น กรุงเทพมหานคร. 579 หน้า.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2553. รายงานโครงการจัดทำยุทธศาสตร์การพัฒนาและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติบนพื้นที่สูงภาคเหนือ. สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). หน้า 137.
- เอกชัย ตั้งบริบูรณ์รัตน์. 2545. ปัจจัยที่มีผลต่อการเข้าร่วมของเกษตรกรในโครงการผลิตเมล็ดพันธุ์ศูนย์ขยายพันธุ์พืชที่ 7 จังหวัดเชียงใหม่. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 112 หน้า.
-

สมรรถภาพการเจริญเติบโตและองค์ประกอบซากของ ไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก

Growth Performance and Carcass Composition of Native Chicken Reared by Germinated Rice

ถนอม ทาทอง^{1/} สันติสุข วรวัฒนธรรม^{2/} และ มนต์รี วรกฎ^{2/}
Tanom Tathong^{1/}, Santisook Worawattanatham^{2/} and Montree Worrakot^{2/}

Abstract: The aims of this research were to study on carcass quality of Thai indigenous chicken-reared by germinated rice. The three groups of chicken randomized initial weight between 460-540, 541-620 and 680-760 g. The experimental design was randomized complete block design (RCBD). Seventy two chickens with two treatments, three block and two replications was raising and fed with germinated rice, paddy and water *ad libitum*. After feeding trail for 84 days, they were slaughtered in order to determine carcass compositions respectively. The growth performance in terms of FCR and FI of chicken supplementation with germinated rice was letter than chicken supplemented with paddy rice ($P<0.05$).

The result showed that the carcass composition of chicken supplementation with germinated rice had breast, pellet, drum stick, thigh, wing, wing stick, bone, shank and neck were lower than chicken supplemented with paddy ($P<0.05$) while percentage of head was higher ($P<0.05$). The gut composition showed that gizzard and intestine of chicken with paddy were higher than with germinated rice ($P<0.05$) while the other gut were similar between group ($P>0.05$).

Keywords: Growth performance, carcass composition, germinated rice

^{1/} สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม อ.เมือง จ.นครพนม 48000

^{1/} Department of Food Technology, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Maung District, Nakhon Phanom Province, Thailand, 48000

^{2/} สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม อ.เมือง จ.นครพนม 48000

^{2/} Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Maung District, Nakhon Phanom Province, Thailand, 48000

บทคัดย่อ: การศึกษาสมรรถนะการเจริญเติบโต และองค์ประกอบซากของไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ทรีตเมนต์ ๆ ละ 3 บล็อก ๆ ละ 2 ซ้ำ ๆ ละ 6 ตัว ใช้ไก่พื้นบ้านทั้งหมด 72 ตัว แยกเป็นเพศผู้ 36 ตัวและเพศเมีย 36 ตัว สัตว์ทดลองน้ำหนักเริ่มต้นระหว่าง 460-540 กรัม 541-620 กรัม และ 680-760 กรัม ใช้เวลาในการศึกษาเป็นระยะเวลา 84 วัน จากนั้นทำการชำแหละแยกชิ้นส่วนเพื่อหาองค์ประกอบซาก สรุปได้ดังนี้สมรรถภาพการเจริญเติบโตพบว่า ไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกมีน้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย และน้ำหนักก่อนฆ่า สูงกว่าไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกไม่งอก ($P<0.05$) ประสิทธิภาพของการใช้อาหารพบว่า การใช้อาหารของไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก มีปริมาณการกินได้ทั้งหมด ปริมาณอาหารที่กินได้ต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวทั้งหมด มีค่าสูงกว่าไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกไม่งอก ($P<0.05$)

องค์ประกอบซากของไก่พื้นเมืองส่วนที่กินได้ พบว่าไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกมี เนื้ออก เนื้อสันใน เนื้อน่อง เนื้อสะโพก ปีกบน ปีกล่าง ไค้กระดูก แข้ง และคอ ต่ำกว่าไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือก ($P<0.05$) องค์ประกอบซากส่วนที่กินไม่ได้ พบว่า ไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกมีเปอร์เซ็นต์ หัว สูงกว่าการเลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก ($P<0.05$) อวัยวะภายในพบว่า กึ้นและลำไส้ ของไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกมีค่าสูงกว่าการเลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก ($P<0.05$) และไก่ที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกมี ตับ หัวใจ และม้าม ไม่แตกต่างกันกับการเลี้ยงด้วยข้าวเปลือก ($P>0.05$)

คำสำคัญ: สมรรถภาพการเจริญเติบโต องค์ประกอบซาก ข้าวเปลือกงอก

คำนำ

การเลี้ยงไก่พื้นเมืองของเกษตรกรในชนบทปัจจุบันมีการเลี้ยงแบบปล่อยในไร่ นา ปล่อยตามสวนหลังบ้าน โดยให้หาอาหารกินตามธรรมชาติและเสริมข้าวเปลือกหรือปลายข้าวที่ซื้อจากโรงสีขนาดเล็กในท้องถิ่นเป็นครั้งคราว ถ้าเกษตรกรเลี้ยงเป็นจำนวนมากจะเลี้ยงแบบขังคอกแล้วให้อาหารสำเร็จรูปกินเสริมทำให้มีต้นทุนเพิ่มมากขึ้นซึ่ง Tathong *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาคุณภาพซากและเนื้อไก่พื้นเมืองเพศผู้ที่ปล่อยเลี้ยงตามธรรมชาติ โดยการสุ่มจากเกษตรกรรายย่อยของเกษตรกรในจังหวัดนครพนม ซึ่งเป็นฟาร์มที่ลงทะเบียนกับปศุสัตว์จังหวัด พบว่าไก่พื้นเมืองเพศผู้มีน้ำหนักเฉลี่ยก่อนฆ่าสูงกว่าไก่พื้นเมืองเพศเมีย ($P<0.05$) องค์ประกอบซากของเนื้ออก เนื้อสะโพก ปีกบน ปีกล่าง ไค้กระดูก แข้ง หัว และคอ ของไก่เพศผู้มีน้ำหนักมากกว่าเพศเมีย ($P<0.05$) เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักซาก พบว่า เนื้ออก และสันใน ของไก่พื้นเมืองเพศเมียมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าไก่พื้นเมืองเพศผู้ ($P<0.05$) ส่วนเนื้อ สะโพก ปีกบน ปีกล่าง แข้ง หัว และคอของไก่พื้นเมือง

เพศผู้มีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าไก่พื้นเมืองเพศเมีย ($P<0.05$) ส่วนอวัยวะภายในในส่วนของตับ และลำไส้ของไก่พื้นเมืองเพศผู้มีน้ำหนักสูงกว่าไก่เพศเมีย ($P<0.05$) เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักซาก พบว่า ตับ และลำไส้ ของไก่พื้นเมืองเพศผู้มีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าไก่เพศเมีย ($P<0.05$) ค่าความเป็นสเล็ลิ่ง และค่าแรงตัดผ่านเนื้อของไก่พื้นเมืองเพศเมียมีค่าสูงกว่าไก่พื้นเมืองเพศผู้ ($P<0.05$) ตามลำดับ

ข้าวเปลือกงอก (germinated rice) เป็นข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการทำให้งอกก่อนหว่านเมล็ดข้าวปลูกในนาข้าว ตามปกติในข้าวเปลือกจะมีสารอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดไขมัน วิตามินซี วิตามินอี ฯลฯ เมื่อน้ำแทรกเข้าไปในเมล็ดข้าวเปลือก จะทำให้เกิดภาวะเจริญเติบโตมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยเอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการงอกเมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก (malting) สารอาหารในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประเภท คาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็ก (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) โปรตีนภายในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยให้กลายเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ เกิดการ

สะสมสารเคมีสำคัญต่าง ๆ เช่น แกมมาออราซินอล (gamma-oryzanol) โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (gamma-aminobutyric acid) รายงานโดยจุไรทิพย์ (2549) ในระหว่างการงอกของข้าวเปลือกพันธุ์ กข6 ที่แช่น้ำ 48 ชั่วโมง มีการเพิ่มขึ้นของสารอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยโปรตีนมีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.55-12.74 มีปริมาณ reducing sugar เพิ่มขึ้น ปริมาณ gamma-oryzanol เพิ่มขึ้นร้อยละ 47.64-98.55 ปริมาณ alpha-tocopherol เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.64-45.85 การงอกทำให้ข้าวมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นและปริมาณโปรตีนยับยั้งในข้าวเปลือกพันธุ์ กข6 ก่อนงอกเท่ากับร้อยละ 8.289 หลังงอกเท่ากับร้อยละ 9.043 เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.34 (ณัฐวัตร, 2550) การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และองค์ประกอบซากของไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก

วิธีการทดลอง

สัตว์ทดลองที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นไก่พื้นเมืองน้ำหนักเริ่มต้นตั้งแต่ 460-760 กรัม วางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) มี 2 ทรีตเมนต์ 3 บล็อก แต่ละบล็อกมี 2 ซ้ำ ๆ ละ 6 ตัว คณะเพศมีเพศผู้ 3 ตัว เพศเมีย 3 ตัว คือ ทรีตเมนต์ที่ 1 คือ ข้าวเปลือกงอก ทรีตเมนต์ที่ 2 คือ ข้าวเปลือก บล็อกมี 3 บล็อก คือ น้ำหนักเริ่มต้นที่ 460-540 กรัม 541-620 กรัม และ 680-760 กรัม ตามลำดับทำการเลี้ยง 84 วัน โดยไก่ได้รับข้าวเปลือกข้าวเปลือกงอก และน้ำอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) ภายใต้สภาพการปล่อยในแปลงหญ้าธรรมชาติ ในขณะที่ทำการเลี้ยงทำการชั่งน้ำหนักทุก 15 วัน เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโต (average daily gain; ADG) ปริมาณอาหาร

ที่กิน (feed intake; FI) และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio; FCR) จากนั้นนำมาคอดอาหารก่อนฆ่า 8 ชั่วโมง เพื่อวัดคุณภาพซากตามวิธีการของสุทธิพงศ์ และธีรยุทธ (2542)

การเตรียมข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอกที่จะใช้ในการทดลองตามวิธีของ สาคร (2555) ส่วนการสุ่มข้าวเปลือกทั้งสองชนิดส่งวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาและสารกาบาตามวิธีของณัฐวัตร (2550)

วิธีการศึกษาคุณภาพซากตามวิธีการของสุทธิพงศ์ และธีรยุทธ (2542) ส่วนการตัดแต่งซากทำการศึกษาตามวิธีการของสัจชัย (2547) คือ การศึกษาคุณภาพซาก และองค์ประกอบของซากของไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกเก็บข้อมูลจากการชำแหละ คือน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักหลังถอนขน น้ำหนักหลังเอาเครื่องในออก เนื้ออก สันใน ปีก น่อง สะโพก ไค้กระดูก หัวใจ ตับ กึ๋น หัว แข้งรวมเท้า คอ ไข้รวม ม้าม เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างผลของการใช้ข้าวเปลือกงอกและข้าวเปลือกไม่งอก

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย group t-test ตามวิธีของ Steel and Torrie (1980)

ผลและวิจารณ์

ปริมาณโปรตีนหยาบ (crude protein) ข้าวเปลือกงอกพันธุ์ กข6 พบว่าข้าวเปลือกมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบเท่ากับ 7.08 และข้าวเปลือกงอกเท่ากับ 8.24 ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.38 (ตารางที่ 1) แตกต่างกับณัฐวัตร (2550) รายงานว่าข้าวเปลือกพันธุ์ กข6 มีโปรตีนก่อนงอกเท่ากับร้อยละ 8.29 หลังงอกร้อยละ 9.04 เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.34 ส่วนสาร gamma-oryzanol เพิ่มขึ้นร้อยละ 47.64-98.55 alpha-tocopherol เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.64-45.85

Table1 Crude protein of Kokor 6 rice

Kokor 6 rice	Crude protein (%)
Paddy	7.08
Germinated rice	8.24

สมรรถภาพการเจริญเติบโต

สมรรถนะการเจริญเติบโตไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกและข้าวเปลือก (ตารางที่ 2) พบว่าน้ำหนักก่อนฆ่าและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกมีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 689 กรัม น้ำหนักสุดท้ายเท่ากับ 1,103.68 กรัม และน้ำหนักก่อนฆ่า 1,044.93 กรัม ตามลำดับสูงกว่าไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าที่ได้แตกต่างกับเกรียงไกร และคณะ (2527) รายงานว่าโดยทั่วไปน้ำหนักตัวเฉลี่ยของไก่พื้นเมืองอายุ 12 สัปดาห์เท่ากับ 951 กรัม หรือเท่ากับมีการเจริญเติบโตวันละ 11.32 กรัม โดยการศึกษาในครั้งนี้ไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกมีน้ำหนักสุดท้ายของการเลี้ยงเฉลี่ยเท่ากับ 1,001.53 กรัม และไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 1,103.68 กรัมซึ่งมีน้ำหนักก่อนฆ่าใกล้เคียงกับพนมกร และมนตรี (2552) รายงานว่าไก่พื้นเมืองเพศผู้ที่ปล่อยเลี้ยงตามธรรมชาติอายุ 5 เดือน มีน้ำหนักเฉลี่ยก่อนฆ่าสูงกว่าไก่พื้นเมืองเพศเมีย ($P<0.05$) โดยเพศผู้ น้ำหนักเฉลี่ย 1,092.66 กรัม และเพศเมียมีน้ำหนักเฉลี่ย 959.49 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้วีรชัย (2527) รายงานว่าอัตราการเจริญเติบโตของลูกไก่พื้นเมืองอายุ 1-4½ เดือน ภายใต้สภาพการเลี้ยงดูในชนบทที่มีการเจริญเติบโตวันละ 10.48 กรัม ซึ่งสูงกว่าการศึกษาในครั้งนี้ มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่า คือเลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก 5.24 และเลี้ยงด้วยข้าวเปลือกไม่งอกเท่ากับ 5.24 ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ไก่พื้นเมืองเลี้ยงด้วยอาหารไก่ไข่ที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 15 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออายุครบ 20 สัปดาห์ มีน้ำหนักเฉลี่ยที่ 1,699.44 กรัม ซึ่งเป็นน้ำหนักที่สูงกว่าการทดลองในครั้งนี้อย่างมาก เป็นผลมาจากการได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงกว่านั่นเอง (อานวย และคณะ, 2539)

ประสิทธิภาพการใช้อาหารพบว่าไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกมีการกินได้ทั้งหมดปริมาณอาหารที่กินได้ต่อตัวสูงกว่าไก่ที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) ใกล้เคียงกับสวัสดิ์ และคณะ (2525) รายงานว่าโดยเฉลี่ยแม่ไก่พื้นเมืองกินอาหารวันละ 73.55 กรัม และไก่สาวพื้นเมืองเมื่ออายุประมาณ 6 เดือน กินอาหารโดยเฉลี่ยวันละ 74.9, 74.46 และ 71.29 กรัม โดยใช้อาหารชั้นระดับโปรตีน 10, 12 และ 15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและอุทัย (2529) กล่าวว่าระดับพลังงานใช้ประโยชน์ได้จะเป็นตัวควบคุมปริมาณการกินของสัตว์ หากสูตรอาหารมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ลดลง สัตว์จะกินอาหารเพิ่มขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ

การศึกษาเปอร์เซ็นต์ซากและองค์ประกอบซากไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก พบว่า เปอร์เซ็นต์ซากไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกมีค่าต่ำกว่าไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับ 82.46 และ 85.74 ตามลำดับ มีค่าต่ำกว่าทรงยศ และคณะ (2546) ได้ศึกษาเปอร์เซ็นต์ซากของไก่พื้นเมืองไทย พบว่า ไก่พื้นเมืองไทยมีเปอร์เซ็นต์ซากที่ 91.9 เปอร์เซ็นต์ เป็นไปได้ว่า

Table 2 Growth performance of native chicken with germinated brow rice

Trait	Type of rice		Sig
	Germinated rice	Paddy	
Initial weight (g)	561.67	689.00	*
Final weight (g)	1,001.53	1,103.68	*
Feed intake (kg)	3.34	3.07	*
Average daily grain (ADG)	5.24	5.28	ns
Feed conversion rate (FCR)	7.58	6.97	*
Weight before slaughter (g)	900.27	1005.67	ns

* within the row means bearing the same superscript differ significantly at $P<0.05$

ns within the row means bearing the same superscript differ not significantly at $P<0.05$

ข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการงอกได้ใช้พลังงานสำรองในเมล็ดเพื่อการเจริญเติบโตไปบางส่วน ไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก จึงได้รับพลังงานจากอาหารต่ำกว่าข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้งอกทำให้มีเปอร์เซ็นต์ซากที่ได้ต่ำกว่าข้าวเปลือก

องค์ประกอบซากไก่พื้นเมืองส่วนที่กินได้ (ตารางที่ 3) พบว่าไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกมีเนื้ออกสันใน น่อง สะโพก ปีกบน และปีกล่างไม่แตกต่างกับไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือก ($P>0.05$) ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโปรตีนของข้าวนั้นปรากฏว่าข้าวเปลือกงอกมีโปรตีนที่สูงกว่าข้าวเปลือก อย่างไรก็ตาม อุทัย (2529) รายงานว่าการที่สัตว์ได้รับอาหารที่มีปริมาณโปรตีนไม่เพียงพอแก่ความต้องการจะมีผลทำให้การสร้างเนื้อแดงน้อยลงและมีการเจริญเติบโตลดลง โดยไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 13.91, 17.36 และ 19.82 เปอร์เซ็นต์ จะมีเปอร์เซ็นต์ซากส่วนที่กินได้ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.12 เปอร์เซ็นต์

องค์ประกอบซากของไก่พื้นเมืองส่วนที่กินไม่ได้ (ตารางที่ 4) พบว่าไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกมีเปอร์เซ็นต์ หัวสูงกว่าการเลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก ($P<0.05$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.14 และ 6.10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไก่ที่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก มี โครงกระดูก แข็ง คอ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือก ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของอุดมศรี และคณะ (2539) ที่กล่าวไว้ว่าไก่ลูกผสม NSRB ซึ่งฆ่าที่อายุ 12, 16 และ 20 สัปดาห์ มีเปอร์เซ็นต์ซากส่วนที่กินได้เฉลี่ยเท่ากับ 80.85 เปอร์เซ็นต์

อวัยวะภายในของไก่พื้นเมือง (ตารางที่ 5) พบว่า ไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกมีกึ้นและลำไส้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.65, 6.49 เปอร์เซ็นต์ และ 6.80, 10.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับส่วนไก่ที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกมี ตับ หัวใจ และม้าม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือก

Table 3 Carcass composition of retail cuts from native chicken

Trait	Type of rice		Sig
	Germinated rice	Paddy	
Carcass percentage	82.46 ^b	85.74 ^a	*
Breast meat	10.69	11.51	ns
Fillet	4.39	4.60	ns
Drum stick	13.90	13.99	ns
Thigh	15.89	16.62	ns
Wing	5.89	6.64	ns
Wing stick	6.18	6.51	ns

* within the row means bearing the same superscript differ significantly at $P<0.05$

ns within the row means bearing the same superscript differ not significantly at $P<0.05$

Table 4 Carcass composition of external organ form native chicken

Trait	Type of rice		Sig
	Germinated rice	Paddy	
Bone	21.66	21.59	ns
Shank	5.74	6.10	ns
Head	5.14 ^b	6.10 ^a	*
Neck	8.19	8.63	Ns

* with difference column was significant at 95% ($P<0.05$)

ns with difference column was not significant at 95% ($P>0.05$)

Table 5 Guts composition of native chicken

Trait	Type of rice		Sig
	Germinated rice	Paddy	
Liver	3.80	3.30	ns
Gizzard	5.65 ^b	6.49 ^a	*
Heart	0.67	0.64	ns
Spleen	0.56	0.66	ns
Intestine	6.80 ^b	10.11 ^a	*

* with difference column was significant at 95% ($P<0.05$)

ns with difference column was not significant at 95% ($P>0.05$)

สรุป

การศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตพบว่า ไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกมีน้ำหนักเริ่มต้น น้ำหนักสุดท้าย และน้ำหนักก่อนฆ่าสูงกว่าไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก ($P<0.05$) ประสิทธิภาพของการใช้อาหารของไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก พบว่า มีอัตราการกินได้ทั้งหมด ปริมาณอาหารที่กินได้ต่อตัว เปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว มีค่าสูงกว่าไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือก ($P<0.05$)

องค์ประกอบซากของไก่พื้นเมืองส่วนที่กินได้พบว่า ไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกมี เนื้ออก สันใน น่อง สะโพก ปีกบน ปีกล่าง ไคกระดูก แข้ง และคอ ไม่แตกต่างกันกับไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือก องค์ประกอบซากส่วนที่กินไม่ได้ไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกมีเปอร์เซ็นต์ หัว สูงกว่าการเลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก ($P<0.05$) อวัยวะภายในได้แก่ก้นและลำไส้ไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกมีค่าสูงกว่าการเลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอก ($P<0.05$) และไก่ที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกมี ดิบ หัวใจ และม้าม ไม่แตกต่างกันกับการเลี้ยงด้วยข้าวเปลือก ส่วนเปอร์เซ็นต์ซากนั้นไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกงอกมีค่าต่ำกว่าไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยข้าวเปลือกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

- เกรียงไกร ไชยประการ สวัสดิ์ ธรรมบุตร นิยมศักดิ์ อุทุม และ วรพงษ์ สุริยจันทร์ ทาทอง. 2527. การศึกษาอัตราการตายและอัตราการเจริญเติบโตของไก่พื้นเมือง. รายงานการประชุมวิชาการสาขาสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 22 กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 107 หน้า.
- จุไรทิพย์ หวังสินทวีกุล. 2549. มหัศจรรย์ของความเป็นข้าว. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://pcog.pharmacy.psu.ac.th> (1 มกราคม 2556).
- ณัฐวัตร แซ่ตั้ง. 2550. การศึกษาสารอาหารและการออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวงอก. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 97 หน้า.
- ทรงยศ กิตติชนม์ ธวัชชัยภูมิ บัญชาศักดิ์ สำเร็จ ไพบุญ และ อมรรัตน์ พรหมบุญ. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพซากของไก่พื้นเมืองไทย ไก่พื้นเมืองญี่ปุ่น และไก่ลูกผสมพื้นเมืองไทย x พื้นเมืองญี่ปุ่น. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41: กรุงเทพฯ. 88 หน้า.

- พนมกร ลุนลาน และ มนตรี วรรณ. 2552. การศึกษาคุณภาพซาก องค์ประกอบซาก และคุณภาพเนื้อของไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงแบบธรรมชาติในจังหวัดนครพนม. รายงานฉบับสมบูรณ์ สาขาวิชาสัตวศาสตร์. วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครพนม. มหาวิทยาลัยนครพนม. 103 หน้า.
- วีรชัย โพธิ์วาระ. 2527. การเจริญเติบโตของไก่พื้นเมืองในช่วงปลายฤดูฝนต่อฤดูหนาวภายใต้สภาพการเลี้ยงดูในชนบท. รายงานประจำปี 2527-2528 สำนักงานเกษตรภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.
- สุทธิพงศ์ อริยะวงศ์สรค์ และ ธีรยุทธ จันทะนาม. 2542. บทปฏิบัติการเนื้อสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 117 หน้า.
- สัญญา จตุรลิตธา. 2547. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 332 หน้า.
- สวัสดิ ธรรมบุตร และ เกรียงไกร โชประการ. 2525. อัตราการเจริญเติบโต และความต้องการโปรตีนของไก่พื้นเมืองที่ถูกเลี้ยงในสภาพชนบท. หน้า 98-108. ใน: รายงานผลวิจัยสาขาสัตวศาสตร์. การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 20 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.
- สาคร คณาศรี. 2555. ขั้นตอนการผลิตข้าวฮางอก. สหกรณ์ข้าวฮางหนองบัวลำภูจำกัด จังหวัดหนองบัวลำภู.
- อุทัย คันโอ. 2529. อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก. ฉบับเรียบเรียงครั้งที่ 2. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม. 297 หน้า.
- อุดมศรี อินทรโชติ รัชดาวรรณ พูนพิพัฒน์ และ กัลยา บุญญานวัตร. 2539. การเจริญเติบโต คุณภาพซากของไก่ลูกผสมพื้นเมือง. ประมวลเรื่องประชุมวิชาการปศุสัตว์ ครั้งที่ 15 ประจำปี 2529 วันที่ 4-6 กันยายน 2539. กรมปศุสัตว์. หน้า 303-314.
- อำนวย เลี้ยวธารากุล พชรินทร์ สนั่นไพโรจน์ และ ศิริพันธ์ โมราถบ. 2539. การผสมพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์ไก่เนื้อพื้นเมือง สถานีบำรุงพันธุ์สัตว์มหาสารคาม. II. สมรรถภาพการผลิตของไก่พื้นเมืองที่เลี้ยงในสถานีบำรุงพันธุ์สัตว์. วารสารเกษตร 12(1): 55-64.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principle and Procedure of statistics: MC Graw-Hill Book company, New York. 631 p.
- Tathong, T., S. Worrawattanatam and S. Srihan. 2009. A study carcass qualities, carcass composition and meat quality of common Thai Indigenous chicken raised by natural farming in Nakhon Phanom Province. Proceeding of attended the fourth GMSARN international: Vietnam 54-60.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมัน โดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม

Product Development of Reduced Fat Chicken Holy Basil Sausage Using Konjac Flour in Combination with Xanthan Gum

ศิริลดา ไกรลอมสม^{1/}

Sirilada Kailomsom^{1/}

Abstract: The research entitled development of reduce fat chicken holy-basil sausage product using konjac flour in combination with xanthan gum had the objectives (1) to study and develop reduced fat chicken holy-basil sausage product using konjac flour in combination with xanthan gum, (2) to study consumer acceptance of reduced fat chicken holy-basil product using konjac flour in combination with xanthan gum and (3) to study the quality characteristics of product changes during storage while kept for 28 days at refrigerator temperature (1-4 degree Celsius). The optimization of a formula for the product was studied. It was shown that chicken breast was used as main ingredient, and pork lard, sugar, salt, chili, garlic, holy-basil, mixed phosphate, fat replacers and wheat flour were added as minor ingredients. The optimum amounts of minor ingredients were 10.00, 2.50, 1.50, 5.00, 5.00, 7.00, 0.10, 8.00, and 10.00 percent of main ingredient, respectively. Prague powder was also added in the formula at 0.05 percent of main ingredient. The product was stored at refrigerator temperature (1-4 degree Celsius) and its quality characteristics were monitored for 28 days. The results presented that the water activity (a_w) was stable for the whole storage time, whereas TBA values increased until day 24 of storage and decreased until the end of storage time. For texture analysis, the storage time had no effect on hardness ($p > 0.05$) but springiness, cohesiveness, gumminess and chewiness significantly changed ($p \leq 0.05$). Total count of bacteria gradually increased during storage time, so it indicated that the shelf life of product was not longer than 16 days. Anaerobe thermophilic bacteria and anaerobe mesophilic bacteria were not detected at the whole shelf life. The consumer acceptance was evaluated by consumers aged 15-50 years old using 9-point hedonic scales. The reduced fat chicken holy-basil sausage product using konjac flour in combination with xanthan gum was accepted from consumers at moderately like to very like.

Keywords: Reduce fat sausage, konjac flour, xanthan gum, fat replacers, chicken product

^{1/} สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อ.เมือง จ.ลพบุรี 15000

^{1/} Food Science and Technology Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Amphur Muang, Lopburi 15000, Thailand

บทคัดย่อ: งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม มีวัตถุประสงค์ คือ (1) ศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัมที่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค (2) ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับ แซนแทนกัม (3) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัมขณะเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (1-4 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 28 วัน โดยพบว่าสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมัน คือการใช้เนื้ออกไก่เป็นส่วนผสมหลักในอัตราส่วนร้อยละ 100 และมีส่วนผสมอื่น ๆ คือ มันแข็งหมู น้ำตาลทราย เกลือ พริกชี้หนู กระเทียม ใบกะเพรา มิกซ์ฟอสเฟต สารทดแทนไขมัน และแป้งสาลี ในอัตราส่วนร้อยละ 10.00, 2.50, 1.50, 5.00, 5.00, 7.00, 0.10, 8.00 และ 10.00 ของส่วนผสมหลักตามลำดับ มีการใช้ผงเพรกในอัตราส่วนร้อยละ 0.50 ของส่วนผสมหลัก ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมัน พบว่า ขณะเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน ที่อุณหภูมิตู้เย็นผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มของปริมาณน้ำอิสระ (a_w) คงที่ ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทริกเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง จนวันที่ 24 แล้วลดลงจนสิ้นสุดการเก็บรักษา มีค่าความแข็งคงที่และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) มีค่าความยืดหยุ่น ค่าการยึดติดเป็นกาว ค่าความเป็นยางเหนียว และค่าความยากง่ายในการเคี้ยวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จนสิ้นสุดการเก็บรักษา จุลินทรีย์ทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 16 วัน และตรวจไม่พบแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศในการเจริญชนิดทนอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิ ปานกลาง ด้านการยอมรับของผู้บริโภคที่มีอายุระหว่าง 15-50 ปี โดยใช้แบบทดสอบความชอบแบบ 9 ระดับ พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับต่อคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

คำสำคัญ: ไส้กรอกลดไขมัน แป้งบุก แซนแทนกัม สารทดแทนไขมัน ผลิตภัณฑ์จากเนื้อไก่

คำนำ

การแปรรูปเนื้อสัตว์ เป็นกรรมวิธีที่ใช้กับเนื้อสัตว์ได้แก่ การบด การสับผสม การนวด การให้ความร้อน การขึ้นรูป การลดอุณหภูมิ เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์สำคัญคือ เพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ เพิ่มมูลค่าและยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อสัตว์ให้นานขึ้น (สมชาย, 2548) และสะดวกในการรับประทาน ซึ่งถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ผู้บริโภคในปัจจุบันมีความต้องการมาก (รุจริน และจุฑารัตน์, 2555) โดยไส้กรอก ถือเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปประเภทหนึ่งที่ทำจากเนื้อสัตว์ที่บดให้ละเอียดผสมกับเกลือ เครื่องปรุงรส เครื่องเทศ ฯลฯ แล้วบรรจุในลำไส้หรือกระเพาะอาหารของสัตว์เพื่อขึ้นรูป ไส้กรอกมีหลากหลายชนิดแตกต่างกันตามแหล่งผลิต และความต้องการของผู้บริโภค โดยแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ เช่น ไส้กรอกสด ไส้กรอกรมควัน ไส้กรอกสุก ไส้กรอกแห้ง และไส้กรอกกึ่งแห้ง เนื้อสัตว์ที่นิยมนำมาทำไส้กรอกมีทั้งเนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลา เป็นต้น (อิมเอิบ, 2549)

ไส้กรอกจัดเป็นอาหารฟาสต์ฟู้ด หรืออาหารจานด่วน มีปริมาณไขมันอิ่มตัวสูง ซึ่งถ้าหากรับประทานไขมันประเภทนี้เข้าไปเป็นจำนวนมากติดต่อกันเป็นระยะเวลานานอาจเสี่ยงต่อภาวะคอเลสเตอรอลในเลือดสูง ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคหัวใจ โดยปกติผู้ชายควรได้รับไขมันอิ่มตัวไม่เกิน 30 กรัมต่อวัน และผู้หญิงควรได้รับไขมันอิ่มตัวไม่เกิน 20 กรัมต่อวัน จากการศึกษาของสถาบันวิจัยโภชนาการ พบว่าอาหารฟาสต์ฟู้ดมีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างต่ำ มีส่วนประกอบของกากใยอาหารน้อย มีเกลือโซเดียมมากเกินไปความต้องการของร่างกายมีปริมาณไขมันสูง และมีส่วนประกอบของโปรตีนที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้เสี่ยงต่อการสะสมไขมันและมีไขมันในเลือดสูง เสี่ยงต่อโรคอ้วน โรคหัวใจขาดเลือดและความดันโลหิตสูง และโรคอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น โรคกรดไหลย้อน โรคกระเพาะอาหารเรื้อรัง เป็นต้น (วราทิพย์ และคณะ, 2546) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ยืนยันว่าการบริโภคอาหารฟาสต์ฟู้ดจะส่งผลให้สุขภาพร่างกายของผู้ที่รับประทานเป็นประจำแย่ลงอย่างเห็นได้ชัด (Baker, 2013) ต่อมาจึง

มีผู้คิดค้นผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไขมันต่ำ เช่น ไส้กรอกหมูไขมันต่ำโดยใช้แป้งบุก ไก่โยและหมูยอลดไขมัน เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ดังกล่าว มีการเติมสารทดแทนไขมันลงไปเพื่อช่วยลดปริมาณไขมันในสูตรการผลิต เช่น คาร์ราจีแนน แป้งบุก แป้งมันเทศ และสารไฮโดรคอลลอยด์ เป็นต้น โดยคุณลักษณะของแป้งบุกสามารถใช้เป็นสารทดแทนไขมันได้ดี (ทรงพรพรณ และคณะ, 2551) และเมื่อใช้ร่วมกับแซนแทนกัมสามารถให้เนื้อสัมผัสที่ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้ อีกทั้งยังมีความเหนียวสามารถอุ้มน้ำได้ดี และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส (อดิศักดิ์, 2542) จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่าจะทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยเพิ่มใบกะเพราเพื่อเป็นการเพิ่มกลิ่น และลดปริมาณไขมันในสูตรการผลิตลง โดยใช้สารทดแทนไขมัน คือ แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ชอบรับประทานไส้กรอก และผลิตภัณฑ์จากเนื้อไก่

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 สร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่

ก่อนที่จะมีการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นจำเป็นจะต้องมีการสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์เสียก่อน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค โดยใช้หลักการของ ideal ratio profile test (ไพโรจน์, 2547) ในการผลิตผลิตภัณฑ์จะทำการเตรียมสารทดแทนไขมันก่อนโดยใช้แป้งบุกและแซนแทนกัม อัตราส่วนร้อยละ 3.94:1.8 เติมน้ำกลั่นลงไป 94.26 มิลลิลิตร คนส่วนผสมทั้งหมดให้ละลาย จากนั้นนำส่วนผสมไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำร้อน (water bath) คนตลอดเวลาใช้เวลาประมาณ 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำเจลที่ได้แช่ในตู้เย็นนาน 2 ชั่วโมง เพื่อให้แข็งตัว จากนั้นนำมาตัดเป็นก้อนขนาด 2 × 2 เซนติเมตร จะได้สารทดแทนไขมันสำหรับ

นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ ทำการผลิต ไส้กรอกกะเพราไก่ตามสูตรพื้นฐานโดยใช้เนื้ออกไก่ที่เย็นจัดเป็นส่วนผสมหลัก 100 กรัม มีส่วนผสมอื่น ๆ คือ มันแข็งหมู น้ำตาลทราย เกลือ พริกขี้หนู กระเทียม ใบกะเพรา มิกซ์ฟอสเฟต สารทดแทนไขมัน และแป้งสาลี ในอัตราส่วนร้อยละ 20.00, 3.50, 1.50, 5.00, 5.00, 7.00, 0.30, 6.00 และ 10.00 ของส่วนผสมหลักตามลำดับ ผลิตโดยการหมักเนื้ออกไก่กับผงเพรก โดยใช้ ผงเพรกร้อยละ 0.50 ของส่วนผสมหลัก หมักไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเนื้อไก่ที่หมักแล้วไปคั่วกับเกลือและมิกซ์ฟอสเฟต ด้วยเครื่องสับผสมนาน 2 นาที แล้วเติมส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ น้ำตาลทราย มันแข็งหมู สารทดแทนไขมัน กระเทียมบด พริกขี้หนูบด ใบกะเพราบด และแป้งสาลี ทำการสับผสมจนเป็นเดียวกัน ใช้เวลาประมาณ 20 นาที เติมน้ำแข็ง 150 กรัม เพื่อควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 15 องศาเซลเซียส บรรจุส่วนผสมที่ได้ในไส้คอลลาเจนด้วยเครื่องอัดไส้กรอกมัดเป็นท่อนยาว 2 นิ้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หรือวัดอุณหภูมิใจกลางไส้กรอกได้ 70 องศาเซลเซียส ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปทำการตรวจสอบคุณภาพด้านต่าง ๆ ต่อไปนี้

คุณภาพด้านเคมี ปริมาณของน้ำอิสระ (a_w) (AQUALAB, USA) ปริมาณร้อยละของน้ำทั้งหมด (moisture content) (AOAC, 2000) ปริมาณร้อยละของโปรตีน (AOAC, 2000) ปริมาณร้อยละของไขมัน (AOAC, 2000), ปริมาณ ร้อยละของใยอาหาร (AOAC, 2000) ปริมาณร้อยละของเถ้า (AOAC., 2000) ปริมาณร้อยละของคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) และค่าพลังงานในอาหารทั้งหมด (bomb calorimeter)

คุณภาพด้านกายภาพ เนื้อสัมผัส (texture analyzer, TA.XT .plus, England) เพื่อวัดหาค่า TPA (texture profile analysis) ซึ่งในการวัดครั้งนี้ได้ทำการหาค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าการยืดติดเป็นกาว ค่าความเป็นยางเหนียว และค่าความยากง่ายในการเคี้ยว โดยใช้หัววัด P/50

คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ใช้วิธีการทดสอบแบบ ideal ratio profile technique (ไพโรจน์,

2547) การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบทำได้โดยการนำผลิตภัณฑ์มาลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที จากนั้นนำขึ้นมาพักให้เย็น ตัดเป็นท่อนยาว ท่อนละ 2 เซนติเมตร เก็บรักษาในถุงพลาสติกเพื่อรอการทดสอบจากผู้บริโภค

ตอนที่ 2 การศึกษาสูตรการผลิตที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุก ร่วมกับแซนแทนกัน

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมอื่น ๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ มันแข็งหมู น้ำตาลทราย เกลือ พริกขี้หนู กระเทียม ใบกะเพรา มิกซ์ฟอสเฟต สารทดแทนไขมัน และแป้งสาลี ทำการวางแผนการทดลองแบบ Plackett & Burman Design (N = 12) (ไพโรจน์, 2547) มีการแปรผันปริมาณ ปัจจัยต่าง ๆ ดังตารางที่ 1

ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปทำการตรวจสอบคุณภาพ ด้านต่าง ๆ ต่อไปนี้

คุณภาพด้านเคมี ปริมาณของน้ำอิสระ (a_w)

คุณภาพด้านกายภาพ วัดค่าเนื้อสัมผัส เพื่อหาค่า TPA (texture profile analysis) ซึ่งในการวัดครั้งนี้ได้ทำการหาค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าการยืดติดเป็นกาว ค่าความเป็นยางเหนียว และค่าความยากง่ายในการเคี้ยว โดยใช้หัววัด P/50

คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ใช้วิธีการ

ทดสอบแบบ ideal ratio profile technique (ไพโรจน์, 2547) การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบทำได้โดยการนำผลิตภัณฑ์มาลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที จากนั้นนำขึ้นมาพักให้เย็น ตัดเป็นท่อนยาว ท่อนละ 2 เซนติเมตร เก็บรักษาในถุงพลาสติกเพื่อรอการทดสอบจากผู้บริโภค

ตอนที่ 3 ศึกษาคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุก ร่วมกับ แซนแทนกันสูตรที่พัฒนาแล้ว

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันตามสูตรที่เหมาะสมที่ได้จากตอนที่ 2 ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำหลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

คุณภาพด้านเคมี ปริมาณของน้ำอิสระ (a_w) ปริมาณร้อยละของน้ำทั้งหมด (moisture content) (AOAC, 2000) ปริมาณร้อยละของโปรตีน (AOAC, 2000) ปริมาณร้อยละของไขมัน (AOAC, 2000) ปริมาณร้อยละของใยอาหาร (AOAC, 2000) ปริมาณร้อยละของเถ้า (AOAC, 2000) ปริมาณร้อยละของคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) และค่าพลังงานในอาหารทั้งหมด (bomb calorimeter)

Table 1 Level of factor that will affect side to quality in optimize formula to reduce fat chicken holy-basil sausage product using konjac flour in combination with xanthan gum

Factor	percentage ratios of main compound	
	Low (-)	High (+)
A pork lard	10.00	20.00
B sugar	2.50	3.50
C salt	1.50	2.50
D bird chili	5.00	8.00
E garlic	5.00	8.00
F holy-basil	7.00	10.00
G mixed phosphate	0.10	0.30
H fat replacers	6.00	12.00
I wheat flour	10.00	12.00

คุณภาพด้านกายภาพ วัดค่าเนื้อสัมผัสเพื่อหาค่า TPA (texture profile analysis) ซึ่งในการวัดครั้งนี้ได้ทำการหาค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าการยืดติดเป็นกาว ค่าความเป็นยางเหนียว และค่าความยากง่ายในการเคี้ยว โดยใช้หัววัด P/50

คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ใช้วิธีการทดสอบแบบ ideal ratio profile technique (ไพโรจน์, 2547) การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบทำได้โดยการนำผลิตภัณฑ์มาลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที จากนั้นนำขึ้นมาพักให้เย็น ตัดเป็นท่อนยาว ท่อนละ 2 เซนติเมตร เก็บรักษาในถุงพลาสติกเพื่อรอการทดสอบจากผู้บริโภค

คุณภาพทางจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) (AOAC, 2000) ปริมาณซาลโมเนลลา (*Salmonella*) (AOAC, 2000) และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform bacteria) และ อี. โคไล (*E.coli*) (AOAC, 2000)

ตอนที่ 4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัมตามสูตรที่เหมาะสมจากตอนที่ 2 จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการบรรจุแบบสุญญากาศในถุงพลาสติกชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็น เป็นเวลา 28 วัน ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ออกมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ในวันที่ 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 และ 28 โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

คุณภาพด้านเคมี ปริมาณของน้ำอิสระ (a_w) และ thiobarbituric acid (TBA) (Pearson, 1976)

คุณภาพด้านกายภาพ วัดค่าเนื้อสัมผัสเพื่อหาค่า TPA (texture profile analysis) ซึ่งในการวัดครั้งนี้ได้ทำการหาค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าการยืดติดเป็นกาว ค่าความเป็นยางเหนียว และค่าความยากง่ายในการเคี้ยว โดยใช้หัววัด P/50

คุณภาพทางจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000) และปริมาณจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ ชนิดทนอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิปานกลาง (anaerobe thermophilic and mesophilic bacteria) (AOAC, 2000)

ตอนที่ 5 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม ตามสูตรที่เหมาะสมจากตอนที่ 2 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการศึกษการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป ที่มีอายุระหว่าง 15-50 ปี จำนวน 100 คน ทำการทดสอบโดยใช้แบบทดสอบแบบ 9 points hedonic scale ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ศึกษาเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ตามสูตรพื้นฐาน หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธี ideal ratio profile test (ไพโรจน์, 2547) ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ มีผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน เพื่อหาคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากค่าคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคมีความเห็นตรงกันมากกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนผู้บริโภคทั้งหมด ซึ่งจากการทดลองนี้ คุณลักษณะที่ได้จากผู้บริโภค และถือเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ คือ สีสน้ำตาล ความเป็นเนื้อเดียวกัน กลิ่นกะเพรา รสเผ็ด ความแน่นเนื้อ และความเนียน โดยมีค่าเฉลี่ยของแต่ละคุณลักษณะแสดงดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าการสังเกตทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่สูตรพื้นฐานมีคุณลักษณะด้านสีน้ำตาล กลิ่นกะเพรา รสเผ็ด ความแน่นเนื้อ ความเนียน และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับค่าใน

Table 2 Ratio score of sensory characteristics the chicken holy- basil sausage basic formula

characteristic	Ratio score	
	Ideal	Basic formula
brown color	1.00 ^a ±0.01	0.92 ^b ±0.18
homogeneously ^{ns}	1.00 ±0.01	1.00 ±0.22
holy-basil odor	1.00 ^a ±0.01	0.89 ^b ±0.33
spicy	1.00 ^a ±0.01	0.93 ^b ±0.18
firmnes	1.00 ^a ±0.01	0.86 ^b ±0.33
smoothness	1.00 ^a ±0.01	0.88 ^b ±0.28
overall	1.00 ^a ±0.01	0.68 ^b ±0.19

^{ab} The difference letters in the same row are statically significant different ($p \leq 0.05$)

^{ns} The letters in the same row are not statically significant different ($p > 0.05$)

อุดมคติของผู้บริโภค โดยในด้านของสีน้ำตาล กลิ่นกะเพรา รสเผ็ด ความแน่นเนื้อ และความเนียนของผลิตภัณฑ์พบว่าค่าสัดส่วนเฉลี่ยได้ จากสูตรพื้นฐานมีค่าน้อยกว่าค่าในอุดมคติของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าผู้บริโภคต้องการให้เพิ่มคุณลักษณะด้านสีน้ำตาล กลิ่นกะเพรา รสเผ็ด ความแน่นเนื้อ และความเนียนของผลิตภัณฑ์

ด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน พบว่าค่าที่ได้จากสูตรพื้นฐานมีค่าเท่ากับค่าในอุดมคติของผู้บริโภคแต่ไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงว่า ผู้บริโภคพอใจกับค่าความเป็นเนื้อเดียวกันของผลิตภัณฑ์

ด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่าในอุดมคติของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยของคุณลักษณะต่างๆ สูงขึ้น จึงจะส่งผลให้สัดส่วนเฉลี่ยด้านการยอมรับโดยรวมสูงขึ้นด้วย

นอกจากนี้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่สูตรพื้นฐาน ไปทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมี ผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่สูตรพื้นฐาน มีค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าการยืดติดเป็นกาว ค่าความเปียกเหนียว และค่าความยากง่ายในการเคี้ยวเท่ากับ 10.47 ± 0.57 นิวตัน, 0.81 ± 0.02 มิลลิเมตร, 0.72 ± 0.01 , 7.56 ± 0.34 นิวตัน และ 6.13 ± 0.14 นิวตันต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ และมีร้อยละของปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และใยอาหาร เท่ากับ 66.59 ± 0.70 , 13.96 ± 0.43 , 10.82 ± 0.50 ,

7.90 ± 0.76 , 1.32 ± 0.04 และ 0.15 ± 0.02 ตามลำดับ มีค่าพลังงานในอาหารทั้งหมดและปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 7.42 ± 0.05 และ 0.98 ± 0.01 กิโลแคลอรี ตามลำดับ

ตอนที่ 2 ศึกษาสูตรการผลิตที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุก ร่วมกับแซนแทนกัม

ทำการกลั่นกรองปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะ ด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม ได้แก่ มันฝรั่ง น้ำตาลทราย เกลือ พริกชี้หนู กระเทียม ใบกะเพรา มิกซ์ฟอสเฟต สารทดแทนไขมัน และแป้งสาลี ทำการวางแผนการทดลองแบบ Plackett & Burman Design ($N = 12$) (ไพโรจน์, 2547) โดยกำหนดให้เนื้อไก่เป็นส่วนผสมหลักคิดอัตราส่วนร้อยละ 100 และมีการแปรผันปริมาณปัจจัยต่าง ๆ เป็นร้อยละของส่วนผสมหลัก แสดงค่าดังตารางที่ 1 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า มิกซ์ฟอสเฟต มีผลทำให้ค่าสังเกตทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($t = 1.784$) สอดคล้องกับงานวิจัยของไพโรจน์ และคณะ (2538) โดย มิกซ์ฟอสเฟตเป็นตัวช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้เนื้อมีความนุ่มและชุ่มน้ำเพิ่มขึ้น และช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติดี ช่วยให้สีของผลิตภัณฑ์คงตัว ช่วยลดการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ ยับยั้งการเจริญเติบโต

ของเชื้อจุลินทรีย์ และช่วยให้โมเลกุลของเนื้อยึดเกาะกันดี ทำให้เนื้อเหนียวและยืดหยุ่นได้ดียิ่งขึ้น

สารทดแทนไขมัน มีผลทำให้ค่าสังเกตทางประสาทสัมผัสด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน ความเนียน และการยอมรับโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($t = 2.904, 1.840$ และ 1.818 ตามลำดับ) โดยสารทดแทนไขมันที่ใช้คือ แป้งบุกและแซนแทนกัม ซึ่งในขณะที่มีการบดสับส่วนผสมจะมีการควบคุมอุณหภูมิการสับให้เย็นอยู่เสมอ จึงอาจทำให้สารทดแทนไขมัน จับตัวเป็นก้อน (อดิศักดิ์, 2538)

ในด้านกายภาพและเคมี พบว่า เกลือ มีผลทำให้ค่าสังเกตทางเคมีด้านปริมาณน้ำอิสระลดลง ซึ่งเกิดจากการ ออสโมซิสของเกลือเข้าไปในชิ้นอาหาร และน้ำในอาหารเคลื่อนที่ออกมา และบางส่วนระเหยออกไปในขั้นตอนการอบด้วยความร้อนทำให้ความเข้มข้นของเกลือในชิ้นอาหารเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($t = 2.236$)

สารทดแทนไขมัน มีผลทำให้ค่าสังเกตทางกายภาพด้านค่าความยืดหยุ่น และค่าความยากง่ายในการเคี้ยวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($t = 2.323$ และ 2.382 ตามลำดับ) และสารทดแทนไขมันที่ใช้มีความสามารถในการอุ้มน้ำจึงมีผลทำให้ค่าสังเกตทางเคมีด้านปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($t = 2.236$)

จากการทดลองนี้สามารถระบุ (fixed) ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นสูตรในการผลิต ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม คือการใช้มันแกว 100 กรัม น้ำตาลทราย เกลือ พริกขี้หนู กระเทียม ใบกะเพรา มิกซ์ฟอสเฟต และแป้งสาลีในระดับต่ำเนื่องจากปัจจัยดังกล่าวนี้ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์น้อย ซึ่งสูตรที่ได้คือการใช้ส่วนผสมต่าง ๆ ข้างต้นในอัตราส่วนร้อยละ 10.00, 2.50, 1.50, 5.00, 5.00, 7.00, 0.10 และ 10.00 ของส่วนผสมหลักตามลำดับ

ส่วนปริมาณสารทดแทนไขมัน พบว่าส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์หลายด้าน ดังนั้นจึงทำการศึกษาปริมาณสารทดแทนไขมันที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบสารทดแทนไขมันในอัตราส่วนร้อยละ 6, 8

และ 10 ของส่วนผสมหลัก ใช้เนื้ออกไก่เป็นส่วนผสมหลักในอัตราส่วนร้อยละ 100 และใช้ส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ มันแกว น้ำตาลทราย เกลือ พริกขี้หนู กระเทียม ใบกะเพรา มิกซ์ฟอสเฟต และแป้งสาลี ในอัตราส่วน ร้อยละ 10.00, 2.50, 1.50, 5.00, 5.00, 7.00, 0.10 และ 10.00 ของส่วนผสมหลักตามลำดับ ใช้ผงเพอร์ออกไซด์ 0.50 ของส่วนผสมหลัก ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี พบว่าการใส่สารทดแทนไขมันในสูตรการผลิตมากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพด้านกายภาพด้านค่าความแข็ง และค่าความเป็นยางเหนียวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีผลให้ค่าการยืดยึดเป็นกาวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าความยืดหยุ่น ค่าความยากง่ายในการเคี้ยว และปริมาณน้ำอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ด้านประสาทสัมผัส ใช้วิธีการทดสอบสเกลความชอบ 9 คะแนน (9 point hedonic scale) พบว่าสารทดแทนไขมันในปริมาณร้อยละ 6, 8 และ 10 ของส่วนผสมหลัก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาล ความเป็นเนื้อเดียวกัน กลิ่นกะเพรา ความแน่นเนื้อ ความเนียน และการยอมรับโดยรวมต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านรสเผ็ดของผลิตภัณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งปริมาณสารทดแทนไขมันที่เหมาะสมในสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม คือการใช้ในอัตราส่วนร้อยละ 8 ของส่วนผสมหลัก โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคะแนนด้านสีน้ำตาล ความเป็นเนื้อเดียวกัน กลิ่นกะเพรา รสเผ็ด ความแน่นเนื้อ ความเนียน และการยอมรับโดยรวมเท่ากับ 7.45 ± 0.82 , 7.60 ± 0.99 , 7.60 ± 0.82 , 7.90 ± 0.44 , 7.95 ± 1.05 , 7.60 ± 0.68 และ 7.90 ± 0.64

ดังนั้นจึงสามารถสรุปสูตรการผลิตที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม ได้คือ ใช้เนื้ออกไก่เป็นส่วนผสมหลัก 100 กรัม มีส่วนผสมอื่น ๆ คือ มันแกว น้ำตาลทราย เกลือ พริกขี้หนู กระเทียม ใบกะเพรา มิกซ์ฟอสเฟต สารทดแทนไขมัน และแป้งสาลีในอัตราส่วนร้อยละ 10.00, 3.50, 1.50, 5.00, 5.00, 7.00, 0.30, 8.00 และ 10.00

ของส่วนผสมหลักตามลำดับ และมีการใช้ผงเพรกร้อยละ 0.50 ของส่วนผสมหลัก

ตอนที่ 3 ศึกษาคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัมสูตรที่พัฒนาแล้ว

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัมตามสูตรที่ได้จากตอนที่ 2 จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการทดสอบแบบ ideal ratio profile test (ไพโรจน์, 2547) โดยจะใช้ผู้ทดสอบชิมที่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์จำนวน 20 คน ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันในสูตรที่พัฒนาแล้ว มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านสีน้ำตาล กลิ่นกะเพรา และรสเผ็ด ที่เพิ่มขึ้นจากไส้กรอกกะเพราไก่สูตรพื้นฐาน และไม่แตกต่างกับค่าในอุดมคติของผู้บริโภค ($p > 0.05$) ด้านความแน่นเนื้อ และความเนียน มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากไส้กรอกกะเพราไก่สูตรพื้นฐาน แต่ยังมีค่าน้อยกว่าค่าใน อุดมคติของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คุณลักษณะด้านการยอมรับโดยรวม พบว่า ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันสูตรที่พัฒนาแล้วมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น แต่ยังมีค่าน้อยกว่าค่าในอุดมคติของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ด้านความเป็นเนื้อเดียวกันของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับ

แซนแทนกัมสูตรที่พัฒนาแล้ว และไส้กรอกกะเพราไก่สูตรพื้นฐานมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับค่าในอุดมคติของผู้บริโภค

จากตารางที่ 4 พบว่าผลิตภัณฑ์สูตรพื้นฐานกับผลิตภัณฑ์สูตรที่พัฒนาแล้ว มีปริมาณร้อยละของปริมาณโปรตีน เกล็ด และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่พบว่าปริมาณใยอาหารของผลิตภัณฑ์สูตรที่พัฒนาแล้วมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าของผลิตภัณฑ์สูตรพื้นฐาน และปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์สูตรที่พัฒนาแล้วน้อยกว่าผลิตภัณฑ์สูตรพื้นฐาน เนื่องจากการใช้สารทดแทนไขมันที่ได้จากการใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม มีผลทำให้ค่าร้อยละของปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์สูตรที่พัฒนาแล้วมีค่าลดลง และสารทดแทนไขมันที่ใช้ยังช่วยเพิ่มปริมาณใยอาหารให้มากขึ้น โดย อติศักดิ์ (2538) กล่าวว่าแป้งบุกสามารถช่วยเพิ่มเส้นใยในอาหารให้มากขึ้นได้ แต่ยังคงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสไม่ให้เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์สูตรที่พัฒนาแล้ว ยังมีปริมาณร้อยละของความชื้นมากกว่าผลิตภัณฑ์สูตรพื้นฐานอีกด้วย เนื่องจากการใช้สารทดแทนไขมันที่ใช้มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ จึงมีผลให้ค่าร้อยละปริมาณของความชื้นเพิ่มขึ้น และปริมาณ ร้อยละของคาร์โบไฮเดรตของผลิตภัณฑ์สูตรที่พัฒนาแล้วลดลง รวมทั้งมีค่าพลังงานในอาหารทั้งหมดน้อยกว่าผลิตภัณฑ์สูตรพื้นฐาน ซึ่งเกิดจากการใช้สารทดแทนไขมันที่เพิ่มเข้าไปในสูตรที่พัฒนาแล้วนั้นให้พลังงานน้อยกว่าไขมัน ในด้านคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สูตรที่พัฒนาแล้วกับ

Table 3 Ratio score of sensory characteristics the chicken holy-basil sausage basic formula compare with the reduce fat chicken holy-basil sausage developed formula

characteristic	ideal	Basic formula	Developed formula
brown color	1.00 ^a ±0.01	0.92 ^b ±0.18	1.02 ^a ±0.24
homogeneously ^{ns}	1.00 ±0.01	1.00 ±0.22	1.04 ±0.19
holy-basil odor	1.00 ^a ±0.01	0.89 ^b ±0.33	1.00 ^a ±0.17
spicy	1.00 ^a ±0.01	0.93 ^b ±0.18	1.08 ^a ±0.25
firmness	1.00 ^a ±0.01	0.86 ^c ±0.33	0.94 ^b ±0.14
smoothness	1.00 ^a ±0.01	0.88 ^c ±0.28	0.96 ^b ±0.22
overall	1.00 ^a ±0.01	0.68 ^c ±0.19	0.97 ^b ±0.23

^{ab} The difference letters in the same row are statistically significant different ($p \leq 0.05$)

^{ns} The letters in the same row are not statistically significant different ($p > 0.05$)

ผลิตภัณฑ์สูตรพื้นฐาน มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ในด้านคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันสูตรพื้นฐานกับไส้กรอกกะเพราไก่สูตรพัฒนาแล้ว พบว่ามีค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าการยืดติดเป็นกาว ค่าความเป็นยางเหนียว และค่าความยากง่ายในการเคี้ยว ที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

นอกจากนี้เมื่อนำผลิตภัณฑ์สูตรที่พัฒนาแล้วไปวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 2.9×10^3 cfu/g ซึ่งน้อยกว่าในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกไก่ที่มีได้ไม่เกิน 1×10^4 cfu/g (มผช.331/2547) และตรวจไม่พบ *Salmonella*, Coliform bacteria และ *E.coli*

ตอนที่ 4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัมในขณะเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัมตามสูตรที่เหมาะสมตอนที่ 2 จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการบรรจุแบบสุญญากาศในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene (LDPE)) เก็บรักษาในตู้เย็น เป็นเวลา 28 วัน ทำการสุ่มตัวอย่าง

ผลิตภัณฑ์ออกมาวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส ในวันที่ 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 และ 28 ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่าคุณภาพด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ ในด้านปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา ส่วนปริมาณกรดไทโอบาร์บิทริก (TBA values) พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นถึงวันที่ 24 ของการเก็บรักษา แล้วลดลงในวันที่ 28 ของการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของศิริดา (2555) โดยการเปลี่ยนแปลงของ TBA values เกิดจากกลุ่มคาร์บอนิล ได้แก่ มาลอนัลดีไฮด์ เป็นสารที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ แต่เข้ามาทำปฏิกิริยากับโปรตีนในผลิตภัณฑ์แทน ทำให้สารกลุ่มคาร์บอนิลไม่มีความอิสระพอที่จะทำปฏิกิริยากับ TBA จึงเป็นเหตุให้ค่า TBA ในระหว่างการเก็บรักษามีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลง (Reddy and Setty, 1996) โดยค่า TBA เป็นค่าที่บ่งบอกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ว่าเกิดการหืนมากน้อยเพียงใด (Allen and Hamilton, 1994) ทางประสาทสัมผัสจะเริ่มรู้สึกถึงกลิ่นแปลกปลอมในอาหารได้เมื่อค่า TBA มากกว่า 3.00 มิลลิกรัม มาลอนัลดีไฮด์ต่อกรัมไขมัน (Tanikawa, 1985) จากการทดลองพบว่า ค่า TBA ของตัวอย่างไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัมมีค่าไม่เกิน 3.00 มิลลิกรัม มาลอนัลดีไฮด์ต่อกรัมไขมัน เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 28 วัน ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ และผู้ทดสอบไม่

Table 4 Chemical quality of the chicken holy-basil sausage basic formula compare with the reduce fat chicken holy-basil sausage developed formula

Chemical quality	Basic formula	Developed formula
moisture content (%)	66.59 ^b ± 0.70	67.92 ^a ± 0.62
protein ^{ns} (%)	10.82 ± 0.50	10.42 ± 0.30
lipid (%)	13.96 ^b ± 0.43	12.86 ^a ± 0.45
fiber (%)	0.15 ^b ± 0.02	1.12 ^a ± 0.02
ash ^{ns} (%)	1.32 ± 0.04	1.27 ± 0.04
carbohydrate (%)	7.90 ^b ± 0.76	6.41 ^a ± 0.61
energy (kcal)	7.42 ^a ± 0.05	6.82 ^b ± 0.05
a_w ^{ns}	0.98 ± 0.01	0.98 ± 0.01

^{ab} The difference letters in the same row are statistically significant different ($p \leq 0.05$)

^{ns} The letters in the same row are not statistically significant different ($p > 0.05$)

รับรู้กลิ่นหืนของไส้กรอกกะเพราไก่ และอาจมีผลมาจากเครื่องเทศบางชนิดในส่วนผสมของไส้กรอก รวมทั้งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำก็ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นช้าลง (วรวิทย์ และคณะ, 2549) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ถูกบรรจุแบบสุญญากาศ ซึ่งมีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำ มีผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันช้าลงจึงส่งผลให้ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มีค่าน้อย (นิธิยา, 2553)

คุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันสูตรที่พัฒนาแล้วมีค่าค่อนข้างคงที่และไม่มีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษา

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันสูตรที่พัฒนาแล้ว พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด มีแนวโน้มการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) แต่ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกไก่ที่มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ไม่เกิน 1×10^4 cfu/g (มพช. 331/2547) ซึ่งกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์ไม่มีความปลอดภัยต่อการนำมาบริโภค จึงสามารถสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกพร้อมกับแซนแทนกัม มีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 16 วัน ที่อุณหภูมิตู้เย็น และตรวจไม่พบแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศในการเจริญชนิดที่ทนอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิปานกลาง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ตอนที่ 5 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกพร้อมกับแซนแทนกัม

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ในสูตรที่เหมาะสมที่ได้จากตอนที่ 2 แล้วนำไปศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปที่มีอายุระหว่าง 15-50 ปี จำนวน 100 คน ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ ทดสอบโดยใช้แบบทดสอบแบบสเกลความชอบ 9 คะแนน (9 points hedonic scale) ผลการทดลองพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะด้านสีที่ปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นกะเพรา รสชาติ ความเนียนของผลิตภัณฑ์ และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 7.75 ± 0.93 , 8.07

± 0.87 , 7.75 ± 0.74 , 7.89 ± 0.60 , 7.82 ± 0.72 และ 8.01 ± 0.57 ตามลำดับ

สรุป

คุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่สูตรพื้นฐานที่ได้จากผู้บริโภคได้แก่ สีน้ำตาล ความเป็นเนื้อเดียวกัน กลิ่นกะเพรา รสเผ็ด ความแน่นเนื้อ ความเนียน และการยอมรับโดยรวม โดยผลิตภัณฑ์สูตรพื้นฐานมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเท่ากับ 0.92 ± 0.18 , 0.89 ± 0.33 , 0.93 ± 0.18 , 0.86 ± 0.33 และ 0.88 ± 0.28 ตามลำดับ โดยสูตรการผลิตที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกพร้อมกับแซนแทนกัม คือ การใช้เนื้ออกไก่เป็นส่วนผสมหลักในอัตราร้อยละ 100 และมีส่วนผสมอื่น ๆ คือ มันหมู น้ำตาลทราย เกลือ พริกขี้หนู กระเทียม ใบกะเพรา มิกซ์พอสเฟต สารทดแทนไขมัน และแป้งสาลี ในอัตราส่วนร้อยละ 10.00, 2.50, 1.50, 5.00, 5.00, 7.00, 0.10, 8.00 และ 10.00 ของส่วนผสมหลักตามลำดับ และใช้ผงเพรกในอัตราส่วนร้อยละ 0.50 ของส่วนผสมหลัก ซึ่งคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์สูตรที่พัฒนาแล้วมีร้อยละปริมาณโปรตีนไขมัน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตและค่าพลังงานในอาหารทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าสูตรพื้นฐาน และมีร้อยละของปริมาณใยอาหารและปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มากกว่าสูตรพื้นฐาน คุณภาพทางด้านกายภาพผลิตภัณฑ์สูตรที่พัฒนาแล้วมีค่าใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐาน และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 2.9×10^3 cfu/g ตรวจไม่พบ *Salmonella*, Coliform bacteria และ *E.coli* ทำให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกพร้อมกับแซนแทนกัมมีอายุการเก็บรักษาได้ไม่เกิน 16 วัน ที่อุณหภูมิตู้เย็น

เอกสารอ้างอิง

ทรงพรพนธ์ สังข์ทรัพย์ รสสุคนธ์ วงกรต สุพัตรา หอยศรี-จันทร์ และ สุนทราภรณ์ บุษดี. 2551. การใช้เจลแป้งบุกเป็นสารทดแทนไขมันในพายกล้วยตาก. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการ

- อาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2553. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร. 504 หน้า.
- ศิริลดา ศรีกอก. 2555. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาสดไขมันโดยใช้แป้งกล้วยน้ำว้าและคาร์ราจีแนนเป็นสารทดแทนไขมัน. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี.
- ไพโรจน์ วิริยจริย์. ลักษณะ รุนไก่งวงพันธุ์ วิวรรณ วรรณ-นัจฉริยา อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล และธยา บุญนอม. 2538. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แฮมโยใช้เทคโนโลยีบริสุทธิ์เริ่มต้นผสม 9. ผลของสารประกอบฟอสเฟตต่อการผลิตแฮม. วารสารเกษตร 11(2): 166-185.
- ไพโรจน์ วิริยจริ. 2547. การวางแผนและการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 275 หน้า.
- รุจริน ลิ้มศุภวานิช และ จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2555. ผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทต่าง ๆ. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://www.dld.go.th/transfer/th1/index.php?option=com_content&view=article&id=219:2012-03-12-08-54-01&catid=49:2012-03-05-10-24-38&Itemid=40 : 2557.
- วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ สีนีนากู อรรถโชติศักดิ์ดา จณิสดา ภัทรวิวัฒน์ พรหมทิพย์ สุวรรณสาครกุล และ วิกรม สุพานิช. 2546. Fast food มีประโยชน์หรือผลเสียมากกว่ากัน. โรงพยาบาลสระบุรี. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.srbr.in.th/Health/Fastfood.htm>: 2555.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2546. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ไส้กรอกไก่ มผช. 331/2547. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, กรุงเทพมหานคร. 5 หน้า.
- สมชาย สุริยะศิริบุตร. 2548. เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการหลักสูตรการทำลูกชิ้น หมูยอ ไส้กรอกอีสาน และกุนเชียง. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 22 หน้า.
- อดิศักดิ์ เอกไธวรรณ. 2538. แป้งบุก การผลิต สมบัติบางประการ และการนำไปใช้ประโยชน์. วารสารเกษตร 25(4):238-242.
- อดิศักดิ์ เอกไธวรรณ. 2542. การปรับปรุงกระบวนการผลิตไส้กรอกหมู หมูยอ และไก่ยอไขมันต่ำจากแป้งบุก. วารสารเกษตร 29(1):37-50.
- อิมเอบ พันสด. 2549. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาเทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. 180 หน้า.
- Allen J. C. and R. J. Hamilton. 1994. Rancidity in Foods. Blackie Academic, London. 304 p.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. AOAC International. Maryland, USA.
- Baker, S. 2013. Don't want to die before your time? Stop eating processed meat. (online). Available: http://www.naturalnews.com/039437_processed_meat_death_risk_cancer.html#ixzz2skOA0E11: 2014
- Pearson, D. 1976. The Chemical Analysis of Food. Churchill Livingstone. London. England. 575 p.
- Reddy, K. P. and T. M. R. Shetty. 1996. An intermediate moisture product from mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) using salt curing, fermentation and drying. Journal of Aquatic Food Product Technology 5(2): 65-82.
- Tanikawa, E. 1985. Marine Product in Japan. 2nd ed. Koseisha-Koseikaku, Co., Ltd. Tokyo. 533 p.

การจัดการทางโภชนาการสำหรับการอนุบาลและ การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

Nutritional Management for Nursing and Culturing Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)

พิเชต พลายเพชร^{1/}

Pichet Plaipetch^{1/}

Abstract: Replacement of *Chaetoceros* spp., with *Schizochytrium* spp., or artificial feed containing highly unsaturated fatty acid (HUFA) for nursing Pacific white shrimp larvae has been partially achieved. However, integration of with these feeds with *Chaetoceros* spp., has increased survival rate compared with using this phytoplankton alone. Supplementing HUFA to various zooplanktons i.e. water flea and rotifer has made total replacement for *Artemia* nauplii possible. Total replacement with artificial feed can be done if its nutritional values are similar to *Artemia* nauplii supplemented with HUFA. Feed for grow-out shrimp should contain protein, lipid, sums of EPA and DHA, lecithin, cholesterol and astaxanthin at levels of 30-40%, 6-8%, 0.25%, 3.0%, 0.4% and 50 ppm, respectively. Total replacement of dietary fishmeal with another protein source for grow-out shrimp has been possible if its inclusion level is low, i.e. 8-15% or natural feeds have been involved such as culturing in earthen pond. Replacement of dietary marine fish oil with another lipid source can be achieved with total or high replacement level if dietary ARA, EPA and DHA are still sufficient for shrimp requirements. Also dietary marine fish oil can be reduced by using *Schizochytrium* spp., and *Mortierella* spp., served for DHA and ARA sources, respectively..

Keywords: Nutritional management, nursing, culture, pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)

^{1/} สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง จ.พระนครศรีอยุธยา 13290

^{1/} Inland Aquaculture Research Institute, Inland Fisheries Research and Development Bureau, Department of Fisheries, Phra Nakhon Sri Ayutthaya 13290, Thailand.

บทคัดย่อ: การแทนที่ *Chaetoceros* spp. ด้วย *Schizochytrium* spp. หรืออาหารสำเร็จรูปที่มีกรดไขมันกลุ่ม Highly unsaturated fatty acid (HUFA) ในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมวัยอ่อนประสบความสำเร็จเพียงบางส่วน แต่การใช้ร่วมกันของอาหารเหล่านี้กับ *Chaetoceros* spp. ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดดีกว่าการใช้แพลงก์ตอนพืชชนิดนี้เพียงอย่างเดียว ส่วนการเสริมกรดไขมันกลุ่ม HUFA ให้แก่แพลงก์ตอนสัตว์ เช่น ไรแดงและโรติเฟอร์ ทำให้สามารถใช้แทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนได้ทั้งหมด ขณะที่การแทนที่ด้วยอาหารสำเร็จรูปทั้งหมดก็สามารถทำได้เช่นกันหากอาหารมีคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงกับอาร์ทีเมียวัยอ่อนที่เสริมด้วยกรดไขมัน HUFA อาหารสำเร็จรูปสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมวัยรุ่นจนถึงขนาดตลาดควรมีโปรตีน ไขมัน ผลรวมของ EPA และ DHA เลซิติน คอเลสเตรอลและแอสต้าแซนทิน เท่ากับ 30-40%, 6-8%, 0.25%, 3.0%, 0.4% และ 50 ppm ตามลำดับ สามารถใช้แหล่งโปรตีนชนิดอื่นแทนที่ปลาป่นได้ทั้งหมดหากสูตรอาหารกุ้งชนิดนี้มีการใช้ปลาป่นน้อย เช่น 8-15 เปอร์เซ็นต์ หรือมีอาหารธรรมชาติเกี่ยวข้อง เช่น การเลี้ยงบ่อดิน การแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยแหล่งไขมันชนิดอื่นสามารถทำได้ในอัตราสูงหรือทั้งหมดหากอาหารยังคงมีกรดไขมันจำเป็น เช่น ARA EPA และ DHA ที่เพียงพอต่อความต้องการของกุ้ง อีกทั้งสามารถลดน้ำมันปลาทะเลในสูตรอาหารได้โดยใช้ *Schizochytrium* spp. และ *Mortierella* spp. ซึ่งเป็นแหล่งของ DHA และ ARA ตามลำดับ

คำสำคัญ: การจัดการทางโภชนาการ การอนุบาล การเลี้ยง กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)

คำนำ

กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) เป็นกุ้งทะเลเขตร้อนที่มีถิ่นกำเนิดบริเวณชายฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกตั้งแต่ตอนเหนือของประเทศเม็กซิโกไปจนถึงตอนเหนือของประเทศเปรู (Sookying, 2010) กุ้งชนิดนี้มีลำตัวและขาสีขาว หางและหนวดสีแดง (ประจวบ, 2543) ด้วยแหล่งกำเนิดและลักษณะภายนอกดังกล่าวทำให้มีการตั้งชื่อสามัญของกุ้งชนิดนี้ว่า Pacific white shrimp หรืออาจเรียกว่า White leg shrimp ซึ่งเป็นชื่อที่ยอมรับโดย FAO (กิตยา, 2549) มีการทดลองเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ในทวีปเอเชียครั้งแรกที่ประเทศฟิลิปปินส์ระหว่างปี พ.ศ. 2521-2522 แต่ไม่ประสบความสำเร็จ จากนั้นได้ทำการทดลองอีกครั้งที่ประเทศจีนในปี พ.ศ. 2531 โดยใช้ระยะเวลาทดลองนานถึง 8 ปี จึงจะสามารถเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ได้ จากนั้นการเลี้ยงได้แพร่หลายไปยังไต้หวันและภูมิภาคอื่น ๆ ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2544 เช่น ประเทศฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย เวียดนาม ไทย มาเลเซียและอินเดีย สาเหตุหลักที่เกษตรกรในประเทศไทยและประเทศอื่น ๆ สนใจการเลี้ยงกุ้งชนิดนี้เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งชาวจีน (*Fenneropenaeus chinensis*) และกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*)

ประสบปัญหาการโตช้าและเกิดโรคระบาดได้ง่าย นอกจากนี้กุ้งขาวแวนนาไมมีข้อดีหลายประการ เช่น เจริญเติบโตเร็ว เลี้ยงได้หนาแน่น ต้องการโปรตีนจากอาหารต่ำ ทนต่อโรค ความเค็มและอุณหภูมิต่ำได้ดี รวมทั้งสามารถสมบูรณ์พันธุ์ได้ในบ่อดินและตอบสนองต่อการปรับปรุงพันธุ์ได้ดี (Funge-Smith *et al.*, 2003; Briggs *et al.*, 2004) สำหรับประเทศไทยได้เริ่มต้นการเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ในปี พ.ศ. 2540 โดยการลักลอบนำเข้าลูกกุ้งมาทดลองเลี้ยงแต่ประสบปัญหาไม่มีตลาดรองรับผลผลิต (กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2546) และต่อมาได้ทดลองเลี้ยงอีกครั้งที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีในปี พ.ศ. 2542 แต่การเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ในประเทศไทยยังคงไม่แพร่หลาย จนกระทั่งผลผลิตที่ตกต่ำของกุ้งกุลาดำได้สร้างผลกระทบเป็นวงกว้างต่อเกษตรกรและผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของประเทศไทย (ชลอ และพรเลิศ, 2547; หน่วยวิจัยเพื่อความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพกุ้ง, 2547; SEAFDEC, 2005) ดังนั้นกรมประมงจึงอนุญาตให้มีการนำเข้าพ่อแม่พันธุ์กุ้งขาวแวนนาไมที่ปลอดโรคตัวแดงดวงขาว โรคแคระแกรน โรคหัวเหลืองและโรคทอราซินโดรม เพื่อผลิตนอพลีส์สำหรับการส่งเสริมการเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ในประเทศไทย เป็นผลให้การเลี้ยงกุ้งชนิดนี้เริ่มแพร่หลายมากขึ้น

และปัจจุบันเกษตรกรไทยเกือบทั้งหมด (99 เปอร์เซ็นต์) เลี้ยงกุ้งชนิดนี้ (FAO, 2013) อย่างไรก็ตามเนื่องจากสามารถเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ได้เกือบทั่วโลกทำให้เกษตรกรมีผลตอบแทนไม่สูงนัก ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลตอบแทนที่สูงขึ้น เกษตรกรจึงจำเป็นต้องลดต้นทุนการผลิตให้ได้มากที่สุด โดยเฉพาะค่าอาหารซึ่งคิดเป็น 40-60 เปอร์เซ็นต์ ของ ต้นทุนรวม (Tan and Dominy, 1997) แต่เป็นที่ทราบกันดีว่าอาหารมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต อัตรารอดและ ผลผลิตของสัตว์น้ำรวมทั้งกุ้ง (เกตุณภัส และคณะ, 2556) ซึ่งหากมีการจัดการที่ไม่ถูกต้องอาจทำให้กุ้งเจริญเติบโตช้าและยังทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูงขึ้นด้วย ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการจัดการทางโภชนาการในการอนุบาล และการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เช่น การแทนที่แพลงก์ตอนพืชและการแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนสำหรับการอนุบาลลูก กุ้งวัยอ่อน ความต้องการสารอาหาร การแทนที่ปลาป่น และน้ำมันปลาทะเลในสูตรอาหารด้วยวัตถุดิบชนิดอื่น สำหรับการเลี้ยงกุ้งให้ได้ขนาดตลาด รวมทั้งการปรับปรุง ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาหารของกุ้งทั้งช่วงการ อนุบาลและการเลี้ยงกุ้งให้ได้ขนาดตลาดให้ดียิ่งขึ้น ซึ่ง การประยุกต์ใช้ความรู้เหล่านี้ น่าจะส่งผลให้เกษตรกร สามารถเพาะเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

อาหารสำหรับลูกกุ้งขาวแวนนาไมวัยอ่อน (larval feed)

การแทนที่ *Chaetoceros* spp. ด้วยอาหารมีชีวิตชนิดอื่นและอาหารสำเร็จรูป

โดยทั่วไปเกษตรกรนิยมอนุบาลลูกกุ้งทะเลจากระยะโปรโตโซเอีย (protozoa, Z) จนถึงระยะไมซิส (mysis, M) ด้วยแพลงก์ตอนพืชทะเล เช่น *Skeletonema* spp., *Chaetoceros* spp. และ *Isochrysis* spp. อย่างไรก็ตาม *Chaetoceros* spp. เป็นแพลงก์ตอนพืชที่นิยมใช้กันมากที่สุดทั้งในการทำฟาร์มและการทดลอง แม้ว่าจะมีความพยายามในการแทนที่แพลงก์ตอนพืชชนิดนี้ด้วยแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่น เช่น *Tetraselmis* sp. แต่ไม่ประสบความสำเร็จ (Khojasteh et al., 2013) ทั้งนี้อาจเกิดจาก *Tetraselmis* sp. มีขนาดใหญ่กว่า *Chaetoceros*

sp. ทำให้ลูกกุ้งกินได้ยากรวมทั้งมีไขมันน้อยกว่าซึ่งทำให้ลูกกุ้งขาดแคลนกรดไขมันจำเป็น และแม้ว่า *Chaetoceros* spp. จะเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับลูก กุ้งระยะนี้แต่แพลงก์ตอนพืชชนิดนี้ก็มีกรดไขมันจำเป็นชนิด docosahexaenoic acid (DHA, 22 : 6n-3) น้อย (Harel et al., 2002) ซึ่งอาจทำให้อัตรารอดตายของลูกกุ้งมีความแปรปรวนตามคุณค่าทางโภชนาการของแพลงก์ตอนพืชที่ผลิต

ดังนั้นจึงมีความพยายามทดลองใช้อาหารที่เป็นแหล่ง DHA อื่น ๆ เช่น *Schizochytrium limacinum* แทนที่แพลงก์ตอนพืชชนิดนี้ โดยผลการทดลองของ ทรงทรัพย์ และคณะ (2551) พบว่าการแทนที่ *Chaetoceros* sp. ด้วยสาหร่ายทะเลชนิดนี้อัตรา 20-25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ Z1-M1 ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดดีกว่าการใช้ *Chaetoceros* sp. เพียงอย่างเดียว หรือการใช้ร่วมระหว่าง *Chaetoceros* sp. กับสาหร่ายชนิดนี้ในอัตรา 50 : 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง สอดคล้องกับการทดลองของพัชรี และคณะ (2553) ที่พบว่าการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ Z1-PL15 ที่มีการเสริมสาหร่ายทะเลชนิดนี้ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดสูงกว่าการไม่เสริม และลูกกุ้งระยะ PL15 ที่อนุบาลด้วยการเสริมสาหร่ายทะเลชนิดนี้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนความเค็มอย่างเฉียบพลันและความทนทานต่อฟอร์มาลิน ดีกว่าการไม่เสริม ขณะเดียวกันการแทนที่แพลงก์ตอนพืชที่มีส่วนผสมของ *C. muelleri* และ *I. galbana* ด้วยอาหารสำเร็จรูปชนิด microencapsulated feed ที่มีกรดไขมันชนิด Highly unsaturated fatty acid (HUFA) ที่มีประกอบของ DHA และ Eicosapentaenoic acid (EPA, 20 : 5n-3) ร่วมกับการเสริมวิตามินซีและอี ในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ Z1-Z3 นั้นยังไม่สามารถแทนที่การใช้แพลงก์ตอนพืชได้ทั้งหมด แต่อัตรารอดของลูกกุ้งที่มีการใช้แพลงก์ตอนพืชร่วมกับอาหารสำเร็จรูปมีค่าสูงกว่าการใช้แพลงก์ตอนพืชเพียงอย่างเดียว (Sangha et al., 2000) แม้ว่าอาหารทั้งสองชนิดนี้จะมีศักยภาพที่ดีในการใช้ร่วมกับแพลงก์ตอนพืชสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมจากระยะโปรโตโซเอียจนถึงระยะไมซิส อย่างไรก็ตามอาหารทั้งสองชนิดมีราคาแพงและเกษตรกรอาจหาซื้อยาก ดังนั้นเกษตรกรอาจเลือกใช้อาหารเป็นแหล่งของ

กรดไขมัน EPA และ DHA เช่น ปลาป่น หรือผลิตภัณฑ์ที่มีราคาถูกกว่าสำหรับใช้เองในฟาร์ม เช่น ไข่ตุ๋นที่มีส่วนผสมของน้ำมันจากสัตว์ทะเล แต่ควรบดหรือทำให้อาหารเหล่านี้มีขนาดที่เหมาะสมกับขนาดของลูกกุ้งและควรให้ในปริมาณที่พอเหมาะเพื่อป้องกันน้ำเสีย

การแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนด้วยอาหารมีชีวิตชนิดอื่นและอาหารสำเร็จรูป

แม้ว่าอาร์ทีเมียวัยอ่อนจะเป็นอาหารที่นิยมสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งทะเลจากระยะไข่จนถึงโพสท์ลาร์วาเนื่องจากหาซื้อได้ง่ายและวิธีการจัดเตรียมไม่ยุ่งยาก แต่ปัจจุบันราคาไข่อาร์ทีเมียมีแนวโน้มแพงขึ้นเนื่องจากผลผลิตไข่อาร์ทีเมียในประเทศผู้ผลิตหลักคือสหรัฐอเมริกา รัสเซียและจีนลดลงเป็นอย่างมาก (Gervais and Zeigler, 2013) ดังนั้นนักวิจัยจึงเริ่มทดสอบใช้อาหารมีชีวิตชนิดอื่นสำหรับแทนที่อาร์ทีเมีย เช่น โคพีพอด โรติเฟอร์ ไรน้ำกร่อย ไรแดง ตัวอ่อนไส้เดือน (Focken *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตามการแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนด้วยอาหารมีชีวิตเหล่านี้มีผลสำเร็จที่แตกต่างกันและพบว่าส่วนใหญ่ยังไม่สามารถทดแทนอาร์ทีเมียได้ทั้งหมด เช่นสามารถใช้ไรน้ำกร่อย *Diaphanosoma celebensis* ที่เลี้ยงด้วย *T. gracilis* แทนที่อาร์ทีเมียได้ 100 เปอร์เซ็นต์สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำระยะ PL1-PL15 (พรเทพ, 2546) แต่ บุญรัตน์ และคงศักดิ์ (2546) พบว่าการใช้ไรแดงแช่แข็งแทนที่อาร์ทีเมียแช่แข็งทั้งหมดในการอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำระยะ PL7-PL23 ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยทั้งสองเรื่องนี้พบว่าสภาพและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารมีชีวิตที่แตกต่างกันอาจทำให้การแทนที่ประสบความสำเร็จที่ต่างกัน โดยการใช้ไรน้ำกร่อยแบบมีชีวิตน่าจะทำให้ลูกกุ้งสามารถจับกินได้อย่างต่อเนื่องขณะที่การใช้ไรแดงแช่แข็งอาจจมน้ำเร็ว ทำให้ลูกกุ้งจับกินได้ยาก สอดคล้องกับการทดลองของ Martín *et al.* (2006) ที่พบว่าสามารถใช้ไรแดง *Moina micrura* แบบมีชีวิตแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ในการอนุบาลลูกกุ้ง *L. schmitti* โดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโต

นอกจากนี้อาจมีความแตกต่างของคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทั้งสองชนิดนี้ เนื่องจากไรน้ำกร่อยมีการเลี้ยงด้วยแพลงก์ตอนพืชทะเลดังนั้นจึงน่าจะมี

สารอาหารในปริมาณที่มากกว่าไรแดงโดยเฉพาะกรดไขมัน HUFA ซึ่งการเสริมอาหารให้แก่ไรแดงอาจเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ไรแดงแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนในการอนุบาลลูกกุ้งได้ในอัตราที่สูงขึ้น งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ไรแดง *M. macrocopa* ที่ผ่านการเสริมด้วยน้ำมันปลาหมักร่วมกับวิตามินอีแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนได้ 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามโดยไม่กระทบต่ออัตราการรอด (ธีรวัฒน์ และ จีรภรณ์, 2548) นอกจากนี้การเสริมสารอาหาร เช่น กรดไขมัน HUFA ให้แก่ตัวไรดิฟเฟอร์และอาร์ทีเมียวัยอ่อนสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งระยะ Z2-PL1 และ PL1-PL10 ตามลำดับ ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดและอัตราส่วนของลูกกุ้งที่เข้าสู่ระยะ PL1 สูงกว่าการอนุบาลด้วยไรดิฟเฟอร์และอาร์ทีเมียที่ไม่เสริมสารอาหารชนิดนี้ (Naessens *et al.*, 1995) ส่วนการทดสอบโดยใช้โคพีพอดทั้งแบบมีและไม่มีชีวิตที่ไม่เสริมสารอาหารสำหรับทดแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ Z2-PL1 พบว่าแม้อัตราการรอดจะไม่แตกต่างกันแต่การใช้โคพีพอดทำให้อัตราส่วนของลูกกุ้งที่เข้าสู่ระยะ PL1 น้อยกว่าการใช้อาร์ทีเมียวัยอ่อนประมาณ 4 เท่า (DAbramo *et al.*, 2006)

แม้ว่าอาร์ทีเมียวัยอ่อนจะเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมมากกว่าอาหารมีชีวิตชนิดอื่น อย่างไรก็ตามเกษตรกรอาจสามารถเพิ่มอัตราการรอดของลูกกุ้งได้ด้วยการเสริมกรดไขมันจำเป็น เช่น EPA และ DHA ให้แก่อาร์ทีเมียก่อนนำไปเลี้ยงลูกกุ้ง ทั้งนี้เนื่องจากอาร์ทีเมียวัยอ่อนมี EPA สะสมเพียงเล็กน้อยและไม่มี DHA (Naessens *et al.*, 1995) สอดคล้องกับ Sangha *et al.* (2000) ที่พบว่าการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ M1-PL1 ด้วยอาร์ทีเมียวัยอ่อนที่เสริมกรดไขมัน HUFA ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดดีกว่าการอนุบาลด้วยอาร์ทีเมียที่ไม่เสริมกรดไขมัน HUFA อย่างไรก็ตามการเสริมกรดไขมันให้แก่อาร์ทีเมียต้องคำนึงถึงสัดส่วนของ DHA และ EPA ด้วย เนื่องจากการมีกรดไขมันชนิดใดชนิดหนึ่งมากเกินไปอาจกระทบต่อการเจริญเติบโตได้ โดยอัตราส่วนของ DHA/EPA ที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-1.5 (Naessens *et al.*, 1995) และข้อควรระวังอีกประการ คือ อาร์ทีเมียสามารถใช้ประโยชน์กรดไขมันจำเป็นที่กินเข้าไป

ได้โดยตรงซึ่งอาจทำให้เหลือกรดไขมันเหล่านี้ก่อนถูกส่งผ่านไปยังลูกกุ้ง ดังนั้นจึงควรนำอาร์ทีเมียไปเลี้ยงลูกกุ้งทันทีหลังการเสริมสารอาหารนาน 24 หรือ 48 ชั่วโมง หรือเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส และการเสริมอาหารควรทำในช่วงก่อนที่อาร์ทีเมียจะเข้าสู่ระยะ Instar II (ระยะเวลา 12-24 ชั่วโมงหลังฟัก) ทั้งนี้เพื่อไม่ให้อาร์ทีเมียหลังการเสริมสารอาหารมีขนาดใหญ่เกินไป (Sorgeloos *et al.*, 1998) นอกจากการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาร์ทีเมียโดยการเสริมสารอาหารแล้ว อาจเลี้ยงอาร์ทีเมียด้วยแพลงก์ตอนพืชชนิด *Dunaliella salina* ก่อนนำไปเลี้ยงลูกกุ้ง เนื่องจากแพลงก์ตอนชนิดนี้มีโปรตีน ไขมันและสารสีคือเบต้าแคโรทีนที่ช่วยเพิ่มอัตราการรอดและการเจริญเติบโตของลูกกุ้งได้ (Hannah *et al.*, 2013)

จากข้อจำกัดของการใช้อาหารมีชีวิตชนิดอื่น เช่น คุณค่าทางโภชนาการที่ไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ หรือความไม่สะดวกในการจัดเตรียมหรือจัดหา ทำให้มีการพัฒนาอาหารสำเร็จรูปเพื่อแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนและประสบความสำเร็จโดยเฉพาะกับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะ PL ทั้งนี้เนื่องจากสามารถกำหนดคุณค่าทางโภชนาการได้และลูกกุ้งขาวแวนนาไมตั้งแต่ระยะ PL5 ขึ้นไปมีนิสัยกินอาหารบนพื้นทำให้ยอมรับอาหารสำเร็จรูปได้ง่ายขึ้น (Gervais and Zeigler, 2013) และมีความเป็นไปได้ของการใช้อาหารสำเร็จรูปแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนในการอนุบาลลูกกุ้งชนิดนี้ได้มากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่กระทบต่อความสำเร็จของการอนุบาลในภาพรวม (Wouters, 2008) สอดคล้องกับรายงานของ Giguere (2011) ที่พบว่าสามารถใช้อาหารสำเร็จรูปแทนที่อาร์ทีเมียได้ 75 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมจากระยะ PL5-PL10 และงานวิจัยล่าสุดยืนยันว่าอาหารสำเร็จรูปทั้งแบบแห้งและแบบเหลวที่มีการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการให้สอดคล้องกับคุณค่าทางโภชนาการของอาร์ทีเมียที่เสริมด้วยกรดไขมัน HUFA สามารถใช้แทนที่อาร์ทีเมียได้ 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งระยะโปรโตโซเอียจนถึงระยะโพสต์ลาร์วา (Gervais and Zeigler, 2013) อย่างไรก็ตามการเลือกใช้อาหารสำเร็จรูปเพื่อแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนควรคำนึงถึงขนาดของอาหารและความสามารถในการจับอาหารของ

ลูกกุ้ง ดังเช่น การอนุบาลลูกกุ้งแซบวัย *Fenneropenaeus indicus* ระยะ PL1-PL11 โดยใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีขนาดประมาณ 100-200 ไมครอน แทนที่อาร์ทีเมียในอัตรา 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้อัตราการรอดของลูกกุ้งลดลง (Hoseinifar and Zare, 2013) ซึ่งสาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากอาหารมีขนาดเล็กทำให้ลูกกุ้งที่มีขนาดใหญ่รวบรวมอาหารได้ยากขึ้น

ปัจจุบันมีการจำหน่ายอาหารสำเร็จรูปสำหรับอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมวัยอ่อนหลากหลายชนิดและเครื่องหมายการค้าและส่วนใหญ่มีการกำหนดโปรตีนและไขมันในระดับสูง ทั้งนี้เพื่อรับประกันว่าลูกกุ้งจะได้รับสารอาหารหลักเหล่านี้เพียงพอต่อความต้องการ โดยความต้องการสารอาหารในภาพรวมของลูกกุ้งวัยอ่อนอาจอ้างอิงค่าต่างๆ ตามคำแนะนำของ FAO (1987) เช่น อาหารควรมีระดับโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โยอาหาร คอเลสเตอรอล แคลเซียมและฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 45-55, 12-14, 15-25, 1.0-2.0, 1.5-2.0, 2.5-3.0 และ 1.4-1.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแม้ว่าจะอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมในน้ำความเค็มปกติแต่ยังมีความจำเป็นที่ต้องเสริมแร่ธาตุลงไปให้อาหารเพื่อช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและอัตราการรอด (Davis and Saoud, 2004) อย่างไรก็ตามอาหารสำเร็จรูปสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งทะเลมักมีราคาแพง ดังนั้นงานวิจัยที่มุ่งเน้นการผลิตอาหารสำหรับใช้เองในฟาร์มนับเป็นหัวข้อหนึ่งที่น่าสนใจ โดยหัวข้อการศึกษาควรครอบคลุมถึงระดับสารอาหารต่ำที่สุดที่ไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอด ขนาดของอาหารที่เหมาะสมกับแต่ละช่วงอายุของลูกกุ้งและคุณลักษณะของอาหาร เช่น ความคงตัวในน้ำ

อาหารสำหรับเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมวัยรุ่นจนถึงขนาดตลาด (grow-out shrimp feed)

ความต้องการสารอาหาร

งานวิจัยด้านโภชนาการศาสตร์ของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมวัยรุ่นจนถึงขนาดตลาดส่วนใหญ่เน้น 3 ประการ คือ การศึกษาความต้องการสารอาหาร การแทนที่ปลาป่น และการแทนที่น้ำมันปลาทะเลในสูตรอาหารด้วยวัตถุดิบอื่น ๆ โดยงานวิจัยด้านความต้องการสารอาหารนั้นค่อนข้างมีน้อยซึ่งขัดแย้งกับการเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ที่แพร่หลาย

ไปเกือบทั่วโลก จากการรวบรวมข้อมูลโดย National Research Council (NRC) ในปี 2554 พบว่าความต้องการสารอาหารของกุ้งขาวแวนนาไมที่ศึกษาแล้วมีเพียง 12 ชนิด ได้แก่ ไลซีน กรดไขมันชนิด poly unsaturated fatty acids (PUFA), คอเลสเตอรอล แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส ซึ่งกุ้งชนิดนี้ต้องการในอัตรา 1.6, 0.25-0.50, 0.13, 0.26-0.35 และ 0.3-0.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ความต้องการทองแดง ซีลีเนียม สังกะสี วิตามิน A, E, B₆ และ C มีค่าเท่ากับ 16-32, 0.2-0.4, 15, 1.4, 100, 80-100 และ 50-100 ppm ตามลำดับ (Kaushik, 2012) โดยสาเหตุหนึ่งอาจเนื่องจากการผลิตอาหารสำหรับกุ้งชนิดนี้ที่ผ่านมาได้อาศัยข้อมูลความต้องการสารอาหารของกุ้งทะเลอื่น ๆ เช่น กุ้งกุลาดำหรือ กุ้งครีมา *Marsupenaeus japonicus* (Akiyama et al., 1992) ซึ่งมีผลให้กุ้งชนิดนี้เจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ อาจเกิดจากกุ้งเหล่านี้เป็น omnivorous shrimp ที่มีนิสัยกินสัตว์มากกว่ากินพืช ขณะที่กุ้งขาวแวนนาไมเป็น omnivorous shrimp ที่มีนิสัยกินพืช (Perez-Velazquez and Lawrence, 2004) ดังนั้นอาหารที่ผลิตจึงน่าจะมีสารอาหารที่เกินพอสำหรับกุ้งชนิดนี้ โดยการศึกษาในระยะเวลาต่อมาทำให้ทราบว่ากุ้งชนิดนี้ต้องการโปรตีนเพียง 30-40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าความต้องการของกุ้งกุลาดำและกุ้งครีมา (Conklin, 2003) เช่นเดียวกันกับความต้องการกรดอะมิโนจำเป็น 5 ชนิด ที่มีการศึกษาแล้ว เช่น กุ้งชนิดนี้ต้องการเมไทโอนีนเท่ากับ 0.45-0.66 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร จากการเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 25-30 เปอร์เซ็นต์ (Fox et al., 2010; 2011) ความต้องการไลซีนมีค่าเท่ากับ 1.64 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร จากการเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ (Xie et al., 2012) ความต้องการอาร์จินีนมีค่าเท่ากับ 1.96 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร จากการเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 41 เปอร์เซ็นต์ (Zhou et al., 2012) ความต้องการทรีโอนีนมีค่าเท่ากับ 1.18 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร จากการเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 43 เปอร์เซ็นต์ (Zhou et al., 2013) และความต้องการลิซีนมีค่าเท่ากับ 2.37 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร จากการเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 41 เปอร์เซ็นต์ (Liu et al., 2014)

แต่หากคิดที่ระดับโปรตีนในอาหารเท่ากับ 25, 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าที่นิยมสำหรับการผลิตอาหาร กุ้งชนิดนี้ ความต้องการไลซีนอาจมีค่าเท่ากับ 2.62, 2.19 และ 1.87 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร ความต้องการอาร์จินีนอาจมีค่าเท่ากับ 3.21, 2.68 และ 2.30 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร ความต้องการทรีโอนีนอาจมีค่าเท่ากับ 2.03, 1.69 และ 1.45 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร และความต้องการลิซีนอาจมีค่าเท่ากับ 3.89, 3.24 และ 2.78 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าดังกล่าวประเมินจากจากเปอร์เซ็นต์ความต้องการกรดอะมิโนและระดับโปรตีนในอาหาร ตามสูตรดังนี้ [(โปรตีนในอาหารจากการทดลอง / ระดับโปรตีนที่ต้องการ) X เปอร์เซ็นต์ความต้องการกรดอะมิโนจากการทดลอง] เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการทดลองของความต้องการกรดอะมิโนจำเป็น 5 ชนิดนี้ที่ระดับโปรตีนในอาหาร 35 เปอร์เซ็นต์ กับค่าที่แนะนำโดย Akiyama et al. (1992) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นแม้จะยังไม่มีข้อมูลการวิจัยเพิ่มเติมแต่ความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นอีก 5 ชนิดที่เหลือ คือ ไอโซลิซีน ฟีนิลอะลานีน ฮีสติดีน วาลีนและทรีปโตเฟน น่าจะสามารถอ้างอิงหรือประมาณการได้จากค่าที่แนะนำโดย Akiyama et al. (1992)

ส่วนความต้องการไขมันของกุ้งขาวแวนนาไม และกุ้งทะเลชนิดอื่น ๆ นั้นนักวิจัยส่วนใหญ่แนะนำว่าควรมีค่าประมาณ 6-8 เปอร์เซ็นต์ และไม่ควรเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ (Perez-Velazquez and Lawrence, 2004; Smith, 2006) และแม้ว่ายังไม่มีการศึกษาความต้องการกรดไขมันจำเป็นแต่ละชนิดแต่อาจใช้ค่าจากการประมาณการของ Perez-Velazquez and Lawrence (2004) ได้ รายงานว่าอาหารควรมีกรดไขมันชนิด Linoleic acid (LOA, 18 : 2n-6), Linolenic acid (LNA, 18 : 3n-3), Arachidonic acid (ARA, 20 : 4n-6) และ ผลรวมของ EPA และ DHA ประมาณ 0.1, 0.1, 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งทำให้ความต้องการกรดไขมันจำเป็นเหล่านี้มีความรวมกันเท่ากับ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับคำแนะนำของ Akiyama et al. (1992) ที่ระบุว่าอาหาร กุ้งทะเลควรมีกรดไขมันเหล่านี้ประมาณ 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ และยังใกล้เคียงกับผลการทดลองของ González-Félix et al. (2002) ที่พบว่าระดับ DHA ในอาหารไม่ควรเกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์ หรือหากคิดเป็นผลรวม

ของ EPA และ DHA ก็ไม่ควรเกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน ทั้งนี้หากระดับกรดไขมันเหล่านี้สูงเกินไปอาจกระทบต่อการเจริญเติบโตของกุ้งได้ (Smith, 2006) อย่างไรก็ตาม การเสริมกรดไขมันจำเป็นเหล่านี้ให้สูงกว่าระดับความต้องการปกติอาจมีความจำเป็นหากเลี้ยงกุ้งในน้ำที่มีความเค็มสูง เช่น 30 ppt ขึ้นไป (Hurtado et al., 2006)

นอกจากไขมันและกรดไขมันแล้วกุ้งทะเลยังมีความต้องการฟอสโฟไลปิดและคอเลสเตอรอลซึ่งสารอาหารทั้งสองชนิดนี้มักมีการศึกษาควบคู่กัน มีรายงานว่าอาหารสำหรับกุ้งชนิดนี้ควรมีฟอสโฟไลปิดประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ หากมีคอเลสเตอรอลประมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (Gong et al., 2001) สอดคล้องกับคำแนะนำของ Smith (2006) ที่กล่าวว่าอาหารสำหรับกุ้งขาวแวนนาไมควรมีฟอสโฟไลปิดประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ แต่ความต้องการฟอสโฟไลปิดจะสูงขึ้นหากอาหารมีคอเลสเตอรอลต่ำกว่าค่านี้ เช่น อาหารควรมีฟอสโฟไลปิดเท่ากับ 0, 1.5, 3.0 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ หากอาหารมีคอเลสเตอรอลเท่ากับ 0.35, 0.14, 0.13 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการเพิ่มฟอสโฟไลปิดและคอเลสเตอรอลในอาหารมากกว่าความต้องการไม่ได้ช่วยให้การเจริญเติบโตและอัตราการรอดของกุ้งมีค่าที่ดีขึ้นหากเลี้ยงในระบบความเค็มต่ำที่มีโปแตสเซียม แมกนีเซียมและโซเดียมต่ำ (Roy et al., 2006) โดยทั่วไปกุ้งชนิดนี้เจริญเติบโตดีแม้ว่าจะเลี้ยงในระบบความเค็มต่ำเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีแคลเซียมเลยแต่อาหารต้องมีฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ (Cheng et al., 2006) ทั้งนี้กุ้งน่าจะได้รับแคลเซียมจากน้ำในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการ อย่างไรก็ตามอาหารกุ้งโดยทั่วไปมักมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบเนื่องจากการผลิตอาหารที่ใช้วัตถุดิบธรรมชาติ แต่ควรมีการควบคุมไม่ให้แคลเซียมในอาหารมีค่าเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของสารสีสำหรับการผลิตอาหารกุ้งขาวแวนนาไมเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่นิยมแอสต้าแซนทินหรือแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ โดย Ponce-Palafox et al. (2006) แนะนำว่าแอสต้าแซนทินหรือแคโรทีนอยด์ที่มีอยู่และได้จากการเปลี่ยนรูปจากสารสีอื่น ๆ ในอาหารควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 10 ppm และจากการศึกษาของ Zhang et

al. (2013) พบว่าแอสต้าแซนทินในอาหารเท่ากับ 50 ppm มีผลให้กุ้งขาวแวนนาไมเจริญเติบโตและมีการสะสมแอสต้าแซนทินในเปลือกไม่ต่างจากระดับแอสต้าแซนทินที่สูงกว่านี้ แต่หากต้องการให้กุ้งมีความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ภาวะออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำนั้นระดับแอสต้าแซนทินในอาหารไม่ควรต่ำกว่า 75 ppm นอกจากนี้อาจใช้แหล่งวัตถุดิบธรรมชาติที่เป็นแหล่งของแอสต้าแซนทินโดยตรงหรือแหล่งสารสีชนิดอื่น ๆ สำหรับการผลิตอาหารกุ้งชนิดนี้ได้ เช่น เบต้าแคโรทีน ลูทีน ซีแซนทิน และคริปโตแซนทิน เนื่องจากกุ้งสามารถเปลี่ยนสารสีเหล่านี้ให้เป็นแอสต้าแซนทินได้ตัวอย่างแหล่งของแอสต้าแซนทินโดยตรง ได้แก่ ดอกดาวกระจาย (*Adonis aestivalis*) ยีสต์แดง (*Phaffia rhodozyma*) และเคยป่น (Krill meal) แหล่งแอสต้าแซนทินและแคโรทีนอยด์ ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช *Haematococcus pluvialis* แหล่งของซีแซนทินและลูทีน ได้แก่ ดอกดาวเรือง (*Tagetes erecta*) และแพลงก์ตอนพืช *Dunaliella salina* และ *Spirulina* spp. และแหล่งของแคโรทีนอยด์และซีแซนทิน ได้แก่ พริกหยวกแดง *Capsicum annuum* (Ponce-Palafox et al., 2006) สำหรับอัตราการใช้แหล่งสารสีธรรมชาติบางชนิดสำหรับการผลิตอาหารกุ้งขาวแวนนาไมและกุ้งกุลาดำที่มีการศึกษาแล้ว เช่น สารสกัดจาก *H. pluvialis* อัตราเท่ากับ 75-100 ppm (Ju et al., 2011) สารสกัดดอกดาวเรืองอัตราเท่ากับ 50-350 ppm (Arredondo-Figueroa et al., 1999) สารสกัดจากพริกหยวกแดงอัตราเท่ากับ 200-250 ppm (Arredondo-Figueroa et al., 2004) *D. salina* อัตราเท่ากับ 125 ppm (Boonyaratpalin et al., 2001) และยีสต์แดง *P. rhodozyma* อัตราเท่ากับ 40 ppm (นันทวิทย์ และคณะ, 2546) นอกจากนี้แหล่งสารสีธรรมชาติที่น่าสนใจอีกชนิดคือสารสกัดจากถั่วอัลฟัลฟาซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาซื้อได้สะดวกและยังเป็นแหล่งโปรตีนได้โดยอัตราการใช้ที่เหมาะสมสำหรับอาหารกุ้งขาวแวนนาไมคือ 4-8 เปอร์เซ็นต์ (Lucien-Brun and Vidal, 2006)

แม้ว่าการศึกษาความต้องการวิตามินและแร่ธาตุของกุ้งชนิดนี้จะมีน้อยแต่อาจใช้ค่าที่แนะนำโดย Smith (2006) ได้กล่าวคืออาหารควรวิตามิน B₁, B₂, B₃,

B₅, B₆, B₁₂, Biotin, Folic acid, Inositol, Choline (ถ้าไม่มีฟอสโฟลิปิด) C, D, E และ K (menadione) ในอัตรา 60, 25, 40, 75, 72-89, 9.2, 1, 2, 3, 400, 871, 200, 0.1, 85-89 และ 185 ppm ตามลำดับ และวิตามิน A อัตรา 8,400 IU/Kg อาหาร ส่วนแร่ธาตุ เช่น Cu, Zn และ Se ควรมีค่าประมาณ 16-32, 15 และ 0.2-0.4 ppm ตามลำดับ นอกจากนี้ชนิดและปริมาณของวิตามินและแร่ธาตุในสูตรอาหารสำหรับกุ้งขาวแวนนาไม่อาจอ้างอิงได้จากงานวิจัยต่าง ๆ โดยเฉพาะงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติซึ่งมักเป็นค่าที่ถูกแนะนำหรืออ้างอิงตามนักวิจัยที่เชี่ยวชาญด้านกุ้งทะเลหรือด้านอาหาร เช่น งานวิจัยของ Forster *et al.* (2003), Samocha *et al.* (2004), Roy *et al.* (2006) และ Suárez *et al.* (2009) นอกจากสารอาหารหลักทั้ง 5 ชนิด แล้วสารอาหารอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของกุ้งคือไคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปลือก แม้ไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดว่ากุ้งต้องการไคตินโดยตรงจากอาหารหรือไม่ แต่การผลิตอาหารส่วนใหญ่มักมีการใช้วัตถุดิบที่เป็นแหล่งไคติน เช่น เปลือกกุ้งหรือเปลือกปู ซึ่งอาหารกุ้งควรมีไคตินอย่างน้อย 0.5 เปอร์เซ็นต์ (Akiyama *et al.*, 1992) นอกจากนี้อาจเสริมไคโตซานลงในอาหารระหว่างการเลี้ยงกุ้งได้โดยการเสริมไคโตซานในอัตรา 400 ppm ทำให้กุ้งมีการเจริญเติบโต อัตรารอดและมีสุขภาพดีขึ้น (ปิยะบุตร และคณะ, 2544)

การแทนที่ปลาปนด้วยแหล่งโปรตีนชนิดอื่น

การแทนที่ปลาปนด้วยแหล่งโปรตีนชนิดอื่นสำหรับการผลิตอาหารกุ้งขาวแวนนาไม่นับเป็นหัวข้อที่มีการศึกษากันมากนักเนื่องจากราคาปลาปนมีแนวโน้มสูงขึ้นตามผลผลิตปลาปนที่ลดลง แม้ว่ามีการวิจัยการแทนที่ปลาปนด้วยแหล่งโปรตีนอื่น ๆ หลายชนิดแต่วัตถุดิบบางชนิดไม่มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตอาหารเชิงพาณิชย์เนื่องจากไม่สะดวกในการจัดหาทั้งปริมาณและระยะเวลา ดังนั้นเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการผลิตอาหารกุ้งขาวแวนนาไม่เชิงพาณิชย์รายงานนี้จึงนำเสนอเฉพาะงานวิจัยที่ทดสอบโดยใช้วัตถุดิบที่สามารถจัดหาได้สะดวกเท่านั้น โดยผลการแทนที่ปลาปนด้วยวัตถุดิบต่าง ๆ ในสูตรอาหารกุ้งขาวแวนนาไม่ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต อัตรารอดและอัตราแลกเนื้อ แสดงในตาราง

ที่ 1 อย่างไรก็ตามความสำเร็จในการแทนที่ปลาปนอาจขึ้นอยู่กับสภาพการทดลอง ขนาดของกุ้งทดลอง รูปแบบการแทนที่ ระดับโปรตีนในอาหาร ชนิดปลาปน ระดับปลาปนที่ใช้ ความสมดุลของสารอาหารและผลกระทบอื่นๆ ที่เกิดจากการแทนที่ โดยมีความเป็นไปได้ของการใช้แหล่งโปรตีนอื่น ๆ แทนที่ปลาปนได้ทั้งหมดหากสูตรอาหารมีระดับปลาปนต่ำ เช่น สามารถแทนที่ปลาปนด้วยวัตถุดิบผสมระหว่างไก่ป่นและเลือดป่นหรือไก่ป่นอย่างเดียวได้ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสูตรควบคุมมีการใช้ปลาปน 8 เปอร์เซ็นต์ (Tacon *et al.*, 2010) หรือกรณีการแทนที่ปลาปนด้วยวัตถุดิบผสมระหว่างกากถั่วเหลืองและกากคาโนล่าได้ 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสูตรควบคุมมีการใช้ปลาปน 15 เปอร์เซ็นต์ (Suárez *et al.*, 2009) นอกจากนี้ระบบการทดลองที่มีอาหารธรรมชาติเข้ามาเกี่ยวข้องอาจมีส่วนทำให้การแทนที่ปลาปนประสบความสำเร็จ เช่น การทดลองในบ่อระบบน้ำหมุนเวียนกลางแจ้ง (Roy and Davis, 2009) หรือการทดลองในบ่อดิน (Amaya *et al.*, 2006)

แม้ว่าการแทนที่ปลาปนด้วยแหล่งโปรตีนบางชนิดในสูตรอาหารสำหรับกุ้งขาวแวนนาไม่จะประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีแต่การผลิตอาหารกุ้งขาวแวนนาไม่เชิงพาณิชย์ยังคงใช้ปลาปนในสูตรอาหารอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากปลาปนมีโปรตีนสูง ไขมันสูงและมีกรดอะมิโนจำเป็นที่สมดุลกับชนิดและปริมาณที่พบในสัตว์น้ำ ดังนั้นปลาปนจึงมีประโยชน์ในแง่การปรับสมดุลของกรดอะมิโนจำเป็นในสูตรอาหารให้สมดุลกับความต้องการของกุ้งชนิดนี้ รวมทั้งยังเป็นสารดึงดูดการกินอาหารที่ดีอีกด้วย (NRC, 1993) แต่ด้วยแรงกดดันเกี่ยวกับราคาปลาปนและข้อกังวลต่าง ๆ ทำให้มีการคาดการณ์ว่าระดับปลาปนเฉลี่ยในสูตรอาหารสำหรับกุ้งทะเลจะลดลงจาก 12 เปอร์เซ็นต์ ในปี พ.ศ. 2553 เหลือเพียง 8 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ภายในปี พ.ศ. 2558 และ 2563 ตามลำดับ (Tacon and Metain, 2008) ส่วนแหล่งโปรตีนสำหรับการแทนที่ปลาปนในสูตรอาหารกุ้งทะเลรวมทั้งกุ้งขาวแวนนาไม่นั้นควรเป็นแหล่งโปรตีนที่ไม่มีสารต้านโภชนาการ (Francis *et al.*, 2001) เช่น โปรตีนจากสัตว์ได้แก่ ไก่ป่น ขนไก่ป่นและเนื้อป่น โดย Tacon *et al.* (2012) แนะนำว่าระดับการใช้แหล่งโปรตีนเหล่านี้ในสูตรอาหารสำหรับกุ้งทะเลควรมีค่าไม่เกิน 10-30, 1-10 และ 10-30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Table 1 Achievements of fishmeal replacement with alternative protein sources without adverse impacts on growth, survival and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931)

Size (g.)	Experimental Condition	Dietary Protein/ Control	Ingredient/ % Replacement	Reference
0.37	Laboratory, 42 days	32%/ Menhaden FM 30%	Co-extruded soybean/poultry by-product meal, or flashed dried poultry meal / 80% of FM protein	Davis and Arnold (2000)
0.8	Laboratory, 100 ind. m ⁻² , Feeding 8 times a day, 56 days	36%/ Norwegian FM 24.5%	Meat and bone meal/ 25% of FM protein	Forster <i>et al.</i> (2003)
1.13	Shaded outdoor tank, 30 ind. m ⁻² , Feeding 4 times a days, 42 days	32%/ Menhaden FM 30%	Co-extruded soybean/poultry by-product meal supplemented with egg powder/ 100% of FM protein	Samocha <i>et al.</i> (2004)
1.7	Fiberglass tank, 1.3 ind. L ⁻¹ , Feeding 3 times a day, 52 days	40%/ White FM 22%	Meat and bone meal/ 60% of dietary FM or poultry by-product meal/ 80% of dietary FM	Zhu <i>et al.</i> (2004)
0.88	Fiberglass tank, 6.5 ind. L ⁻¹ , Feeding 3 times a day, 56 days	41%/ Anchovy FM 40%	Meat and bone meal/ 60% of dietary FM	Tan <i>et al.</i> (2005)
0.031	Earthen pond, 35 ind. m ⁻² Feeding 2 times a day, 126 days	36%/ FM 9%	Soybean meal + wheat gluten/ 100% of FM protein	Amaya <i>et al.</i> (2006)
0.45	Outdoor tank with recirculating system, 33.4 ind. m ⁻³ , Feeding 2 times a day, 63 days	36%/ Menhaden FM 10.1%	Poultry by-product meal/ 100% of dietary FM protein	Roy and Davis (2009)
-	Fiberglass tank, 6.5 ind. L ⁻¹ , Feeding 3, times a day, 60 days	39%/ Anchovy FM 30%	Poultry by-product meal/ 70% of FM protein	Shuyan <i>et al.</i> (2009)
0.3	Fiberglass tank, 2 ind. L ⁻¹ , Feeding 5 times a day, 95 days	39%/ Peruvian FM 15%	Soybean meal + canola meal/ 75% of dietary protein	Suárez <i>et al.</i> (2009)
2.7	Fiberglass tank, 75 ind. m ⁻³ Feeding 8 times a day, 70 days	34%/ Peruvian FM 8%	Poultry by-product meal+ blood meal, or only poultry by-product meal/ 100% of FM protein	Tacon <i>et al.</i> (2010)

Table 1 (continued)

Size (g.)	Experimental Condition	Dietary Protein/ Control	Ingredient/ % Replacement	Reference
0.8	Laboratory, Feeding 4 times a day, 56 days	44%/ FM 30%	Cottonseed meal/ 24% of dietary FM	Wang (2010)
0.62	Laboratory, Feeding 4 times a day, 56 days	42%/ FM 30%	Canola meal/ 24% of dietary FM	
0.66	Laboratory, Feeding 4 times a day, 56 days	43%/ FM 30%	Cottonseed meal+ canola meal (1:1) supplemented with methionine and lysine/ 30% of dietary FM	
3.37	Fiberglass tank with recirculating system, 4.3 ind. L ⁻¹ , Feeding 3 times a day, 42 days	41%/ China FM 30%	Peanut meal/ 30% of FM protein	Liu <i>et al.</i> (2012)

การแทนที่น้ำมันจากปลาทะเล

โดยทั่วไปสูตรอาหารสำหรับกุ้งขาวแวนนาไมมักมีส่วนประกอบของปลาป่น 20 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันปลาทะเลประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากน้ำมันปลาทะเลมีราคาสูงจึงมีความพยายามในการลดการใช้ไขมันชนิดนี้ เช่นเดียวกันกับปลาป่น (Tacon and Metian, 2008) โดยมีความเป็นไปได้ของการแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยแหล่งไขมันชนิดอื่น ๆ ได้ในอัตราสูงหรือทั้งหมดหากอาหารยังคงมีกรดไขมันจำเป็น เช่น ARA EPA และ DHA ที่เพียงพอต่อความต้องการของกุ้งชนิดนี้ (González-Félix *et al.*, 2009) ดังเช่นกรณี

ของการแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยน้ำมันถั่วเหลืองในสูตรอาหารสำหรับกุ้งขาวแวนนาไมได้ 90 เปอร์เซ็นต์ (เหลือน้ำมันปลาทะเลในสูตรอาหาร 0.46 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีผลให้อาหารมี ARA EPA และ DHA ประมาณ 0.01, 0.15 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (da Silva, 2013) เมื่อพิจารณาผลรวมของ EPA และ DHA ของการทดลองนี้มีค่าไม่เกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ González-Félix *et al.* (2002) ที่ระบุว่า

ระดับ DHA ในอาหารสำหรับกุ้งชนิดนี้ไม่ควรเกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์ หรือหากคิดเป็นผลรวมของ EPA และ DHA ก็ไม่ควรเกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน ส่วนการแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยกากจากการสกัดน้ำมันปลาทะเลให้บริสุทธิ์ หรือเรียกว่า stearine สามารถทำได้อาจทำได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (Ju *et al.*, 2012; da Silva, 2013) ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบชนิดนี้มีชนิดกรดไขมันจำเป็นที่เหมือนกัน ส่วนอิทธิพลของความเค็มต่อความสำเร็จของการแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยแหล่งไขมันชนิดอื่นนั้นพบว่าเมื่อความเค็มของน้ำที่เลี้ยงลดต่ำลงหรือเพิ่มสูงขึ้นทำให้มีแนวโน้มที่กุ้งขาวแวนนาไมจะต้องการกรดไขมันชนิด LNA เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลให้สามารถแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยแหล่งไขมันที่มี LNA ในปริมาณสูง เช่น น้ำมัน flaxseed ได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ (da Silva, 2013) แม้ว่าสาเหตุที่กุ้งชนิดนี้ต้องการกรดไขมันชนิด LNA เพิ่มขึ้นหากเลี้ยงในสภาพน้ำความเค็มลดลงหรือสูงขึ้นไม่ทราบแน่ชัดแต่อาจเกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลน้ำและแร่ธาตุในร่างกาย (osmoregulation) นอกจากนี้ยังมีความพยายามในการหาแหล่งกรดไขมันจำเป็นเพื่อทดแทน

น้ำมันปลาทะเลซึ่งพบว่ามีสาหร่ายทะเล 2 สกุล ที่มีศักยภาพคือ *Schizochytrium* spp. และ *Mortierella* spp. ซึ่งเป็นแหล่ง DHA และ EPA ตามลำดับ จากการศึกษาของ Patnaik *et al.* (2006) พบว่าสามารถแทนที่น้ำมันปลาทะเลในสูตรอาหารกุ้งชนิดนี้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์เปอร์เซ็นต์ (ที่อัตราการใช้ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์) โดยใช้ *Schizochytrium* sp. และ *Mortierella alpina* อัตรา 0.5 และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สรุป

สามารถใช้ *Schizochytrium* spp. หรืออาหารสำเร็จรูปที่มีกรดไขมันกลุ่ม HUFA แทนที่ *Chaetoceros* spp. ได้บางส่วนสำหรับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมจากระยะโปรโตโซเอียถึงระยะไมซีล และการใช้ร่วมกันระหว่าง *Chaetoceros* spp. กับอาหารเหล่านี้ทำให้ลูกกุ้งมีอัตราการรอดดีกว่าการใช้ *Chaetoceros* spp. เพียงอย่างเดียว สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมจากระยะไมซีลถึงระยะโพสต์ลาร์วาก็สามารถใช้โคฟีพอด โรติเฟอร์ ไรน้ำกร่อยและไรแดงแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนได้บางส่วนเช่นกัน อย่างไรก็ตามอาจแทนที่อาร์ทีเมียด้วยอาหารมีชีวิตเหล่านี้ได้ทั้งหมดหากมีการเสริมกรดไขมันกลุ่ม HUFA และกำหนดอัตราส่วนของ DHA/EPA ให้มีค่าอยู่ในช่วง 0.5-1.5 นอกจากนี้สามารถแทนที่อาร์ทีเมียวัยอ่อนด้วยอาหารสำเร็จรูปได้ทั้งหมดหากอาหารสำเร็จรูปมีคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงกับอาร์ทีเมียที่เสริมด้วยกรดไขมัน HUFA แม้ว่าการศึกษาด้านโภชนาการสำหรับการเลี้ยงกุ้งให้ได้ขนาดตลาดยังมีไม่มากแต่พอที่จะสรุปความต้องการสารอาหารสำคัญได้ดังนี้ คือ ความต้องการโปรตีน ไขมัน กรดไขมันจำเป็นรวม (LOA, LNA, ARA, EPA และ DHA) ผลรวมของ EPA และ DHA เลซิติน คอเลสเทอรอล ไคตินและแอสด้าแซนทิน มีค่าเท่ากับ 30-40%, 6-8%, 0.8%, 0.25%, 3.0%, 0.4%, 0.5% และ 50 ppm ตามลำดับ การแทนที่ปลาปนด้วยแหล่งโปรตีนชนิดอื่นสำหรับการผลิตอาหารเพื่อเลี้ยงกุ้งวัยรุ่นจนถึงขนาดตลาดเป็นหัวข้อที่มีการศึกษากันมากโดยมีแนวโน้มที่จะสามารถแทนที่ปลาปนได้ทั้งหมดหากสูตรอาหารมีการใช้ปลาปนน้อย เช่น 8-15 เปอร์เซ็นต์ หรือมีอาหารธรรมชาติ

เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การเลี้ยงในบ่อดินหรือบ่อกลางแจ้ง ส่วนการแทนที่น้ำมันปลาทะเลด้วยแหล่งไขมันอื่น ๆ สามารถทำได้ในอัตราสูงหรือทั้งหมดหากอาหารยังคงมีกรดไขมันจำเป็น เช่น ARA EPA และ DHA ที่เพียงพอต่อความต้องการของกุ้งชนิดนี้ และสามารถใช้ *Schizochytrium* spp. และ *Mortierella* spp. ซึ่งเป็นแหล่ง DHA และ ARA ตามลำดับเพื่อลดการใช้ น้ำมันปลาทะเลได้

เอกสารอ้างอิง

- เกตุณภัต ศรีไพโรจน์ รุ่งกานต์ กล้าหาญ พงศ์นรินทร์ เมฆขุนทด และ ทองอยู่ อุดเลิศ. 2556. การเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของสายพันธุ์ปลานิลที่เลี้ยงในจังหวัดพะเยา. วารสารเกษตร 29(2): 137-144.
- กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. 2546. สถานการณ์การเพาะเลี้ยงกุ้งขาวในประเทศไทย. กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทรรักษ์กุล. 2547. อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 206 หน้า.
- ทรงทรัพย์ อรุณมกล นนทวิทย์ อารีย์ชน วิเชียร ยงมานิตยชัย สวัสดิ์ ลิ้มทอง และ เดือนรัตน์ ชลอุดมกุล. 2551. การใช้ *Schizochytrium limacinum* ในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei* Boone) และผลที่มีต่อความทนทานต่อความเครียดและความต้านทานโรค. หน้า 138-146. ใน: เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2551. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธีรวัฒน์ สัมภามานะ และ จีรภรณ์ มีศรี. 2548. การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยไรแดงเสริมสารอาหารและอาร์ทีเมีย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 36/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสุราษฎร์ธานี, กรมประมง. 17 หน้า.

- นนทวิทย์ อารีย์ชน ดวงใจ กิตติปรีชากุล และ ชุมพล ศรีทอง. 2546. การใช้แอสตาแซนทินจากยีสต์ *Phaffia rhodozyma* กับกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* Fabricius. หน้า 137-145. ใน: เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2546. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บุญรัตน์ ประทุมชาติ และ คงศักดิ์ เรืองบุญส่ง. 2546. การอนุบาลกุ้งกุลาดำโพลลวาดด้วยอาร์ทีเมียแช่แข็ง ไรแดงแช่แข็ง อาร์ทีเมียเฟลก และอาหารสำเร็จรูป. หน้า 187-194. ใน: เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2546. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ นบชนก ธนพงศธร และ สุวลี จันทรกระจ่าง. 2544. การใช้โคติน-โคโดซานเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตในกุ้งกุลาดำ. หน้า 30-37. ใน: รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2544. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ประจวบ หล้าอุบล. 2543. อดีต-อนาคตกุ้งไทย. หน้า 1-66. ใน: เสวนาวิชาการเรื่องกุ้ง. 2543. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พัชรี ชุ่นสั้น จุละดี พงศ์มณีรัตน์ จำเริญศรี พวงแก้ว และ ไพบุญย์ บุญลิปตานนท์. 2553. ผลการเสริม *Schizochytrium limacinum* (D. Honda & Yokochi, 1998) ในอาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการอดตาย และความทนทานของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) ระยะวัยอ่อน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 6/2553. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกระบี่, กรมประมง. 23 หน้า.
- พรเทพ วิรัชวงศ์. 2546. การใช้ไรน้ำกร่อย (*Diaphanosoma celebensis* Stingelin) อนุบาลลูกกุ้งกุลาดำระยะโพสต์ลาร์วา. หน้า 3-9. ใน: เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2546. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วิทยา รัตน์นะ. 2549. ผลของความเค็มต่ำและองค์ประกอบของธาตุในน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตและอัตราการอดตายของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei* Boone). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 82 หน้า.
- หน่วยวิจัยเพื่อความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพกุ้ง. 2547. โครงการประเมินผลกระทบการนำเข้ากุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) เข้าประเทศไทย (รายงานฉบับสมบูรณ์). คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล. 294 หน้า.
- Akiyama, D. M., W. G. Dominy and A. L. Lawrence. 1992. Penaeid shrimp nutrition. pp. 535-565. In: E. W. Fast and L. J. Lester (eds). Marine Shrimp Culture: Principles and Practices. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- Amaya, E. A., D. A. Davis and D. B. Rouse. 2006. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions. Aquaculture 262-264: 393-401.
- Arredondo-Figueroa, J. L., E. J. Vernon-Carter and J. T. Ponce-Palafox. 1999. Dose response to unesterified Aztec marigold (*Tagetes erecta*) pigments of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed various dietary concentrations of carotenoids. Crustacean Issues 12: 481-487.
- Arredondo-Figueroa, J. L., R. Pedroza-Islas, J. T. Ponce-Palafox and E. J. Vernon-Carter. 2004. Pigmentation of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*, BOONE1931) with esterified and saponified carotenoids from red chile (*Capsicum annum*) in comparison to astaxanthin. Revista Mexicana de Ingeniería Química 2: 101-108.

- Boonyaratpalin, M., S. Thongrod, K. Supamattaya, G. Britton and L. E. Schlipalius. 2001. Effects of b-carotene source, *Dunaliella salina*, and astaxanthin on pigmentation, growth, survival and health of *Penaeus monodon*. *Aquaculture Research* 32(1): 182-190.
- Briggs, M., S. Funge-Smith, R. Subasinghe and M. Phillips. 2004. Introductions and movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific. RAP Publication 2004/10. Regional office for Asia and the Pacific, FAO, Bangkok. 79 p.
- Cheng, K. -M., C. -Q. Hu, Y. -N. Liu, S. -X. Zheng and X. -J. Qi. 2006. Effects of dietary calcium, phosphorus and calcium/phosphorus ratio on the growth and tissue mineralization of *Litopenaeus vannamei* reared in low-salinity water. *Aquaculture* 251: 472-483.
- Conklin, D. E. 2003. Use of soybean meal in the diets of marine shrimp. Technical review paper. American Soybean Asssoiciation (ASA), St. Louis, Missouri, USA. 16 p.
- DAbramo, L. R., E. I. Perez, R. Sangha and A. Puello-Cruz. 2006. Successful culture of larvae of *Litopenaeus vannamei* fed a microbound formulated diet exclusively from either stage PZ2 or M1 to PL1. *Aquaculture* 261: 1356-1362.
- da Silva, F. S. D. 2013. Development and application of non marine ingredients based diets for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Examining the suitability of alternative lipid sources. Dissertation. Auburn University, Alabama, USA. 144 p.
- Davis, D. A. and C. R. Arnold. 2000. Replacement of fishmeal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 185(3-4): 291-298.
- Davis, D. A. and I. P. Saoud. 2004. Nutritional considerations for Pacific white shrimp reared in inland, low-salinity waters. *Global Aquaculture Advocate* June: 43-44.
- FAO. 1987. The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp - a training manual. Fisheries and Aquaculture Department, Rome, Italy.
- FAO. 2013. Report of the FAO/MARD technical workshop on early mortality syndrome (EMS) or acute hepato pancreatic necrosis syndrome (AHPNS) of cultured Shrimp (under TCP/VIE/3304). Report No. 1053. Fisheries and Aquaculture Rome, Italy. 65 p.
- Focken, U., C. Schlechtriem, M. von Wuthenau, A. García-Ortega, A. Puello-Cruz and K. Becker. 2006. *Panagrellus redivivus* mass produced on solid media as live food for *Litopenaeus vannamei* larvae. *Aquaculture Research* 37: 1429-1436.
- Forster, I. P., W. G. Dominy, L. Obaldo and A. G. J. Tacon. 2003. Rendered meat and bone meals as ingredients of diets for shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture* 219: 655-670.
- Fox, J. M., A. L. Lawrence, I. P. Forster and W. G. Dominy. 2010. Methionine requirements estimated for white shrimp. *Global Aquaculture Advocate* May/April: 29-30.
- Fox, J. M., M. Humes, D. A. Davis and A. L. Lawrence. 2011. Evaluation of methionine supplements and their use in grain-based feeds for *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 42(5): 676-686.
- Francis, G., H. P. S. Makkar and K. Becker. 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternative fish feed ingredients and

- their effects in fish. *Aquaculture* 199: 197-227.
- Funge-Smith, S., M. Briggs and R. Subasinghe. 2003. Is white shrimp (*Penaeus vannamei*) a threat to Asian shrimp culture?. *FAO Aquaculture Newsletter* 30: 19-23.
- Gervais, N. F. and T. R. Zeigler. 2013. Synthetic product replaces live *Artemia* in shrimp larviculture. *Global Aquaculture Advocate* May/June: 28-30.
- Giguere, M. A. 2011. The economics of partial *Artemia* replacement using two commercially available feeds in the diets of *Litopenaeus vannamei* from Z3/M1-PL10. Master thesis. University of Miami. Miami, USA. 289 p.
- Gong, H., D. H. Jiang, A. L. Lawrence and D. M. Gatlin. 2001. Lipid nutrition of *Litopenaeus vannamei*. *Global Aquaculture Advocate* 4(2): 48-50.
- González-Félix, M. L., D. M. Gatlin, A. L. Lawrence and M. Perez-Velazquez. 2002. Effect of dietary phospholipid on essential fatty acid requirements and tissue lipid composition of *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture* 207(1-2): 151-167.
- González-Félix, M. L., M. Perez-Velazquez and J. M. Quintero-Alvarez. 2009. Effect of various dietary levels of docosahexaenoic and arachidonic acids and different n-3/n-6 ratios on biological performance of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, raised in low salinity. *Journal of the World Aquaculture Society* 40(2): 194-206.
- Hannah, C., M. Mani and R. Ramasamy. 2013. Evaluation of the biochemical composition of four marine algae and its nutritional value for brine Shrimp. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 6(3): 47-51.
- Harel, M., W. Koven, I. Lein, Y. Bar, P. Behrens, J. Zohar and A.R. Place. 2002. Advanced DHA, EPA and ARA enrichment materials for marine aquaculture using single cell heterotrophs. *Aquaculture* 213(1-4): 347-362.
- Hoseinifar, S. and P. Zare. 2013. Effects of different levels of live food replacement with microdiet on growth factors, survival and resistance to salinity stress of Indian white shrimp postlarvae (*Fenneropenaeus indicus*). *International Journal of Aquatic Biology* 1(5): 209-214.
- Hurtado, M. A., I. S. Racotta, O. Arjona, M. Hernandez-Rodriguez, E. Goytortúa, R. Civera and E. Palacios. 2006. Effect of hypo- and hyper-saline conditions on osmolarity and fatty acid composition of juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) fed low- and high-HUFA diets. *Aquaculture Research* 37(13): 1316-1326.
- Ju, Z. -Y., D. -F. Deng, W. G. Dominy and I. P. Forster. 2011. Pigmentation of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, by dietary astaxanthin extracted from *Haematococcus pluvialis*. *Journal of the World Aquaculture Society* 42(5): 633-644.
- Ju, Z. Y., F. Castille, D. F. Deng, W. G. Dominy, A. L. Lawrence and I. P. Forster. 2012. Effects of replacing fish oil with stearine as main lipid source in diet on growth and survival of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture Research* 43(10): 1528-1535.

- Kaushik, S. J. 2012. Shrimp nutrition: from requirements to development of practical feed. pp. 3-5. In: DSM Aquaculture conference Asia Pacific 2012. Bangkok, Thailand.
- Khojasteh, Z., R. Davoodi, R. G. Vaghei and H. Nooryazdan. 2013. Survival, development and growth of white leg shrimp, zoea fed with monoalgae (*Chaetoceros* and *Tetraselmis*) diets. World Journal of Fish and Marine Sciences 5(5): 553-555.
- Liu, X. H., J. D. Ye, K. Wang, J. H. Kong, W. Yang and L. Zhou. 2012. Partial replacement of fish meal with peanut meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture Research 43(5): 745-755.
- Liu, F. J., Y. J. Liu, L. X. Tian, W. D. Chen, H. J. Yang and Z. Y. Du. 2014. Quantitative dietary leucine requirement of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone) reared in low-salinity water. Aquaculture Nutrition 20(3): 332-340.
- Lucien-Brun, H. and F. Vidal. 2006. Shrimp pigmentation with natural carotenoids. AQUA Culture Asia Pacific Magazine May/June: 34-35.
- Martín, L., A. Arenal, J. Fajardo, E. Pimentel, L. Hidalgo, M. Pacheco, C. García and D. Santiesteban. 2006. Complete and partial replacement of *Artemia* nauplii by *Moina micrura* during early postlarval culture of white shrimp (*Litopenaeus schmitti*). Aquaculture Nutrition 12(2): 89-96.
- Naessens, E., R. Wouters, M. L. Cobo, V. Vargas, A. Pedrazzoli, A. Van Hauwaert and P. Lavens. 1995. Effect of n-3 HUFA and DHA/EPA ratio in enriched live feed on fatty acid composition and culture performance of *Penaeus vannamei* larvae. pp. 217-220. In: P. Lavens, E. Jaspers and I. Roelants (eds.). Special Publication No. 24 of Larvi'95. European Aquaculture Society, Gent, Belgium.
- NRC. 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington DC, USA. 128 p.
- Patnaik, S., T. M. Samocha, D. A. Davis, R. A. Bullis and C. L. Browdy. 2006. The use of HUFA-rich algal meals in diets for *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture Nutrition 12(5): 395-401.
- Perez-Velazquez, M. and A. L. Lawrence. 2004. Advances in triglyceride, fatty acid nutrition in penaeid shrimp. Global Aquaculture Advocate October: 76-77.
- Ponce-Palafox, J. T., J. L. Arredondo-Figueroa and E.J. Vernon-Carter. 2006. Carotenoids from plants used in diets for the culture of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Revista Mexicana de Ingenieria Química 5(2): 157-165.
- Roy, L. A., D. A. Davis and I. P. Saoud. 2006. Effects of lecithin and cholesterol supplementation to practical diets for *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity waters. Aquaculture 257(1-4): 446-452.
- Roy, L. A. and D. A. Davis. 2009. Alternatives to fishmeal perform well in low-salinity shrimp farm trial. Global Aquaculture Advocate May/June: 62-64.
- Samocha, T. M., D. A. Davis, I. P. Saoud and K. DeBault. 2004. Substitution of fishmeal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white

- shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 231(1-4): 197-203.
- Sangha, R. S., A. C. Puella-Cruz, M. C. Chavez-Sanchez and D. A. Jones. 2000. Survival and growth of *Litopenaeus vannamei* (Boone) larvae fed a single dose of live algae artificial diets with supplements. Aquaculture Research 31(8-9): 683-689.
- SEAFDEC. 2005. The report of regional technical consultation on the aquaculture of *Penaeus vannamei* and other exotic shrimps in Southeast Asia. Aquaculture department, Tigbauan, Iloilo, Philippines. 99 p.
- Shuyan, C., B. Tan, K. Mai and Z. Shixuan. 2009. Growth and feed efficiency of juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei* fed formulated diets containing different levels of poultry by-product meal. Journal of Ocean University of China 8(4): 399-403.
- Smith, D. M. 2006. Nutritional requirements of aquaculture species-shrimp. In: Aquaculture nutrition master class. Asian Institute of Technology, Pathumtani, Thailand.
- Sookying, D. 2010. Development and application of soybean based diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Dissertation. Auburn University, Alabama, USA. 140 p.
- Sorgeloss, P., P. Coutteau, P. Dhert, G. Merchie and P. Lavens. 1998. Use of brine shrimp, *Artemia* spp., in larval crustacean nutrition: Reviews in Fish Biology and Fisheries 6(1-2): 55-68.
- Suárez, J. A., G. Gaxiola, R. Mendoza, S. Cadavid, G. Garcia, G. Alanis, A. Suarez, J. Faillace and G. Cuzon. 2009. Substitution of fish meal with plant protein sources and energy budget for white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). Aquaculture 289(1-2): 118-123.
- Tacon, A. G. J. and M. Metian. 2008. Global overview on the use of fishmeal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. Aquaculture 285(1-4): 146-158.
- Tacon, A. G. J., E. W. Cahyono, U. Sugema, C. Zaudjat and S. Nates. 2010. Replacement of fishmeal and marine proteins in practical diets for Pacific white shrimp using terrestrial land animal proteins. AQUA Culture Asia Pacific Magazine May/June: 12-17.
- Tacon, A. G. J., M. R. Hasan, G. Allan, A. -F. El-Sayed, A. Jackson, S. J. Kaushik, W. K. Ng, V. Suresh and M. T. Viana. 2012. Aquaculture feeds: Addressing the long term sustainability of the sector. pp. 193-231. In: R. P. Subasinghe, J. R. Arthur, D. M. Bartley, S.S. De Silva, M. Halwart, N. Hishamunda, C. V. Mohan and P. Sorgeloos (eds). Proceedings of the Global Conference on Aquaculture 2010: Farming the Waters for People and Food. FAO and NACA. Phuket, Thailand.
- Tan, R. K. H. and W. G. Dominy. 1997. Commercial pelleting of crustacean feeds. pp. 520-549. In: L. R. D'Abramo, D. E. Conklin and D.M. Akiyama (eds). Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA.
- Tan, B., K. Mai, S. Zheng, Q. Zhou, L. Liu and Y. Yu. 2005. Replacement of fishmeal by meat and bone meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaeus vannamei*

-
- (Boone). *Aquaculture Research* 36(5): 439-444.
- Wang, T. 2010. Study on utilization of cottonseed meal and canola meal for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus Vannamei*. Master thesis. Guangdong Ocean University, Guangdong, China. 67 p.
- Wouters, R. 2008. Highly-digestible artificial feeds for shrimp larvae and postlarvae. *AQUA Culture Asia Pacific Magazine* November/December: 12-16.
- Xie, F., W. Zeng, Q. Zhou, H. Wang, T. Wang, C. Zheng and Y. Wang. 2012. Dietary lysine requirement of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 358-359: 116-121.
- Zhang, J., Y. -J. Liu, L. -X. Tian, H. -J. Yang, G. -Y. Liang, Y. -R. Yue and D. -H. Xu. 2013. Effects of dietary astaxanthin on growth, antioxidant capacity and gene expression in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition* 19(6): 917-927.
- Zhou, Q. C., W. P. Zeng, H. L. Wang, T. Wang, Y. L. Wang and F. J. Xie. 2012. Dietary arginine requirement of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 364-365: 252-258.
- Zhou, Q. C., Y. L. Wang., H. L. Wang and B. P. Tan. 2013. Dietary threonine requirements of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 392-395: 142-147.
- Zhu, W., K. Mai, B. Zhang, F. Wang and Y. Yu. 2004. A study on the meat and bone meal and poultry by-product meal as protein substitutes of fish meal in practical diets for juveniles. *Journal of Ocean University of China* 3(2): 157-160.
-



ใบบอกรับเป็นสมาชิกวารสารเกษตร
ของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว (ชื่อ).....(สกุล).....

ในฐานะ ☐ ส่วนบุคคล

☐ องค์การ/หน่วยงาน (ชื่อ).....

การสื่อสารที่ติดต่อได้ ☐ โทรศัพท์..... ☐ โทรศัพท์มือถือ.....

☐ แฟกซ์..... ☐ e-mail.....

ที่อยู่ในการจัดส่งวารสาร :

.....

.....

มีความประสงค์บอกรับเป็นสมาชิกวารสารเกษตรเป็นเวลา (เห็นการเป็นสมาชิกตามระยะเวลาที่ต้องการ)

☐ สมาชิก 1 ปี ตั้งแต่ปี..... อัตราค่าสมาชิก 150 บาท

☐ สมาชิก 2 ปี ตั้งแต่ปี..... อัตราค่าสมาชิก 300 บาท

☐ สมาชิก 5 ปี ตั้งแต่ปี..... อัตราค่าสมาชิก 650 บาท

พร้อมนี้ข้าพเจ้าได้จัดส่ง ☐ ธนาณัติ ☐ ตัวแลกเงิน ☐ เงินสด มูลค่า.....บาท

ส่งจ่ายในนาม : คุณลาลิตยา นุ่มมีศรี

ที่ทำการไปรษณีย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

50202

หมายเหตุ :

1. ส่งใบบอกรับเป็นสมาชิกวารสารเกษตรไปที่: กองบรรณาธิการวารสารเกษตร งานบริหารงาน
งานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
2. ท่านที่ประสงค์จะสั่งซื้อวารสารฉบับย้อนหลัง สามารถสั่งซื้อได้ในราคาฉบับละ 60 บาท
(รวมค่าจัดส่ง)

นโยบายวารสารเกษตร: ออกตรงเวลา-พัฒนาระดับ impact factor- ผู้เขียนบทความที่ส่งลงตีพิมพ์ต้องสมัครเป็นสมาชิก

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ (ต่อ)

รูปแบบในการใช้ภาษาอังกฤษในเนื้อเรื่องภาษาไทย

- ชื่อวิทยาศาสตร์ คำขึ้นต้นให้ใช้อักษรตัวใหญ่ และใช้อักษรตัวเอน
Meloidogyne incognita
- ชื่อเฉพาะ ให้ขึ้นต้นด้วยอักษรตัวใหญ่ทุกคำ
Berdmann, Marschner
- ภาษาอังกฤษทั้งในวงเล็บและนอกวงเล็บ ให้ใช้ตัวเล็ก
completely randomized design , (transition period)
- ตัวย่อ ให้ใช้อักษรตัวใหญ่ทั้งหมด และควรมีคำเต็มบอกไว้ในการใช้ครั้งแรก
(randomized complete block design, RCBD)
- หัวข้อเรื่อง ให้ขึ้นด้วยอักษรตัวใหญ่
Abstract, Introduction
- คำแรกทีตามหลัง คำสำคัญ ให้ขึ้นต้นด้วยอักษรตัวใหญ่
Keywords : Mango, chlorophyll

การส่งเรื่องเพื่อตีพิมพ์

ให้ส่งต้นฉบับ 1 ชุด พร้อมแผ่นบันทึกข้อมูล โดยส่งถึง บรรณาธิการวารสารเกษตร
งานบริหารงานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัด
เชียงใหม่ 50200

การบอกรับเป็นสมาชิก

บอกรับเป็นสมาชิกได้จากใบบอกรับเป็นสมาชิกท้ายเล่ม หรือติดต่อกอง
บรรณาธิการโดยตรง

การตอบรับบทความ

บทความทุกบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารเกษตร ต้องผ่านการประเมินจาก
ผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่น้อยกว่า 2 ท่าน

** กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจและแก้ไขบทความที่เสนอเพื่อการตีพิมพ์ใน
วารสารเกษตร

** The Editorial Board claims a right to review and correct all articles submitted for
publishing

JOURNAL OF AGRICULTURE

A Technical Journal of Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

Volume 31, Issue 1 January - April 2015

Nest Entrance Architectural Types of <i>Tetragonula laeviceps</i> (Smith) a Stingless Bee Species Complex (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) in Thailand and Peninsular Malaysia	
Kanokwan Khamyotchai, Häns Bänzige and Jiraporn Kulsarin.....	1
Biology of Coffee Bean Weevil <i>Araecerus fasciculatus</i> (De Geer)	
(Coleoptera: Anthribidae) in Garlic and Its Control Using Carbon Dioxide	
Rattanaporn Chaisri and Piyawan Suttiprapan.....	11
Synthetic Sex Pheromone Trap Designs for Controlling Diamondback Moth in	
Cabbage Production on Highland	
Artitaya Tongkamkul Jiraporn Kulsarin and Sawai Buranapanichpan.....	21
Use of Waste Material from Seedlac Production for Producing Organic Fertilizer I.	
Effects of Drying Temperature and Storage period on Properties of	
Lac Organic Fertilizer	
Sirirat Pakprakon and Choochad Santasup.....	31
Using Electrolyzed Oxidizing Water in Controlling Bacteria for Prolonging	
Storage-life of Organic Vegetables	
Wanwisa Techawong and Kaewalin Kunasakdakul.....	39
Aflatoxin B1 Inhibition Using Atoxigenic <i>Aspergillus flavus</i> of Strains	
Kawintra Khangkhan, Tosawat Anorach, Payungsak Intawicha,	
Somchart Thana, Choke Sorachakula and Khanchai Danmek.....	47
Factors Affecting of Successful Implementation of the Royal Project Development Centers	
Napaporn Tangtis and Wallratat Intaruccomporn.....	59
Growth Performance and Carcass Composition of Native Chicken Reared by	
Germinated Rice	
Tanom Tathong, Santisook Worrawattanatanam and Montree Worrakot.....	69
Product Development of Reduced Fat Chicken Holy Basil Sausage Using	
Konjac Flour in Combination with Xanthan Gum	
Sirilada Kailomsom.....	77
Review Article:	
Nutritional Management for Nursing and Culturing Pacific White Shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i> Boone, 1931)	
Pichet Plaipetch.....	89