



วารสารเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURE

วารสารวิชาการของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่ 33 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2560

การเปรียบเทียบคุณภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมีของเมล็ดกาแฟอาราบิก้าอินทรีย์ ที่ปลูกในระดับความสูงพื้นที่ที่แตกต่างกัน	
วรรณภา เดชครุฑ และ ดร.ณิ นภาพรหม	163
ผลของ GA ₃ NAA และสารคล้ายบราสซิน (BS) ต่อขนาดและน้ำหนักของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน	
พนิตา สุโข สุทธิศา ชัยกุล นงนุช ชนะสิทธิ์ และ ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข	175
วิธีการทำให้เซลล์แตกเพื่อการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายขนาดเล็ก	
ผกามาศ ชิดเชื้อ ปติรุจ จิรกาลวงศ์ และ อรุณา ตนะดุลย์	185
การประเมินคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีจากหญ้าไย่ต่อการยับยั้งการเติบโตของวัชพืชในสภาพแปลง	
อภิรัฐ บัณฑิต และ ทศพล พรพรม	193
ศักยภาพการเป็นปฏิปักษ์ของเชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่แยกจากข้าวในการควบคุมโรคไหม้ของต้นกล้าข้าว	
ณภาพ แก้วกันทา และเกวณีน คุณาศักดากุล	203
ผลของลีโอนาร์โดต่อการปรับปรุงคุณภาพดินและผลผลิตข้าว	
ชาญยุทธ รัตนพรหมณี กวีพร จินะจันตา และ อรรพรรณ ฉัตรสีรุ่ง	215
ผลของการใช้ปุ๋ยละลายช้าต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ของข้าวโพดอาหารสัตว์ ในพื้นที่จังหวัดตาก	
ฐาติ สันทรัพย์ และ กนกวรรณ นพพรณ	225
พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในการผลิตมะเขือเทศของเกษตรกรในจังหวัดสกลนคร	
ณัฐวาท ฤทธะแสง ภาณุพันธุ์ ประภาติกุล และ นิวัฒน์ มาศวรรณ	235
การเปรียบเทียบคุณภาพและภูมิคุ้มกันของน้ำมันเหลืองและน้ำมันของสุกรพื้นเมืองไทยและลูกผสม	
จันทร์มณี สุพรรณวงษ์ และ กรวรรณ ศรีงาม	245
ผลของวัสดุหีบห่อต่ออัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกราม	
เมธาวี รอดมงคลดี วัฒนะ ลีลาภัทร และ นันทพร สุทธิ	257
การพัฒนาผลิตภัณฑ์เจอร์กกีเกอร์สกะเพรา	
ศิริดา ไกรลสม	267
คุณสมบัติฟรีไบโอติกเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์หมุยอเสริมฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์สกัดจากหัวหอมแขกและรากชิโครี	
สุทธิพร นันติ ไพโรจน์ วงศ์พุทธิสิน นิอร โฉมศรี สมคิด ดีจรง และ ปิยะนุช เนียมทรัพย์	277
การใช้แบ่งข้าวกล้องฟรีเจลาติไนซ์ทดแทนแป้งสาลีในขนมปังแผ่นอบกรอบ	
พัชรี แดงด้วง และ สุภาณี ด้านวิริยะกุล	291
การสกัดร่วมกับการกักเก็บสารหอม 2-Acetyl-1-Pyrroline จากใบเตยด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลาติไนเซชัน ภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอเพื่อใช้เคลือบข้าวขาวพิจิตร	
รัตนา ม่วงรัตน์ จารุวรรณ จินดากุล และ วรรณัฐ อินันบุตร	299

ISSN 0857-0841

TCI กลุ่มที่ 1

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

เรื่องที่ต้องพิมพ์

บทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือบทความวิชาการ ทางด้านเกษตรศาสตร์และสาขาที่เกี่ยวข้อง

การเตรียมต้นฉบับ

1. ภาษา เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ
2. การพิมพ์ พิมพ์หน้าเดียวบนกระดาษขนาด A4 ด้วย ไมโครคอมพิวเตอร์โปรแกรมไมโครซอฟท์เวิร์ด ตัวอักษร Cordia new ขนาด 14 ตัวอักษรต่อหน้า 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 300-350 คำ และให้ระบุคำสำคัญ (keywords) ไว้ท้ายบทคัดย่อแต่ละภาษาด้วย (บทความปริทัศน์อาจไม่ต้องมีบทคัดย่อ)

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

3.5 อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods) ให้อธิบายละเอียดวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ ตลอดจนวิธีและแบบจำลองการศึกษาวิจัยที่ชัดเจน และสมบูรณ์

3.6 ผลการศึกษาหรือผลการทดลอง (Results) ให้บรรยายผลการศึกษาวิจัย พร้อมเสนอข้อมูลในรูปแบบ ตารางหรือภาพประกอบได้ โดยตารางหรือภาพ ให้จัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด

3.7 วิจารณ์ (Discussion) ควรเชื่อมโยงกับผลการศึกษาว่าสอดคล้องกับสมมุติฐานหรือไม่ แตกต่างไปจากผลงานวิจัยที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่อย่างไรและด้วยเหตุใด 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 ในเนื้อเรื่อง ไม่ควรอ้างอิงถึงเรื่องที่ไม่เกี่ยวข้องหรือห่างไกล ระบบที่ใช้อ้างอิงคือ ระบบชื่อและปี (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 Johnny (2003)...หรือ...(Johnny, 2003) ถ้าผู้เขียนมี 2 คน ให้ใช้เป็น Johnny and Walker (2004) ...หรือ...(Johnny and Walker, 2004) หากมีมากกว่า 3 คน ให้ใช้เป็น Johnny *et al.* (2005)...หรือ...(Johnny *et al.*, 2005) สำหรับในกรณีที่เอกสารอ้างอิงให้ใส่ชื่อผู้เขียนทุกคนห้ามใช้คำว่า และคณะ หรือ *et al.*

5.2 ในบัญชีเอกสารอ้างอิง ให้เรียงลำดับเอกสารภาษาไทยก่อนภาษาอังกฤษ โดยเรียงตามลำดับอักษรในแต่ละภาษา ตามรูปแบบการเขียนนี้ดังนี้

1) วารสาร (Journals)

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

วันทนา มูทิตา และ ณัฐรา วรรณประเสริฐ. 2547. เซลล์พันธุ์ศาสตร์และการถ่ายทอดสีดอกของฟิวเซีย. วารสารเกษตร 20(1): 10-18.

Barcanas, 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 ขาตรี สิทธิกุล และ เขียวลักษณ์ จันทรวง. 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) เรื่อยย่อในตำราหรือหนังสือที่มีผู้เขียนแยกเรื่องกันเขียน และมีบรรณานุกรม

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

ดำรง เวกิจ และ สมบูรณ์ ทองสกุล. 2535. เทคนิคการใช้สารป้องกันกำจัด ศัตรูพืช. หน้า 22-42. ใน: สุวัฒน์ รวยอริย์ (บก.). แมลงและศัตรูศัตรูที่สำคัญของพืชเศรษฐกิจและการบริหาร. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไอเดีย สแควร์, 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 มณีพองษ์. 2547. ผลของการใช้ไอโซนต่อคุณภาพและสารพิษตกค้างหลังการเก็บเกี่ยวส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 100 หน้า.

5) เอกสารวิชาการอื่นๆ

ชื่อผู้เขียน หรือหน่วยงาน. ปีที่พิมพ์ ชื่อเรื่องหรือชื่อหนังสือ. ประเภทของเอกสาร. สถาบันหรือหน่วยงานที่จัดพิมพ์, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

ทวีศักดิ์ ชัยภาส. 2544. แมลงศัตรูปลาน้ำจืดในประเทศไทย. เอกสารวิชาการ. กองกัญและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 126 หน้า.

6) สื่ออิเล็กทรอนิกส์

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

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2548. การปลูกผักแบบไม่ใช้ดิน (ไฮโดรโปนิคส์). (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.doe.go.th/proster/hondin/htm> (21 เมษายน 2548).

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

คู่มือแนะนำรูปแบบในการใช้ภาษาอังกฤษในเนื้อเรื่องภาษาไทย และการส่งเรื่องเพื่อตีพิมพ์ได้ในนิตยสาร

วารสารเกษตร

JOURNAL OF AGRICULTURE

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

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

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

การเปรียบเทียบคุณภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมีของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า อินทรีย์ที่ปลูกในระดับความสูงพื้นที่ที่แตกต่างกัน

Comparison of Quality and Biochemical Compositions of Organic Arabica Coffee Bean Grown at Different Elevations

วรรณภา เดชครุฑ และ ดรุณี นภาพรหม^{*}
Wannapa Dechkruth and Daruni Naphrom^{*}

ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
Department of Plant Science and Soil Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

^{*}Corresponding author: Email: dnaphrom@gmail.com

(Received: 7 July 2016; Accepted: 27 January 2017)

Abstract: The comparison of quality and biochemical compositions of organic arabica coffee grown at different elevations was carried out at 3 sub-districts; Na Kian, Yang Piang and Khun Tuen in Omkoi district, Chiang Mai province. The elevations were studied at 800-1,000, 1,000-1,200 and 1,200-1,400 meters above mean sea level (msl), respectively. Coffee parchments were collected from each location. Size of the coffee parchment and weight of green bean were measured. Caffeine and trigonelline contents in green bean and roasted bean were determined by HPLC method. The consumer satisfaction for cup test as also investigated. Results revealed that the sizes of coffee parchment were not significantly different in each elevation, however the highest weight of green bean was found at 1,000-1,200 msl. The green bean and roasted bean at 800-1,000 msl had the highest caffeine contents; 1.73 and 1.43 mg/g, respectively. There caffeine contents were significantly higher when compared with the other elevations. Furthermore, arabica coffee grown at the elevation 800-1,000 msl had also the highest trigonelline content in the green and roasted bean (0.99 and 1.78 mg/g, respectively) The trigonelline contents of green and roasted been grown at 1,000-1,200 msl were 0.83 and 1.35 mg/g while the value of 0.60 and 1.03 mg/g were observed at 1,200-1,400 msl planting area. For the consumer satisfaction test, most of consumers preferred aroma and taste of arabica coffee roasted bean from Khun Tuen sub-district at the elevation in 1,200-1,400 msl.

Keywords: Coffee, caffeine, trigonelline, planting area

บทคัดย่อ: การเปรียบเทียบคุณภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมีของกาแฟอะราบิกาอินทรีย์ที่ปลูกในระดับความสูงที่แตกต่างกันจาก 3 พื้นที่ในอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ ตำบลนาเกียน ตำบลยางเปียง และตำบลขุนต้น ซึ่งมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 800-1,000, 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตร ตามลำดับ โดยเก็บตัวอย่างกาแฟกลามาวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ปริมาณ caffeine และ trigonelline ในกาแฟเมล็ดและกาแฟเมล็ดคั่วด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง จากนั้นทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านกลิ่นและรสชาติของกาแฟ ผลการศึกษาพบว่าในแต่ละพื้นที่มีขนาดของกาแฟกลาไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามในระดับความสูง 1,000-1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ให้น้ำหนักของกาแฟเมล็ดมากที่สุด ส่วนปริมาณคาเฟอีนในกาแฟเมล็ดและกาแฟเมล็ดคั่วที่ปลูกในระดับความสูง 800-1,000 เมตร มีปริมาณมากที่สุดคือ 1.73 และ 1.43 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับที่ระดับความสูงอื่น นอกจากนี้เมล็ดของกาแฟอะราบิกาที่ปลูกในระดับความสูง 800-1,000 เมตร มีปริมาณไทโรโกเนลลีนในกาแฟเมล็ดและกาแฟเมล็ดคั่วที่สูงที่สุดคือ 0.99 และ 1.78 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความสูง 1,000-1,200 เมตร มีปริมาณไทโรโกเนลลีน 0.83 และ 1.35 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร มีปริมาณไทโรโกเนลลีน 0.60 และ 1.03 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับผลจากการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบรสชาติของกาแฟที่ปลูกในตำบลขุนต้น ซึ่งมีระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร

คำสำคัญ: กาแฟ คาเฟอีน ไทโรโกเนลลีน แหล่งปลูก

คำนำ

กาแฟอะราบิกา มีชื่อสามัญว่า Arabica coffee ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Coffea arabica* L. อยู่ในวงศ์ Rubiaceae มีแหล่งกำเนิดที่ประเทศเอธิโอเปีย ลักษณะเป็นต้นไม้พุ่มขนาดเล็ก อาจมีความสูงได้ถึง 5 เมตร เป็นต้นไม้ไม่ผลัดใบ (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑิต, 2542) ในผลงานวิจัยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการศึกษาความหลากหลายและการแพร่กระจายของแมลงศัตรูกาแฟอะราบิกาในจังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย โดยใช้กับดักดัดแปลงร่วมกับสารล่อ CMU-C1 และการสุ่มสำรวจนับด้วยตาเปล่า พบมอดเจาะผลกาแฟ *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) และเพลี้ยหอยสีเขียว *Coccus viridis* (Green) (Hemiptera: Coccidae) ซึ่งถือเป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของกาแฟอะราบิกาและพบสูงสุดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2556 ในทุกพื้นที่ (เผ่าไท และปิยะวรรณ, 2558) กาแฟเป็นพืชเครื่องดื่มที่มีสารประกอบคาเฟอีน (caffeine) ซึ่งมีฤทธิ์ช่วยกระตุ้นการหลั่งของกรดในกระเพาะอาหาร และกระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง จึงส่งผลให้นอนไม่หลับเมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกาย (พัชนี, 2553) ปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ โดยใน

กาแฟพันธุ์โรบัสต้ามีปริมาณคาเฟอีนที่สูงกว่ากาแฟพันธุ์อะราบิกา ซึ่งในกาแฟอะราบิกามีร้อยละ 1.2 และในกาแฟโรบัสต้ามีประมาณร้อยละ 2.2 โดยน้ำหนักแห้ง (Clarke and Macrae, 1985) ส่วนไทโรโกเนลลีนซึ่งเป็นสารอัลคาลอยด์ที่เมื่อแตกตัวให้ทั้งกลิ่นและรสขมอ่อน ๆ ซึ่งในกาแฟสายพันธุ์อะราบิกามีปริมาณร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนโรบัสต้ามีร้อยละ 0.7 ของน้ำหนักแห้ง การสลายตัวของไทโรโกเนลลีนเป็นสัดส่วนกับระดับของการคั่วทำให้ได้ไพรดีน ซึ่งให้กลิ่นของการคั่ว (roasty) นอกจากนี้ยังมีโปรตีนและกรดอะมิโนอิสระที่มีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นรสในกาแฟเนื่องจากรวมตัวกับสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดเกิดเป็นสารที่ให้กลิ่นรส (Vamam and Sutherland, 1994)

ในประเทศไทยได้มีการส่งเสริมการปลูกกาแฟอะราบิกาทดแทนฝิ่นบนพื้นที่สูงในภาคเหนือ และมีการวิจัยเกี่ยวกับกาแฟอะราบิกานบนพื้นที่สูงจำนวนมาก ทั้งหน่วยงานของรัฐบาลและโครงการพัฒนาพื้นที่สูง การบริโภคกาแฟเป็นการบริโภคกลิ่นและรสชาติ คุณภาพของกาแฟอะราบิกาที่ดีมักอ้างอิงกับแหล่งผลิตและความสูงของพื้นที่ปลูกจากระดับน้ำทะเล เช่น กาแฟ Mocha ของเยเมน กาแฟ Kona ของฮาวาย และกาแฟ Blue Mountain ของจาไมก้า และอ้างอิงกับเครื่องหมายการค้า

เช่น กาแฟอาราบิก้า และกาแฟดอยช้าง เป็นต้น นอกจากนี้การจัดการแปลงปลูกแบบอนุรักษ์ เช่น การปลูกกาแฟร่วมกับป่าหรือกาแฟอินทรีย์ เป็นเอกลักษณ์ที่สามารถเพิ่มมูลค่าทางการตลาดได้เช่นกัน (ชวลิต และคณะ, 2550) พื้นที่ปลูกและแหล่งผลิตกาแฟอาราบิก้าที่เหมาะสมในประเทศไทยอยู่ในเขตพื้นที่ภูเขาทางภาคเหนือ ตั้งแต่ระดับความสูง 700 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลขึ้นไป มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15 - 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 60 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ส่วนใหญ่มักปลูกในร่มเงาร่วมกับไม้ยืนต้นชนิดอื่น หรือปลูกร่วมกับป่าในพื้นที่ภูเขาซึ่งแม้จะทำให้ต้นกาแฟมีการเจริญเติบโตช้ากว่าการปลูกในที่โล่งแจ้ง แต่มีระยะเวลาการสะสมอาหารและสารสำคัญต่าง ๆ ภายในผลยาวนานกว่าจึงทำให้ได้กาแฟคุณภาพดี (Bertrand *et al.*, 2006) นอกจากนี้คุณภาพของกาแฟเมล็ดยังเกี่ยวข้องกับอีกหลายปัจจัย เช่น ธาตุอาหาร อุณหภูมิ รวมไปถึงกระบวนการจัดการทุกขั้นตอนของการผลิตกาแฟเมล็ด อย่างไรก็ตามสภาพพื้นที่ปลูกโดยเฉพาะอย่างยิ่งความสูงจากระดับน้ำทะเลและการให้ร่มเงาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพผลของกาแฟอาราบิก้าอย่างมาก (Decazy *et al.*, 2006) ซึ่งระดับความสูงของพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในเขตศูนย์สูตร (Willson, 1985) และการให้ร่มเงามีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์แสงและการสะสมสารสำคัญในต้นกาแฟ ผู้บริโภคจึงให้ความสำคัญกับแหล่งผลิต ดังนั้นการศึกษาการเปรียบเทียบคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟอาราบิก้าอินทรีย์ที่ปลูกในระดับความสูงของพื้นที่ที่แตกต่างกัน จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกพื้นที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าอินทรีย์ที่มีคุณภาพและสามารถเพิ่มมูลค่าตามความต้องการของผู้บริโภคและตลาด

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างดินและพืช

เลือกสวนกาแฟอาราบิก้าพันธุ์เชียงใหม่ 80 อายุ 4-5 ปี ที่ปลูกร่วมกับป่าและเป็นการปลูกแบบอินทรีย์ จาก 3 พื้นที่ในอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ ตำบลนาเกียน ตำบลยางเปียง และตำบลแม่ตืน ซึ่งมีความสูง

เหนือระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 800-1,000, 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตร ตามลำดับ โดยที่ระดับความสูง 800 เมตร มีลักษณะเป็นป่าเบญจพรรณ ชนิดไม้ที่พบ ได้แก่ สัก ประดู่ ตะแบก ไผ่ เป็นต้น ส่วนที่ระดับความสูง 900 เมตรขึ้นไป มีลักษณะเป็นป่าดิบเขา ชนิดไม้ที่พบ ได้แก่ ตระกูลก่อต่าง ๆ จำปีป่า กำลังเสือโคร่ง เป็นต้น จากนั้นเก็บตัวอย่างดินจาก 3 พื้นที่ พื้นที่ละ 5 สวน จำนวนทั้งหมด 15 สวน นำมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณธาตุอาหารในดินตามวิธีของเนาวรัตน์ (2527) รวบรวมตัวอย่างกาแฟกะลาซึ่งผ่านกระบวนการหมักและตากแห้งจากแต่ละสวน สวนละ 500 กรัม ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558

2. การเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความเข้มแสง

วัดอุณหภูมิและความเข้มแสงของสวนกาแฟที่ระดับความสูง 800-1,000, 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล โดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความเข้มแสง (HOBO Data loggers; UA-002-64) จำนวน 1 เครื่องติดตั้งบริเวณกลางแปลงทดลอง โดยให้เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความเข้มแสงอยู่เหนือต้นกาแฟ และควรเลือกพื้นที่ที่ไม่สามารถมีการบังแสงเกิดขึ้นได้ จากนั้นจึงเริ่มบันทึกข้อมูลระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557 - มีนาคม พ.ศ. 2558

3. การวัดคุณภาพ ขนาด และความชื้นของกาแฟกะลาและกาแฟเมล็ด

วัดขนาดกาแฟกะลา (parchment) ที่เก็บมาจาก 3 พื้นที่ พื้นที่ละ 5 สวน จำนวนทั้งหมด 15 สวน หรือ 15 ตัวอย่างโดยใช้ digital vernier caliper โดยการสุ่มวัดจำนวน 100 เมล็ด ต่อ 1 ตัวอย่าง และชั่งน้ำหนักต่อ 100 เมล็ด โดยชั่งน้ำหนักทั้งกาแฟกะลาและกาแฟเมล็ด (green bean) ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง วัดความชื้นของกาแฟกะลาและกาแฟเมล็ด จำนวน 100 กรัม โดยเครื่องวัดความชื้นรุ่น KU 60

4. การวิเคราะห์คาเฟอีนและไทรโกเนลลิน

นำตัวอย่างกาแฟเมล็ดที่เก็บมาจาก 3 พื้นที่พื้นที่ละ 5 สวน จำนวนทั้งหมด 15 ตัวอย่าง มาผ่านการคั่วแบบคั่วเข้มที่อุณหภูมิ 198 องศาเซลเซียส นานประมาณ 17 นาที จากนั้นเป่าลมเย็นเพื่อให้กาแฟเมล็ดคั่วเย็นตัวลง จึงนำไปบดแล้วชั่งจำนวน 1.25 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นสำหรับกาแฟเมล็ดนำมาบดแล้วชั่งน้ำหนัก 1 กรัม เติมนีทานอลสำหรับวิเคราะห์ HPLC จำนวน 15 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วจึงนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 เพื่อกรองกากกาแฟที่มีขนาดใหญ่ออก จากนั้นกรองสารละลายที่ได้ด้วยแผ่นกรองไนลอนเมมเบรน 0.45 ไมครอนเมตร นำสารสกัดที่ได้ไปวัดปริมาณคาเฟอีนและไทรโกเนลลิน ด้วยเครื่อง high-performance liquid chromatographic: HPLC (ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น LC-10AD) ตามวิธีของ Ky *et al.* (2001) นำค่าที่วิเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของคาเฟอีนและไทรโกเนลลิน

5. การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภค (consumer satisfaction)

นำตัวอย่างกาแฟเมล็ดจาก 3 พื้นที่ในระดับความสูงของพื้นที่ต่างกัน พื้นที่ละ 5 สวน จำนวนทั้งหมด 15 ตัวอย่าง มาผ่านการคั่วแบบคั่วเข้มตามกรรมวิธีข้างต้น แล้วบดเป็นผง ชั่งน้ำหนัก 10 กรัม นำมาชงกับน้ำร้อนปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองกาแฟยี่ห้อ BON CAFÉ ให้บุคลากรในคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่บริโภคกาแฟเป็นประจำจำนวน 20 คน มาชิมกาแฟเพื่อให้คะแนนประเมินความพึงพอใจตามวิธีของพัชนี (2546)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย (analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย least significance different (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

คุณสมบัติของดิน

ผลจากการวิเคราะห์ความเป็นกรดต่างของดิน (pH) ในตารางที่ 1 พบว่าที่ระดับความสูง 800-1,000, 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีค่า pH เท่ากับ 5.0, 5.7 และ 4.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จากงานวิจัยของสิรินาถ (2551) ที่ศึกษาการปลูกกาแฟอาราบิก้าแบบปล่อยตามธรรมชาติรายงานว่า pH ของดินในพื้นที่ปลูกอยู่ในช่วง 4.6-5.4 ทั้งนี้ปกติดินป่ามักมีสภาพเป็นกรด ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของซากอินทรีย์วัตถุเกิดเป็นสารต่าง ๆ เช่น ฮิวมัส กรดอินทรีย์ และธาตุอาหาร เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันตามชนิดของอินทรีย์วัตถุ อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อค่า pH ของดินป่า เช่น ไฟป่าทำให้ความเป็นกรดของดินลดลงได้ (ดุสิต และคณะ, 2547 อ้างโดยสิรินาถ, 2551)

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของทั้ง 3 พื้นที่พบว่ามีความค่อนข้างสูง มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 5.6-6.7 (ตารางที่ 1) ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของค่าอินทรีย์วัตถุในดิน (สุนทร, 2554) จัดว่าอยู่ในระดับสูง เพราะดินป่ามีการทับถมของเศษซากพืชทำให้มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างมาก ในการ

Table 1. Soil characteristics in 3 different coffee planting locations in Omkoi district, Chiang Mai province

Elevation (msl) (m)	pH	Organic matter (%)	Phosphorus (P ₂ O ₅) available (mg/kg)	Potassium (K ₂ O) exchangeable (mg/kg)
800-1,000 (Na Kian)	5.0	5.6	88.2	106.0
1,000-1,200 (Yang Piang)	5.7	6.5	19.4	330.4
1,200-1,400 (Khun Tuen)	4.5	6.7	30.3	113.2

วิเคราะห์ตัวอย่างดินที่มีความอุดมสมบูรณ์นั้นไม่นิยมวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดิน แต่จะประเมินปริมาณไนโตรเจนในดินจากปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีในดินนั้น ๆ เนื่องจากไนโตรเจนในดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน (นันทรัตน์, 2558) ทั้งนี้ไนโตรเจนมีความเป็นประโยชน์สูง เมื่อ pH ของดินอยู่ในช่วง 4.5-7.5 หากต่ำกว่านี้ขบวนการที่เปลี่ยนไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะหยุดชะงัก (กชกร, 2537) ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่ระดับความสูง 800-1,000 เมตร จัดว่ามีค่าสูง คือ 88.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ระดับ 1,000-1,200 เมตร อยู่ในระดับปานกลาง คือ 19.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และที่ระดับ 1,200-1,400 เมตร จัดว่าอยู่ในระดับสูง คือ 30.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยอ้างอิงจากระดับปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Bray and Kurtz, 1945) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมในดินที่ระดับความสูง 800-1,000 และ 1,200-14,00 เมตร จัดว่ามีค่าสูง คือ 106.0 และ 113.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และที่ระดับ 1,000-1,200 เมตร อยู่ในระดับที่มีค่าสูงมาก คือ 330.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเป็นเพราะเนื้อดินมีลักษณะละเอียดจึงทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าพื้นที่อื่นซึ่งมีเนื้อดินที่ค่อนข้างหยาบกว่า เนื่องจากอนุภาคของโพแทสเซียมในดินส่วนใหญ่มักจะดูดยึดที่พื้นผิวของอนุภาคของดินเหนียว อีกทั้งโพแทสเซียมเป็นธาตุที่สามารถละลายน้ำได้ดีเมื่อวิเคราะห์ออกมาจึงทำให้มีค่าที่สูงกว่าธาตุอื่น (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2537) จากผลการวิเคราะห์ดินดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของดุสิต และคณะ (2528) ที่รายงานว่าดินส่วนใหญ่บนพื้นที่สูงมักมีโพแทสเซียมและแมกนีเซียมเพียงพอ แต่มีค่า pH ค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ดินมีธาตุอาหารเพียงพอสำหรับการพัฒนาผลและเมล็ดของต้นกาแฟ

สภาพอากาศของแปลงปลูกกาแฟ

ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีค่าสูงสุด (43 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือที่ระดับความสูง 800-1,000 และ 1,000-1,200 เมตร (35 และ 30 องศาเซลเซียสตามลำดับ) สาเหตุที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร

เหนือระดับน้ำทะเลมีอุณหภูมิสูงถึง 43 องศาเซลเซียสเนื่องจากสภาพต้นไม้เรือนยอดมีความหนาแน่นน้อยกว่าที่ระดับต่ำลงมา เพราะเป็นช่วงที่ต้นไม้มีการทิ้งใบ ส่วนค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุด ที่ระดับความสูง 800-1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีค่าเท่ากับ 17 องศาเซลเซียส ในขณะที่ระดับ 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากันคือ 15 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 1) สำหรับค่าความเข้มแสงเฉลี่ยในแปลงปลูกกาแฟ พบว่าที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีระดับความเข้มแสงสูงกว่าอีกสองพื้นที่ ซึ่งที่ระดับความสูง 1,000-1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลนั้น มีค่าความเข้มแสงค่อนข้างต่ำกว่าพื้นที่อื่น (ภาพที่ 2) เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะเป็นป่าดิบเขา มีสภาพต้นไม้เรือนยอดค่อนข้างหนาแน่น จึงทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีความเข้มแสงต่ำ ทั้งนี้อุณหภูมิสูงสุดและความเข้มแสงของพื้นที่ปลูกทั้ง 3 ระดับความสูงมีความสัมพันธ์กันคือ พื้นที่ที่มีความเข้มแสงมากพบว่ามีอุณหภูมิสูงสุดค่อนข้างสูงด้วยเช่นกัน และอุณหภูมิสามารถส่งผลต่อการชักนำให้เกิดการสร้างสารต่าง ๆ ภายในต้นพืช โดยนริศ (2539) รายงานว่าผลกาแฟในแต่ละระดับความสูงของพื้นที่มีการใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตและสร้างสารภายในเมล็ดที่แตกต่างกันซึ่งทำให้ผลกาแฟมีระยะเวลาการสุกแก่ของแต่ละพื้นที่ต่างกัน

ขนาดและน้ำหนักของกาแฟเมล็ด

ขนาดความกว้าง ความยาว และน้ำหนักของกาแฟละจากทั้ง 3 ระดับความสูงของพื้นที่คือ 800-1,000 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล นั้นไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีความกว้างของกะลา 6.7-7.0 มิลลิเมตร และความยาวเท่ากับ 8.0-8.4 มิลลิเมตร น้ำหนัก 100 เมล็ดเท่ากับ 17.12, 19.93 และ 16.78 กรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อผ่านการสีเมล็ดได้เป็นกาแฟเมล็ดแล้ว พบว่าที่ระดับความสูง 1,000-1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ให้น้ำหนักกาแฟเมล็ด 100 เมล็ด มากกว่าที่ระดับ 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักเท่ากับ 9.33 และ 7.72 กรัม ตามลำดับ แต่น้ำหนักไม่แตกต่างจากที่ระดับ 800-1,000 เมตรเหนือ

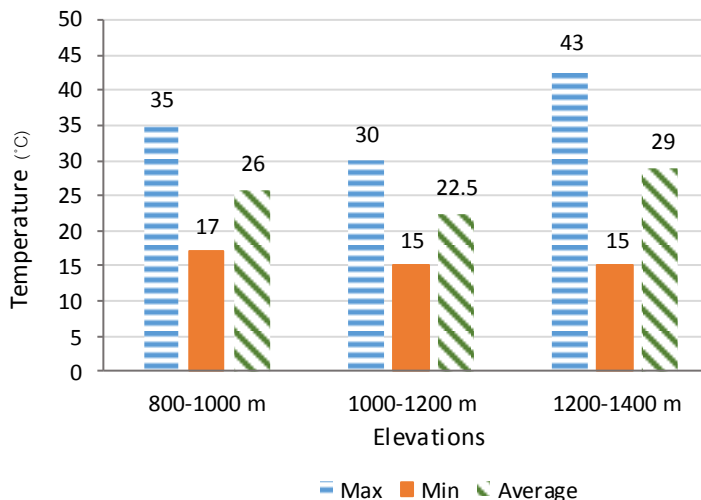


Figure 1. The average maximum and minimum temperature of 3 different elevations during November, 2014-March, 2015

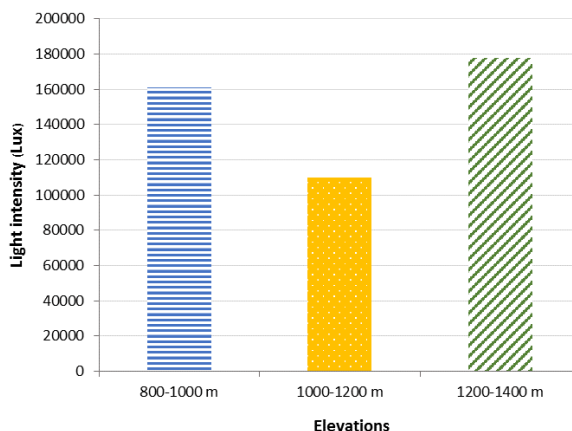


Figure 2. Light intensity of 3 different elevations during November, 2014-March, 2015

ระดับน้ำทะเล ซึ่งมีน้ำหนักเท่ากับ 8.28 กรัม (ตารางที่ 2) อาจเป็นเพราะที่ระดับความสูง 1,000-1,200 เมตร มีปริมาณโพแทสเซียมในดินสูงกว่าพื้นที่อื่น (330 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม) จึงทำให้กาแฟเมล็ดมีน้ำหนักมากกว่าพื้นที่อื่น เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุที่ช่วยในการสังเคราะห์ น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาล จากใบไปสู่ผล ช่วยให้ผลเจริญเติบโตเร็วและมีคุณภาพดี (สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2559) และมีรายงานว่าในกลุ่มของธาตุอาหารหลัก โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญต่อสรีรวิทยาการเจริญเติบโต ของต้นกาแฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการพัฒนาคุณภาพ

ผล และการเพิ่มของผลผลิตกาแฟ (Clemente *et al.*, 2015) ในแปลงปลูกกาแฟการสูญเสียธาตุโพแทสเซียม จากดินเกิดขึ้นมากกว่าการสูญเสียไนโตรเจน ดังนั้นธาตุ โพแทสเซียมจึงเป็นปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดในแปลงปลูก กาแฟที่สำคัญ (Mitchell, 1988) นอกจากนี้ปัจจัยหนึ่ง อาจเป็นเพราะอุณหภูมิและความเข้มแสงภายใต้สภาพร่มเงาของพื้นที่ที่ระดับความสูง 1,000-1,200 เมตร มีค่าต่ำกว่าอีกสองพื้นที่ จึงทำให้ต้นกาแฟมีน้ำหนักผลผลิตจาก น้ำหนักต่อ 100 เมล็ดและคุณภาพดีกว่า ซึ่งอุณหภูมิมี บทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตโดยเฉพาะอย่างยิ่งใน การพัฒนาผล และการสุกแก่ของผล (Bertrand *et al.*,

Table 2. Sizes of coffee parchment and weights of green beans grown in 3 different elevations of Omkoi district, Chiang Mai province

Elevations (msl) (m)	Sizes of coffee parchment (mm)		Weights of 100 seeds (g)	
	Width	Length	Coffee parchment	Green bean
800-1,000 (Na Kian)	6.987	8.42	17.12	8.28 ab ¹
1,000-1,200 (Yang Piang)	6.821	8.34	19.93	9.33 a
1,200-1,400 (Khun Tuen)	6.730	8.02	16.78	7.72 b
F-test	ns	ns	ns	*

¹ Means within the same column followed by the different letters are significantly different by LSD at $P < 0.05$

ns= non significantly different

2006) ในการทดลองนี้พื้นที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร มีความหนาแน่นของไม้เรือนยอดค่อนข้างน้อยกว่าพื้นที่อื่น จึงทำให้มีความเข้มแสงค่อนข้างสูงและมีอุณหภูมิสูงสุด ซึ่งภายใต้สภาพความเข้มแสงและอุณหภูมิที่สูงสามารถทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของใบลดลง เนื่องจากการปิดของปากใบในช่วงอุณหภูมิสูง (Larcher, 2003) ส่งผลให้มีการสร้างอาหารและการสะสมอาหารในเมล็ดน้อยลง น้ำหนักของกาแฟเมล็ดจึงมีแนวโน้มต่ำกว่าพื้นที่อื่น

ปริมาณคาเฟอีนและไทโรโกเนลลีน

ผลจากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเพื่อตรวจสอบปริมาณของคาเฟอีนและไทโรโกเนลลีนโดยเทคนิค HPLC จากภาพที่ 3 ของสารมาตรฐานและของสารละลายตัวอย่าง พบว่าไทโรโกเนลลีนและคาเฟอีนถูกแยกออกจากคอลัมน์ที่เวลาประมาณ 1.63 และ 6.14 นาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อคำนวณหาปริมาณสารเทียบกับสารมาตรฐาน พบว่าปริมาณสารในกาแฟที่ผลิตจากพื้นที่ปลูกในการทดลองนี้ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 ในระดับความสูง 800-1,000 เมตร กาแฟเมล็ดและกาแฟเมล็ดคั่วมีปริมาณคาเฟอีนมากที่สุดคือ 1.73 และ 1.43 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความสูง 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตร โดยมีปริมาณคาเฟอีนในกาแฟเมล็ดและกาแฟเมล็ดคั่วเท่ากับ 0.83-0.90 และ 1.05-1.15 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ปริมาณคาเฟอีน

ในเมล็ดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปลูกในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากขึ้น อาจมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิในขณะเก็บเกี่ยวผล เนื่องจากช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวกาแฟมีผลต่อปริมาณคาเฟอีนด้วยเช่นกัน โดยพบว่าในช่วงปลายฤดูการเก็บเกี่ยวผลผลิตมีปริมาณคาเฟอีนสูงที่สุด รองลงมา คือ ช่วงกลางและต้นฤดูการเก็บเกี่ยวผลผลิต ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิในช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณคาเฟอีนเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย (อดิเทก, 2553)

สำหรับปริมาณไทโรโกเนลลีนในกาแฟเมล็ดและกาแฟเมล็ดคั่วที่ปลูกในระดับความสูง 800-1,000 เมตร พบว่ามีปริมาณมากที่สุด คือ 0.99 และ 1.78 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความสูง 1,000-1,200 เมตร มีปริมาณไทโรโกเนลลีน 0.83 และ 1.35 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร มีปริมาณไทโรโกเนลลีน 0.60 และ 1.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งไทโรโกเนลลีนเป็นสารกลุ่มอัลคาลอยด์ที่ให้รสขม เป็นสารตั้งต้นและมีส่วนในการให้กลิ่นของกาแฟ (aroma formation) ปริมาณไทโรโกเนลลีนในกาแฟเมล็ดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับปริมาณคาเฟอีนคือมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีความสูงของพื้นที่เหนือระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Bertrand *et al.* (2006) ที่ว่าในพื้นที่สูงจะมีปริมาณคาเฟอีนมาก แต่สอดคล้องตรงที่ว่าในพื้นที่สูงมีปริมาณไทโรโกเนลลีนน้อยกว่าพื้นที่ต่ำกว่านั้น อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิและความเข้มแสงที่สามารถส่งผลต่อการสังเคราะห์คาเฟอีนและไทโรโกเนลลีนในเมล็ดได้

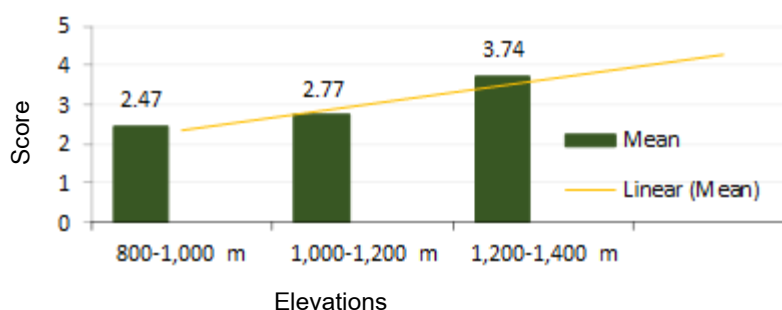


Figure 3. Score of cup test at 3 different elevations in Omkoi district, Chiang Mai province

Table 3. Comparison of caffeine and trigonelline contents grown in 3 different elevations of Omkoi district, Chiang Mai province

Elevations (msl) (m)	Caffeine content (mg/g)		Trigonelline content (mg/g)	
	Green bean *	Roasted bean **	Green bean *	Roasted bean **
800-1,000 (Na Kian)	1.73 a ¹	1.43 a	0.99 a	1.78 a
1,000-1,200 (Yang Piang)	0.90 b	1.15 b	0.83 a	1.35 b
1,200-1,400 (Khun Tuen)	0.83 b	1.05 b	0.60 b	1.03 b

¹ Means within the same column followed by the different letters are significantly different by LSD at $P < 0.05$

* 11% moisture content

** 4% moisture content

ด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 3 การคั่วกาแฟเมล็ดทำให้ความเข้มข้นของคาเฟอีนและไทรโกเนลลีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากความชื้นในเมล็ดลดลงเมื่อเทียบกับกาแฟเมล็ดที่ไม่ผ่านการคั่ว

การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภค

การประเมินความพึงพอใจรสชาติกาแฟ พบว่าผู้บริโภคจำนวน 13 คน จากผู้บริโภคทั้งหมด 20 คน คิดเป็นร้อยละ 65 ให้คะแนนความชอบมากที่สุด คือ กาแฟจากที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร ซึ่งมากกว่าพื้นที่อื่น ส่วนผู้บริโภคจำนวน 7 คน ให้คะแนนความชอบมากที่สุดที่ระดับความสูง 800-1,000 และ 1,000-1,200 เมตร จากผลการประเมินตามวิธีของ พัทณี (2546) คะแนนเต็ม 5 พบว่าที่ระดับความสูงดังกล่าวมีค่าความพึงพอใจเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 3.74 รองลงมาคือที่ระดับความสูง 1,000-1,200 และ 800-1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล โดยให้

ค่าความพึงพอใจเฉลี่ย 2.77 และ 2.47 ตามลำดับ (ภาพที่ 3) เหตุผลที่ผู้บริโภคชื่นชอบรสชาติกาแฟจากที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร เนื่องจากมีรสเปรี้ยวและมีความเข้มข้นกว่าพื้นที่อื่น เพราะที่ระดับความสูงดังกล่าวมีปริมาณคาเฟอีนและไทรโกเนลลีนต่ำกว่าพื้นที่อื่น จึงทำให้กาแฟมีรสชาติเข้มข้นน้อยกว่า เนื่องจากคาเฟอีนและไทรโกเนลลีนในกาแฟมีรสขม (Sivetz and Foote, 1963) และการที่กาแฟมีรสเปรี้ยวนั้นเกิดจากในระหว่างการคั่วกาแฟเมล็ดเกิดการสลายตัวของกรด chlorogenic จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้กรด caffeic และกรด quinic ทำให้มีรสเปรี้ยวเมื่อมีหมู่กรด carboxylic เป็นองค์ประกอบ ให้รสขมและฝาดจากหมู่ phenolic เป็นองค์ประกอบ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นกรดที่ไม่ระเหยในระหว่างการคั่วกาแฟเมล็ด จึงทำให้กาแฟมีรสชาติเปรี้ยวเมื่อชงดื่ม (Sivetz and Foote, 1963)

การปลูกกาแฟในประเทศฮอนดูรัสที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า 1,000 เมตร ทำให้ปริมาณไขมันในกาแฟเมล็ดสูงกว่าและให้คุณภาพกาแฟถ้วย (cup quality) ดีกว่าที่ระดับความสูงต่ำกว่า 1,000 เมตร (Decazy *et al.*, 2006) นอกจากนี้ยังมีรายงานการเปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อกาแฟอาราบิก้าพันธุ์ลูกผสม ชั่วที่ 1 จากแหล่งปลูกพื้นที่ที่มีระดับความสูงต่าง ๆ กันของประเทศแถบอเมริกากลาง พบว่าผู้บริโภคพึงพอใจรสชาติของกาแฟที่ปลูกที่ระดับ 1,450 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มากกว่าที่ระดับความสูง 900 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล และยังพบว่ากาแฟที่ปลูกที่ระดับความสูง 900 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีค่า aroma, body, fat และ acidity ต่ำกว่า แต่มีค่าความขม (bitterness) มากกว่ากาแฟที่ระดับความสูง 1,450 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (Bertrand *et al.*, 2006)

สรุป

จากการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมีของเมล็ดกาแฟอาราบิก้าอินทรีย์ที่ปลูกในระดับความสูงที่แตกต่างกัน พบว่าขนาดของกาแฟและเมล็ดมีความแตกต่างกันใน 3 ระดับความสูงของพื้นที่ มีน้ำหนักของกาแฟเมล็ดที่ปลูกที่ระดับความสูง 800-1,000 และ 1,000-1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณคาเฟอีนและโพรโทแคเทชินในกาแฟเมล็ดพบว่ามีความโน้มถ่วงลดลงตามความสูงของพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น โดยคาเฟอีนและโพรโทแคเทชินของกาแฟที่ปลูกที่ระดับความสูง 800-1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือกาแฟที่ปลูกในระดับความสูง 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ตามลำดับ จากการทดสอบความพึงพอใจพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบและให้คะแนนกลิ่นและรสชาติของกาแฟอาราบิก้าอินทรีย์ที่ปลูกในพื้นที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการการพัฒนาศักยภาพและขีดความสามารถในการแข่งขันด้านการตลาด สินค้ากาแฟอาราบิก้าไทยในเขตภาคเหนือตอนบน ภายใต้ข้อตกลงการเปิดเสรีทางการค้า จากงบประมาณสนับสนุนของกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ และคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผู้สนับสนุนการใช้ห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

- กชกร ป้อมน้อย. 2537. ผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และจุลินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกาแฟอาราบิก้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 115 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2551. กาแฟอาราบิก้า (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://it.doa.go.th/vichakan/news.php?newsid=9> (3 กรกฎาคม 2557).
- ชลิต กอสมพันธ์ ถาวร สุภาวงศ์ นริศ ยิ้มแย้ม นิธิไทยสันทัด ประเสริฐ คำออน และ วราพงษ์ บุญมา. 2550. การสร้างมูลค่าเพิ่มของกาแฟอาราบิก้าโดยการพัฒนากระบวนการผลิตและการแปรรูป. รายงานผลการปฏิบัติงานโครงการบริการวิชาการ. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมที่สูง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 13 หน้า.
- ดุสิต มานะจติ บุญยวาทย์ ลำเพาพงศ์ และ จุฑา สุขเกษม. 2528. การศึกษาคุณสมบัติของดินที่ใช้ปลูกกาแฟในภาคเหนือของประเทศไทย. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 86 หน้า.
- นริศ ยิ้มแย้ม. 2539. ผลของสภาพความสูงของพื้นที่ที่มีผลต่อคุณภาพกาแฟอาราบิก้า. วารสารเกษตร 12(2): 157-163.

- นันทรัตน์ ศุภกานี. 2558. การจัดการดินและปุ๋ยสำหรับพืชสวน. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.doa.go.th/hort/images/stories/knownledgemanagement/soilfertihort170958full.pdf> (16 มิถุนายน 2559).
- เนาวรัตน์ ศิวะศิลป์. 2527. คู่มือวิเคราะห์ดิน พืช และปุ๋ย. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 138 หน้า.
- เผ่าไท ภาวะพิงค์ และ ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์. 2558. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการศึกษาความหลากหลายชนิดและการแพร่กระจายของแมลงศัตรูกาแฟอาราบิกาในจังหวัดเชียงใหม่ และเชียงราย. วารสารเกษตร 31(2): 203-213.
- พงษ์ศักดิ์ อังกลีทธิ และ บัณฑิต วาฤทธิ์. 2542. การปลูกและผลิตกาแฟอาราบิกานที่สูงเชียงใหม่. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการแปรรูปที่สูง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 229 หน้า.
- พัชนี สุวรรณวิศลกิจ. 2546. ความเหมาะสมของมาตรฐานกาแฟอาราบิกาของไทย. รายงานการวิจัย. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมที่สูง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 31 หน้า.
- พัชนี สุวรรณวิศลกิจ. 2553. สรรสาระ “กาแฟ”. พิมพ์ครั้งที่ 2, โรงพิมพ์นันทพันธ์, เชียงใหม่. 120 หน้า.
- สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2537. เรื่องที่ 8 ดินและปุ๋ย. ธาตุอาหารในพืช. เล่มที่ 18. (ระบบออนไลน์)แหล่งข้อมูล: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=18&chap=8&page=t18-8-infodetail05.html> (29 ธันวาคม 2559).
- สิรินาถ จอมพงษ์. 2551. รูปแบบการจัดการที่แตกต่างกันในระบบการผลิตกาแฟแบบวนเกษตรต่อผลผลิตและความอุดม สมบูรณ์ของดิน กรณีศึกษากันปางกีด ตำบลอินทิล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่. 84 หน้า.
- สุนทรีย์ ยิ่งชัชวาล. 2554. ใช้อินทรีย์วัตถุให้ถูกประเภท. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.cab.ku.ac.th/suntaree/pdf/54OrganicMatterExplain.pdf> (14 มิถุนายน 2559).
- สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2559. ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล : http://oss101.1dd.go.th/web_soils_for_youth/s_prop_nutri02.htm (22 มกราคม 2559).
- อดิเรก ศรีมูล. 2553. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิกาที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 83 หน้า.
- Bertrand, B., P. Vaast, E. Alpizar, H. Etienne, F. Davrieux and P. Charmetant. 2006. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. Tree Physiology 26: 1239-1248.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59: 39-45.
- Clarke, R.J. and R. Macrae. 1985. Coffee. Vol. 1: Chemistry. 1st ed. Elsevier Science Publishers, London. 306 p.
- Clemente, J.M., H.E.P. Martinez, L.C. Alves, F.L. Finger and P.R. Cecon. 2015. Effect of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. Acta Scientiarum: Agronomy 37(3): 297-305.

- Decazy, F., J. Avelino, B. Guyot, J.J. Perriot, C. Pineda and C. Cilas. 2006. Quality of different Honduran coffees in relation to several environments. *Journal of Food Science* 68: 2356-2361.
- Ky, C.L., B. Guyot, J. Louarn, S. Hamon and M. Noirot. 2001. Trigonelline inheritance in the interspecific *Coffea pseudozanguebariae* x *C. liberica* var. *dewevrei* cross. *Theoretical and Applied Genetics* 102: 603-634.
- Larcher, W. 2003. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. 4th ed. Springer, New York. 513 p.
- Mitchell, H.W. 1988. Cultivation and harvesting of the Arabica coffee tree, pp. 43-89 *In*: R.J. Clarke and R. Macrae (eds.). *Coffee*. Elsevier Applied Science, London.
- Sivetz, M. and H.E. Foote. 1963. *Coffee Processing Technology*. Vol 1: Fruit-Green, Roast and Soluble Coffee. The AVI Publishing Company, London. 598 p.
- Varnam, H.A. and P.J. Sutherland. 1994. *Beverage Technology Chemistry and Microbiology*. Chapman & Hall, New York. 464 p.
- Willson, K.C. 1985. *Climate and Soil, Coffee Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage*. The AVI Publishing Company Inc., Connecticut. 457 p.
-

ผลของ GA₃ NAA และสารคล้ายบราสซิน (BS) ต่อขนาดและน้ำหนัก
ของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน

Effects of GA₃, NAA and Brassin-like Substance (BS) on Size and Weight of
Rambutan Fruit (*Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrian)

พนิตา สุขไ¹ สุติศา ชัยกุล^{1*} นงนุช ชนะสิทธิ์¹ และ ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข²
Panita Sukho¹, Sutisa Chaikul^{1*}, Nongnuch Chanasit¹ and Tanachai Pankasemsuk²

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จ. จันทบุรี 22000

¹Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000, Thailand

²ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Department of Plant Science and Soil Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: sutisap@hotmail.com

(Received: 14 March 2016; Accepted: 12 December 2016)

Abstract: Plant Growth Regulators (PGRs) have been widely used for increasing the quantity and quality of fruit, but have rarely been examined in rambutan. This study was separated into 3 experiment with the aim to examine the effect of (1) GA₃ (0, 25, 50 and 75 mg/L) (2) NAA (0, 25, 50 and 75 mg/L) and (3) Brassin-like substance (BS) (0, 0.5, 1.0 and 1.5 mg/L) on size and weight of rambutan fruit. The PGRs were sprayed on rambutan inflorescences at 7-9 weeks after flowering. The fruit were classified for quality level based on Thai Agricultural Commodity and Food Standard (TACFS) by calculation from fruit weight. The result showed that application of 75 mg/L GA₃ gave higher fruit weight and flesh weight than lower rates (25 and 50 mg/L). Application of GA₃ at all rates increased fruit width, flesh thickness, seed length and seed weight over the control but there was no difference among the three GA₃ rates. Application of 25 mg/L of NAA gave a higher flesh thickness than the higher rates (50 and 75 mg/L). Neither GA₃ nor NAA were able to shift fruit quality into level 1 of TACFS. Application of BS increased fruit width, seed length, flesh thickness, peel thickness, fruit weight, flesh weight, and peel weight over the control but there was no difference among the BS rates. However, BS at all rates shifted the rambutan quality to level 1 while the control treatment was classified as level 2 of TACFS. The BS gave a higher capability for increasing fruit length, fruit weight and flesh weight of rambutan over the control treatment than GA₃ and NAA.

Keywords: Brassin-like substance (BS), GA₃, NAA, rambutan (cv. Rongrian)

บทคัดย่อ: สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulators, PGRs) นิยมนำมาใช้ทางการเกษตรโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของไม้ผลหลายชนิด แต่ยังไม่มีการวิจัยในเงาะ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาผลของ GA₃, NAA และสารคล้ายบราสซิโน (BS) ที่มีต่อขนาดและน้ำหนักของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน โดยแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง คือ 1) การใช้สาร GA₃ (0, 25, 50 และ 75 มก./ล.) 2) การใช้สาร NAA (0, 25, 50 และ 75 มก./ล.) และ 3) การใช้สาร BS (0, 0.5, 1.0 และ 1.5 มก./ล.) ฉีดพ่นข้อผลเงาะอายุ 7-9 สัปดาห์ หลังดอกบาน บันทึกผลขนาดของผลเงาะโดยใช้มาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ.) กำหนดลำดับคุณภาพของผลเงาะ ผลการศึกษาพบว่า การใช้สาร GA₃ ที่ระดับความเข้มข้น 75 มก./ล. ทำให้ผลเงาะมีน้ำหนักผลสด และน้ำหนักเนื้อผล มากกว่าการใช้สาร GA₃ ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 50 มก./ล. นอกจากนี้พบว่า การใช้ GA₃ ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นทำให้ความกว้างผล ความหนาเนื้อ ความยาวเมล็ด และน้ำหนักเมล็ดมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใช้สาร แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างอัตราของ GA₃ การใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้น 25 มก./ล. ทำให้ผลเงาะมีความหนาเนื้อมากกว่าการใช้ NAA ระดับความเข้มข้น 50 และ 75 มก./ล. อย่างไรก็ตาม การใช้ GA₃ และ NAA ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นไม่ทำให้ผลเงาะถูกจัดอยู่ในลำดับคุณภาพที่ 1 ได้ โดยอยู่ในชั้นคุณภาพลำดับเดียวกับกรรมวิธีที่ไม่ใช้สาร การใช้สาร BS ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น ทำให้ผลเงาะมีความกว้างผล ความยาวเมล็ด ความหนาเนื้อผล ความหนาเปลือก น้ำหนักผลสด น้ำหนักเนื้อผล และน้ำหนักเปลือก มากกว่าการไม่ใช้สาร BS แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างอัตราของ BS อย่างไรก็ตาม การใช้สาร BS ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นไม่ทำให้ขนาดและน้ำหนักของผลเงาะด้านดังกล่าวแตกต่างกัน และพบว่าการใช้สาร BS ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นทำให้ผลเงาะถูกจัดอยู่ในลำดับคุณภาพที่ 1 ในขณะที่กรรมวิธีที่ไม่ได้ใช้สารทำให้ผลเงาะถูกจัดอยู่ในลำดับคุณภาพที่ 2 นอกจากนี้พบว่า สาร BS มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความยาวผล น้ำหนักผล และน้ำหนักเนื้อผลของผลเงาะได้มากกว่าสาร GA₃ และสาร NAA

คำสำคัญ: เงาะพันธุ์โรงเรียน สารคล้ายบราสซิโน (BS) GA₃ NAA

คำนำ

เงาะพันธุ์โรงเรียน (*Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrian) เป็นเงาะสายพันธุ์การค้าที่มีผลผลิตเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ (นฤมล, 2549) อย่างไรก็ตามในรอบปีจะมีเงาะปริมาณมาก ไม่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค (สุชาติ และคณะ, 2557) นอกจากนี้คุณภาพของผลผลิตที่ไม่ได้มาตรฐานที่ตลาดต้องการ เช่น ขนาดของผลเล็ก น้ำหนักไม่ได้มาตรฐาน ทำให้ราคาของผลผลิตตกต่ำ ปัจจุบันการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulators, PGRs) มีบทบาทในการปรับปรุงคุณภาพของผลผลิตโดยเฉพาะการเพิ่มขนาดของผล เนื่องจากช่วยในการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ที่ประกอบขึ้นเป็นเนื้อผล (สัมฤทธิ์, 2549) โดยเฉพาะออกซิน ซึ่งเป็นสารที่มีหน้าที่ควบคุมการขยายตัวของเซลล์ กระตุ้นการแบ่งเซลล์ กระตุ้นการเจริญเติบโตของผล นอกจากนี้ สารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มออกซิน ยังถูกนำมาใช้ใน

การขยายพันธุ์พืชแบบปักชำเพื่อกระตุ้นให้ออกรากในพืชหลายชนิด ยกตัวอย่างงานวิจัยของ ปิยะณัฐ และอนงค์ภัทร (2558) ที่ได้ทดสอบกับสับปะรด ส่วนจิบเบอเรลลิน มีผลต่อการควบคุมการยืดตัวของเซลล์และการแบ่งเซลล์ และช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลด้วย (สมบุญ, 2544) นอกจากนี้ ในการปรับปรุงคุณภาพของผลผลิต มีผู้ใช้บราซิโนสเตียรอยด์ ซึ่งเป็นสารที่มีผลต่อการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์สามารถกระตุ้นการยืดของลำต้นได้ (ลิลลี่ และคณะ, 2556) การใช้ PGRs แต่ละชนิดมีอัตราที่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช Bhat *et al.* (1997) พบว่าการใช้ออกซิน 40-50 มก./ล. ช่วยส่งเสริมการติดผล และลดการหลุดร่วงของผลลิ้นจี่พันธุ์ Dehradum ได้ รัฐพล และคณะ (2553) รายงานว่า การผลิดองุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ Marroo Seedless มักประสบปัญหาในพื้นที่การเพาะปลูกบางแห่ง เนื่องจากเมล็ดขององุ่นมีการพัฒนาขยายขนาดใหญ่ การใช้ GA₃ ที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. ทำให้การพัฒนาของเมล็ดน้อยที่สุด และมีขนาดของผลที่ใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ การใช้ GA₃ ที่ความเข้มข้น 50 มก./ล.

ยังทำให้ผลฝรั่งพันธุ์ L-49 มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าต้นควบคุม (Biswas *et al.*, 1998) อุบลวรรณ และธนะชัย (2555) พบว่า สารบราสซิกที่ความเข้มข้น 1.5 มก./ล. สามารถเพิ่มน้ำหนักผล ความกว้างผล ความหนาผล ความหนาเปลือก และความหนาของเนื้อผลของลำไยพันธุ์ดอได้ ซึ่งสอดคล้องกับ ชรัสนันท์ (2548) ที่รายงานว่า การใช้สารบราสซิกที่ระดับความเข้มข้น 0.01 มก./ล. ช่วยเพิ่มความกว้าง ความหนาของผล น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง น้ำหนักเนื้อแห้ง และความหนาของเนื้อลำไยได้ จะเห็นได้ว่ามีผู้วิจัยใช้ PGRs กับพืชหลายชนิด การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ในศึกษาการใช้สาร GA₃, NAA และ BS ในการเพิ่มขนาดและน้ำหนักของผลเงาะพันธุ์โรงเรียนให้ได้คุณภาพมาตรฐาน

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาค้นครั้งนี้ประกอบด้วย 3 การทดลอง แต่ละการทดลองวางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) แต่ละการทดลองประกอบด้วย 4 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น โดยทดสอบทั้ง 4 กรรมวิธีภายในต้นเดียวกัน การทดลองที่ 1 ใช้สาร gibberellic acid (GA₃) (≥90% gibberellin A₃ basis, Sigma-Aldrich, USA) ที่ระดับความเข้มข้น 0, 25, 50 และ 75 มก./ล. การทดลองที่ 2 ใช้สาร 1-Naphthaleneacetic acid (NAA) (≥95% Naphthaleneacetic acid, Sigma-Aldrich, USA) ที่ระดับความเข้มข้น 0, 25, 50 และ 75 มก./ล. และการทดลองที่ 3 ใช้สาร BS (ชัยวัฒน์ธน์ จำกัด, เชียงใหม่) ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 มก./ล. การทดลองทั้ง 3 การทดลองดำเนินการในช่วงระยะที่เงาะติดผลแล้ว โดยผลเงาะมีอายุ 7-9 สัปดาห์ นับจากดอกบาน ซึ่งในระยะดังกล่าวเป็นระยะที่ผลเงาะมีการพัฒนาเนื้อผล โดยฉีดพ่นสารแต่ละชนิดจำนวน 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 7 วัน และทำการบันทึกข้อมูลหลังการเก็บเกี่ยวจากส่วนที่สุ่มและทำเครื่องหมายไว้จำนวน 20 ซ่อต่อต้น ซึ่งน้ำหนักจากกลุ่มเงาะตัวอย่าง ซ่อละ 3 ผล โดยการวัดขนาดและน้ำหนักของผลเงาะในด้านความกว้างของผล ความกว้างเมล็ด ความยาวเมล็ด ความหนาเนื้อ ความหนาเปลือก น้ำหนัก

ผลสด น้ำหนักเมล็ด น้ำหนักของเนื้อผลและน้ำหนักเปลือก และคัดเกรดจากจำนวนผลต่อกิโลกรัม โดยใช้มาตรฐานสินค้าเกษตร หรือ มกษ. ที่พิจารณาน้ำหนักของผลจากจำนวนผลต่อกิโลกรัม ดังนี้ เกรด 1 จำนวนผลต่อกิโลกรัมน้อยกว่า 26 ผล/กก. เกรด 2 จำนวนผลต่อกิโลกรัม 26-29 ผล/กก. เกรด 3 จำนวนผลต่อกิโลกรัม 30-33 ผล/กก. เกรด 4 จำนวนผลต่อกิโลกรัม 34-38 ผล/กก. ซึ่งข้อมูลจำนวนผลต่อกิโลกรัมคำนวณจากน้ำหนักผลสดจากการทดลอง ทำการทดลอง ณ สวนเกษตรกร หมู่บ้านปลายคลอง ตำบลวังกระแจะ อำเภอเมือง จังหวัดตราด

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของ GA₃ ต่อขนาดและน้ำหนักของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน

1.1 ขนาดของผล

การใช้สาร GA₃ ทำให้ความกว้างผล ความยาวเมล็ด และความหนาของเนื้อผล มากกว่ากรรมวิธีไม่ใช้สาร แต่อย่างไรก็ตาม การใช้สาร GA₃ ที่ระดับความเข้มข้น 25, 50 และ 75 มก./ล. ไม่ทำให้ความกว้างผล ความยาวเมล็ด และความหนาของเนื้อผลแตกต่างกัน นอกจากนั้นการใช้สาร GA₃ ไม่มีผลต่อความกว้างเมล็ด และความหนาเปลือก (ตารางที่ 1) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับสมพร และคณะ (2550) ที่ได้ทำการทดสอบการใช้ GA₃ ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการพัฒนาขนาดของผลมังคุดและพบว่า การใช้ GA₃ ที่ระดับความเข้มข้น 25, 50, 75, และ 100 มก./ล. ไม่ทำให้ความกว้างผลมังคุดแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งน่าจะมาจากความต้องการ GA₃ ชนิดต่าง ๆ ในการพัฒนาผลให้สมบูรณ์ขึ้นกับชนิดพืช (Takahashi *et al.*, 1991) และช่วงการพัฒนาของผลเมื่อได้รับ GA₃ ทั้งนี้ยังไม่มีผู้วิจัยที่หาระยะที่เหมาะสมในการใช้ GA₃ เพื่อเพิ่มขนาดของผลเงาะ

1.2 น้ำหนักของผล

เมื่อเปรียบเทียบเกรดของผลเงาะพันธุ์โรงเรียนตาม มกษ. กำหนด พบว่า การไม่ใช้สาร GA₃ และการใช้สาร GA₃ ที่ระดับความเข้มข้น 25, 50 และ 75 มก./ล. ทำให้จำนวนผลต่อกิโลกรัมอยู่ในลำดับคุณภาพ ในช่วงเกรด

Table 1. Effect of GA₃ on fruit size of *Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrian

GA ₃ Concentration (mg/L)	Fruit width (mm)	Seed length (mm)	Seed width (mm)	Flesh thickness (mm)	Peel thickness (mm)
0	37.14 b ¹	22.90 b	14.70 a	8.12 b	3.06 a
25	38.54 a	24.54 a	14.68 a	9.02 a	2.96 a
50	39.10 a	24.92 a	14.30 a	9.04 a	3.08 a
75	39.30 a	24.54 a	14.34 a	9.18 a	3.10 a
F-test	*	*	ns	*	ns
CV (%)	1.63	1.96	2.24	3.49	3.59

¹ Means in a column followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) by DMRT, ns: not significantly different

ที่ 2 ซึ่งมีจำนวนผล 29 (28.70), 27 (27.09), 27 (26.81) และ 26 (25.93) ผล/กก. ตามลำดับ แม้ว่า การใช้สาร GA₃ ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นจะไม่สามารเพิ่มน้ำหนักของผลเงาะให้อยู่ในลำดับคุณภาพที่ 1 ได้ แต่พบว่า การใช้สาร GA₃ ที่ระดับความเข้มข้น 75 มก./ล. ทำให้น้ำหนักผล และ น้ำหนักเนื้อผล มากกว่าการใช้สาร GA₃ ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 50 มก./ล. (ตารางที่ 2) ทั้งนี้ การใช้สาร GA₃ ที่ระดับความเข้มข้น 75 มก./ล. ไม่ทำให้น้ำหนักเมล็ดแตกต่างจากการใช้สาร GA₃ ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 50 มก./ล. และพบว่า การใช้สาร GA₃ ไม่มีผลต่อน้ำหนักเปลือก โดยผลที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ว่า GA มีส่วนทำให้ค่า osmotic potential ลดลงส่งผลทำให้น้ำเข้าสู่ภายในเซลล์เพิ่มมากขึ้น (Kazama and Katsumi, 1983) ทำให้มีแรงดันในเซลล์เพิ่มมากขึ้นและเกิดความยืดหยุ่นของเซลล์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Mita and Katsumi (1986) รายงานว่า GA มีผลต่อการเรียงตัวของ microfibril ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ทิศทางของ cortical microtubule และการเรียงตัวของ cellulose microfibril สามารถกำหนดรูปร่างของเซลล์ในเซลล์ที่ยังอ่อนอยู่ cellulose microfibril จะมีการเรียงตัวตามขวางกับทิศทางที่เซลล์ยืดตัว (Katsumi and Ishida, 1991) ซึ่งคล้ายกับคำอธิบายของ Cleland (1995) รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของขนาดเป็นผลมาจากการแบ่งเซลล์และการขยายตัวของเซลล์เมื่อใช้ GA₃ เกิดจาก GA₃ ไปกระตุ้นเซลล์ที่ทำหน้าที่เป็นเซลล์สะสมอาหาร และ GA₃ มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ IAA ซึ่งส่งผลให้ในแต่ละชั้นผิวของผลไม่มีสาร

เก็บอาหารที่พืชสร้างภายในผลจนท้ายที่สุดส่งผลให้ได้มวลที่เพิ่มมากขึ้น

2. ผลของ NAA ต่อขนาดและน้ำหนักของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน

2.1 ขนาดของผล

การใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ คือ 25 มก./ล. ทำให้ผลเงาะมีความกว้างมากกว่าการใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้น 50 มก./ล. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) นอกจากนี้พบว่า การใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้น 25 มก./ล. ทำให้ความหนาเนื้อผลมากกว่าการใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้นสูงทั้ง 2 ระดับ และการใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้น 25 มก./ล. ทำให้เมล็ดเงาะมีความกว้างลดลง ซึ่งสิ่งที่ค้นพบนี้มีความใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Son (2004) ที่พบว่า การใช้ NAA ที่ระดับความเข้มข้น 10 มก./ล. ทำให้เมล็ด apricot มีน้ำหนักน้อยกว่าการใช้ NAA ที่ความเข้มข้น 20 และ 30 มก./ล. ซึ่งได้ให้คำอธิบายไว้ว่าน่าจะเกิดจากผลของ NAA ที่ทำให้เมล็ดลีบ ซึ่งเป็นไปได้ว่าการใช้ NAA ที่ระดับความเข้มข้น 10 มก./ล. ทำให้ apricot มีความหนาเนื้อผลมากกว่าการใช้ NAA ที่ระดับความเข้มข้นที่สูงกว่านั้นอย่างไรก็ตาม การตอบสนองต่อระดับความเข้มข้นของ NAA แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช เนื่องจากออกซินมีผลต่อการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อบริเวณแคมเบียมทำให้สร้างกลุ่มท่อน้ำมากขึ้น (มานี, 2550) นอกจากนี้การใช้ NAA มีผลทำให้ขนาดของเซลล์เพิ่มขึ้นซึ่งอาจเป็น

Table 2. Effect of GA₃ on fruit weight of *Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrian

GA ₃ Concentration (mg/L)	Fruit weight (g)	Seed weight (g)	Flesh weight (g)	Peel weight (g)
0	34.84 c ¹	2.24 b	18.04 c	14.52 a
25	36.92 b	2.78 a	18.58 bc	15.44 a
50	37.30 b	2.84 a	18.96 b	15.42 a
75	38.56 a	2.78 a	20.10 a	15.02 a
F-test	*	*	*	ns
CV (%)	1.33	3.57	2.51	2.40

¹ Means in a column followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) by DMRT, ns: not significantly different

Table 3. Effect of NAA on fruit size of *Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrian

NAA Concentration (mg/L)	Fruit width (mm)	Seed length (mm)	Seed width (mm)	Flesh thickness (mm)	Peel thickness (mm)
0	36.58 c ¹	23.68 b	14.60 a	8.18 c	2.76 b
25	39.36 a	23.70 b	14.30 b	9.58 a	2.86 ab
50	38.68 b	23.32 b	14.68 a	9.14 b	2.86 ab
75	39.20 ab	24.62 a	14.80 a	9.12 b	3.06 a
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	1.09	2.02	1.24	2.65	4.90

¹ Means in a column followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) by DMRT

เพราะว่า NAA ช่วยทำให้การเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตที่พืชสร้างขึ้น มาสะสมที่เซลล์ของผลไม่มากขึ้น จนทำให้เซลล์ขยายขนาดใหญ่ขึ้น (Arteca, 1996)

2.2 น้ำหนักของผล

จากผลการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบเกรดของผลเงาะพันธุ์โรงเรียนตาม มกษ. กำหนด พบว่า การใช้สาร NAA และการใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้น 25, 50 และ 75 มก./ล. ทำให้เงาะมีจำนวนผลต่อกิโลกรัมอยู่ในลำดับคุณภาพในช่วงเกรดที่ 2 ซึ่งมีจำนวนผล 27 (27.37), 26 (26.34), 26 (26.59) และ 26 (26.00) ผล/กก. ตามลำดับ การใช้สาร NAA ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นไม่สามารถเพิ่มน้ำหนักของผลเงาะให้อยู่ในลำดับคุณภาพที่ 1 ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สาร NAA ที่ระดับความ

เข้มข้น 50 มก./ล. ไม่ทำให้น้ำหนักผลเงาะแตกต่างจากกรรมวิธีที่ไม่ใช้สาร (ตารางที่ 4) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Drinnan and Traynor (2010) ที่ทดลองใช้ NAA ระดับความเข้มข้น 40 มก./ล. ต่อการพัฒนาดอกเพศผู้ของเงาะซึ่งส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของเงาะ 3 พันธุ์ในประเทศออสเตรเลีย พบว่า NAA ระดับความเข้มข้น 40 มก./ล. ไม่ทำให้น้ำหนักผลเงาะแตกต่างจากกรรมวิธีที่ไม่ใช้สารเช่นกัน เนื่องจากการทดลองของ Drinnan and Traynor (2010) ได้ทดสอบการใช้สาร NAA ตั้งแต่ช่วงระยะการพัฒนาดอกเพศผู้จนถึงช่วงการพัฒนาผล (ประมาณ 7-9 สัปดาห์ หลังดอกบาน) ซึ่งเป็นช่วงระยะการเจริญเติบโตของผลเงาะที่ใกล้เคียงกับการทดลองในครั้งนี้ อย่างไรก็ตาม พบว่า การเพิ่มระดับความเข้มข้นของ NAA มีแนวโน้มทำให้น้ำหนักของเมล็ด

Table 4. Effect of NAA on fruit weight of *Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrian

NAA Concentration (mg/L)	Fruit weight (g)	Seed weight (g)	Flesh weight (g)	Peel weight (g)
0	36.54 b ¹	2.20 b	19.24 b	14.76 a
25	37.96 a	2.26 b	20.84 a	14.84 a
50	37.60 ab	2.32 b	20.18 a	15.12 a
75	38.46 a	2.62 a	20.58 a	15.24 a
F-test	*	*	*	ns
CV (%)	2.54	5.38	3.62	3.18

¹ Means in a column followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) by DMRT, ns: not significantly different

เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรรมวิธีที่ใช้ NAA ระดับความเข้มข้น 75 มก./ล. ทำให้น้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเป็นผลจากการใช้ NAA ที่ทำให้เมล็ดเจริญเติบโตได้ดี ส่งผลให้เมล็ดงามีความยาวและน้ำหนักมากขึ้น

3. ผลของ BS ต่อขนาดและน้ำหนักของผลงาพะ พันธุ์โรงเรียน

3.1 ขนาดของผล

การใช้สาร BS ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นทำให้ความกว้างผล ความยาวเมล็ด ความหนาเนื้อผล และความหนาเปลือกมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใช้สาร (ตารางที่ 5) แต่พบว่าการใช้สาร BS ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นไม่ทำให้ขนาดของผลงาพะในด้านดังกล่าวแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามการเพิ่มระดับความเข้มข้นของ BS แสดงแนวโน้มทำให้ขนาดของผลงาพะเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ อุบลวรรณ และธนะชัย (2555) ที่พบว่า สารคลอโรบราซิน 0.5, 1.0 และ 1.5 มก./ล. เพิ่มขนาดผลลำไยได้ทุกระดับความเข้มข้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความเข้มข้น 1.5 มก./ล. สามารถเพิ่มความกว้างผลลำไยได้ 45.13% ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าพืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อระดับความเข้มข้นของ BS ที่แตกต่างกัน

3.2 น้ำหนักของผล

จากผลการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบเกรดของผลงาพะพันธุ์โรงเรียนตาม มกษ. กำหนด พบว่า การใช้สาร BS ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5 มก./ล. ที่มีจำนวนผล 24 (23.80), 24 (23.62) และ 23 (23.07) ผล/กก. ตามลำดับ ซึ่งการใช้สาร BS ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นทำให้จำนวนผลต่อ กิโลกรัมลดลงซึ่งส่งผลให้อยู่ในลำดับคุณภาพที่ 1 ในขณะที่กรรมวิธีไม่ใช้สาร BS มีขนาดของผลในวันเก็บเกี่ยวอยู่ในลำดับคุณภาพที่ 2 ที่มีจำนวนผล 29 (29.00) ผล/กก. การใช้สาร BS ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นทำให้น้ำหนักผล น้ำหนักเนื้อผล น้ำหนักเปลือกมากกว่าการไม่ใช้สาร (ตารางที่ 6) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างสาร BS ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น การที่ผลมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สาร BS นั้นอาจเป็นผลมาจากสารกลุ่มบราซิลินสเตียรอยด์ มีผลต่อการยืดและการขยายขนาดของเซลล์ (Azpiruz *et al.*, 1998) รวมถึงการแบ่งเซลล์ (Sala and Sala, 1985; Nakajima *et al.*, 1996) เนื่องจากสารกลุ่มบราซิลินสเตียรอยด์สามารถส่งเสริมการยืดยาวของเนื้อเยื่อพืชในระดับความเข้มข้นที่ต่ำ โดย BRs สามารถกระตุ้นให้เกิดการยืดยาวโดยการเพิ่มการคลายตัวของผนังเซลล์ (Wang *et al.*, 1993) ในขณะที่ Zurek and Clouse (1994) แสดงให้เห็นว่า BRs กระตุ้นให้เกิดการคลายตัวของผนังเซลล์ในถั่วเหลือง โดยพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของผนังเซลล์

Table 5. Effect of BS on fruit size of *Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrian

BS Concentration (mg/L)	Fruit width (mm)	Seed length (mm)	Seed width (mm)	Flesh thickness (mm)	Peel thickness (mm)
0	36.64 b ¹	24.40 b	14.84 b	7.90 b	3.04 b
0.5	40.48 a	26.40 a	15.56 a	9.26 a	3.26 a
1.0	40.86 a	26.56 a	15.42 a	9.48 a	3.36 a
1.5	41.16 a	26.76 a	15.26 ab	9.64 a	3.24 a
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	1.81	2.23	2.06	4.08	4.27

¹ Means in a column followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) by DMRT

Table 6. Effect of BS on fruit weight of *Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrian

BS Concentration (mg/L)	Fruit weight (g)	Seed weight (g)	Flesh weight (g)	Peel weight (g)
0	34.36 b ¹	2.16 b	17.86 b	14.44 b
0.5	42.00 a	2.26 ab	23.18 a	16.54 a
1.0	42.32 a	2.34 a	23.20 a	16.84 a
1.5	43.34 a	2.36 a	23.22 a	17.02 a
F-test	*	ns	*	*
CV (%)	3.35	5.37	3.74	4.93

¹ Means in a column followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) by DMRT, ns: not significantly different

4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ GA₃ NAA และ BS ต่อการเพิ่มความยาว ความกว้าง น้ำหนักผลสด น้ำหนักเนื้อผลของเงาะพันธุ์โรงเรียน

การใช้สาร GA₃ NAA และ BS ต่อขนาดและน้ำหนักของผลเงาะ พบว่า สาร BS สามารถเพิ่มความยาว ผล น้ำหนักผล และน้ำหนักเนื้อผลได้มากกว่าสาร GA₃ และสาร NAA โดยสาร BS ที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุด คือ 0.5 มก./ล. ทำให้ผลเงาะมีความยาวผล ความกว้างผล น้ำหนักผลและ น้ำหนักเนื้อผลเทียบเท่ากับการใช้สาร BS ที่ระดับความเข้มข้น 1 และ 1.5 มก./ล. และพบว่าสาร GA₃ ช่วยเพิ่มความยาวของผลเงาะได้ดีรองจากสาร BS ในขณะที่สาร NAA เพิ่มความยาวของผลเงาะได้น้อยที่สุด แม้ว่าสาร NAA ที่ความเข้มข้นในระดับต่ำ คือ 25 มก./ล. จะช่วยเพิ่มความกว้างของผลเงาะได้เทียบเท่ากับการใช้

สาร BS แต่อย่างไรก็ตาม สาร GA₃ และ NAA ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น ไม่ได้ช่วยทำให้ผลเงาะมีน้ำหนักผล และ น้ำหนักเนื้อผลมากเทียบเท่ากับการใช้สาร BS ซึ่งใกล้เคียงกับการรายงานผลของ ชรัสนันท์ (2548) ที่พบว่า การใช้สารบราสซิโนสเตียรอยด์ (BRs) มีแนวโน้มทำให้ น้ำหนักผลสดของลำไยมากกว่าการใช้สาร NAA และ GA₃ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เนื่องจาก BS ให้ผลชัดเจนกว่าการใช้สาร GA₃ และ NAA นอกจากนี้ Mandava (1988) ยังได้กล่าวว่า BRs ช่วยกระตุ้นการเคลื่อนที่อย่าง มีทิศทางของออกซินได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ชรัสนันท์ (2548) ที่ได้ศึกษาลักษณะของการทำงาน ร่วมกันของ GA₃ NAA และ BRs และพบว่า การใช้ NAA ร่วมกับ BRs สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตด้านความ กว้างและน้ำหนักผลได้ อย่างไรก็ตาม Zurek and Clouse

Table 7. The fruit size and fruit weight of *Nephelium lappaceum* L. cv. Rongrian after GA₃, NAA, and BS treatments

PGR	Fruit length Increasing (%)	Fruit width Increasing (%)	Fruit weight Increasing (%)	Flesh weight Increasing (%)
GA ₃ 25 mg/L	6.52 b ¹	3.81 c	5.96 c	3.12 c
GA ₃ 50 mg/L	8.28 b	5.36 c	6.91 bc	5.10 bc
GA ₃ 75 mg/L	6.09 b	5.86 c	10.67 b	11.42 b
NAA 25 mg/L	1.03 c	7.61 ab	3.99 c	8.51 bc
NAA 50 mg/L	0.43 c	5.75 c	3.61 c	5.00 bc
NAA 75 mg/L	2.52 c	7.17 bc	5.36 c	7.08 bc
BS 0.5 mg/L	11.09 a	10.46 ab	22.26 a	30.06 a
BS 1.0 mg/L	11.52 a	10.83 ab	23.24 a	30.12 a
BS 1.5 mg/L	11.69 a	11.51 a	26.11 a	30.34 a
F-test	*	*	*	*
CV (%)	29.48	39.90	26.31	30.99

¹ Means in a column followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$) by DMRT

(1994) สรุปว่า BRs สามารถออกฤทธิ์เองได้ โดยไม่ต้องทำงานร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มอื่น ๆ โดยพบว่า BRs กระตุ้นให้เกิดการคลายตัวของผนังเซลล์ในท่อน้ำเลี้ยง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกลไกของผนังเซลล์ โดย BRs กระตุ้นการยืดยาวในท่อน้ำเลี้ยงซึ่งรูปแบบการแสดงออกของยีนถูกเปลี่ยนแปลงโดย BRs ไม่ว่าจะเป็น IAA ร่วมด้วยหรือไม่ก็ตาม

สรุป

สาร GA₃ ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นไม่มีผลต่อขนาดของผลเงาะ แต่การใช้สาร GA₃ ที่ระดับความเข้มข้น 75 มก./ล. สามารถเพิ่มน้ำหนักผล และน้ำหนักเนื้อผลเงาะได้

สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้น 25 มก./ล. สามารถลดความกว้างเมล็ดและเพิ่มความหนาเนื้อผลได้

สาร BS ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นสามารถเพิ่มขนาดและน้ำหนักของผลเงาะได้ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างระดับความเข้มข้น

การใช้สาร GA₃ และ NAA ทำให้ลำดับคุณภาพของผลเงาะอยู่ในลำดับที่ 2 ในขณะที่สาร BS ทำให้ลำดับคุณภาพของผลเงาะอยู่ในลำดับที่ 1

สาร BS มีประสิทธิภาพในการเพิ่มขนาดและน้ำหนักของผลเงาะเหนือกว่าสาร GA₃ และ NAA โดยอัตราที่แนะนำ คือ สาร BS ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 มก./ล.

เอกสารอ้างอิง

- ชรินทร์ ตาชม. 2548. ผลของบราสิโนสเตียรอยด์ จิบเบอเรลลินและออกซิน ต่อการเจริญเติบโตของผลลำไย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 157 หน้า.
- นฤมล มานีพพาน. 2549. การปลูกและการขยายพันธุ์เงาะไม้ผลเศรษฐกิจสร้างรายได้ ทางเลือกธุรกิจที่น่าสนใจในการลงทุน. สำนักพิมพ์เพชรกระวีจำกัด, กรุงเทพฯ. 72 หน้า.

- ปิยะพันธุ์ ผกามาศ และอนงค์ภัทร เหมลา. 2558. ผลของ NAA IBA และชนิดของกิ่งต่อการออกรากของ กิ่งปักชำสับดูดา. วารสารเกษตร 31(3): 251-258.
- มานี เตื้อสกุล. 2550. สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏ สงขลา, สงขลา. 252 หน้า.
- รัฐพล นัตรบรรยงค์ สุรศักดิ์ นิลนนท์ และวาสนี ศิริโคค. 2553. การตอบสนองของผลองุ่นพันธุ์ Marroo Seedless ต่อการฉีดพ่น GA₃. วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร 41(3/1): 421-424.
- ลิลลี่ กาวีตะ มาลี ณ นคร ศรีสม สุวรรณวงศ์ สุริยา ตันติ วิวัฒน์ และณรงค์ วงศ์กันทรากกร. 2556. สรีรวิทยาของพืช. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 273 หน้า.
- สมบุญ เดชะปัญญาวัฒน์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 237 หน้า.
- สมพร ณ นคร นพ ศักดิ์เศรษฐ์ และ ชัยพร เฉลิมพัคตร์. 2550. ผลของการใช้สาร NAA และ GA₃ ที่ระดับ ความเข้มข้นที่แตกต่างกันต่อการพัฒนาและ การเจริญเติบโตของผลมังคุด. รายงาน ผลการวิจัย. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, สงขลา. 31 หน้า.
- สัมฤทธิ์ เศรษฐวงศ์. 2549. ฮอโมนและการใช้ฮอโมนกับ ไม้ผล. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 144 หน้า.
- สุชาติ จันทรเหลื่อง ปัทมา นามวงศ์ จารุวรรณ ทองใบ เฉลิมชล ช่างถม สุภารัตน์ เพ็ชรภิรมย์ และฐิติ มา วัฒนศาสตร์. 2557. เทคนิคการผลิตเงาะ นอกฤดู. เอกสารวิชาการ. สำนักงานเกษตร จังหวัดจันทบุรี, จันทบุรี. 32 หน้า.
- อุบลวรรณ รัตนทิพย์ภรณ์ และณชัย พันธุ์เกษมสุข. 2555. ผลของสารคล้ายบราสซิโนต่อคุณภาพผล ของลำไยพันธุ์ดอ. วารสารวิจัยและส่งเสริม วิชาการการเกษตร 29(2): 8-14.
- Arteca, R.N. 1996. Plant growth substances: principles and application. Chapman and Hall Press, New York. 332 p.
- Azpiruz, R., Y. Wu, J.C. Locascio and K.A. Feldmann. 1998. An arabidopsis brassinosteroid-dependent mutant is blocked in cell elongation. The Plant Cell 10: 219-230.
- Bhat, S.K., B.L. Raina, S.K. Chogtuand and A.K. Muthoo. 1997. Effect of exogenous auxin application on fruit drop and cracking in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) cv. Dehradun. Advances in Plant Science 10(1): 83-86.
- Biswas, B.S., K. Ghos and S. K. Mitra. 1998. Effect of growth substances on fruit weight size and quality of guava cv L-49. Indian Journal of Agricultural Sciences 32: 245-248.
- Cleland, R.E. 1995. Auxin and cell elongation. pp. 214-227. In: P. J. Davies (ed.). Plant Hormones: Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Drinnan, J. and M. Trayner. 2010. Boosting Rambutan Productivity Through Improvements in Fruit Set. Barton, A.C.T. 33 p.
- Katsumi, M. and K. Ishida. 1991. The Gibberellin control of cell elongation. pp. 211-219. In: N. Takahashi, B.O. Phinney and J. MacMillan (eds.). Gibberellins. Springer-Verlag, New York.
- Kazama, H. and M. Katsumi. 1983. Gibberellin-induced changes in the water absorption, osmotic potential and starch content of cucumber hypocotyls. Plant and Cell Physiology 24: 1209-1216.
- Mandava, N.B. 1988. Plant growth-promoting brassinosteroids. Plant Physiology 39: 23-52.

- Mita, T. and M. Katsumi. 1986. Gibberellin control of microtubule arrangement in the mesocotyl epidermal cells of d5 mutant of *Zea mays* L. *Plant and Cell Physiology* 27: 651-659.
- Nakajima, N., A. Shida and S. Toyama. 1996. Effect of brassinosteroid on cell division and colony formation of Chinese cabbage mesophyll protoplasts. *Japanese Journal of Crop Science* 65: 114-118.
- Sala, C. and F. Sala. 1985. Effects of brassinolide on cell division and enlargement in cultured carrot (*Daucus carota* L.) cells. *Plant Cell Reports* 4(3): 144-147.
- Son, L. 2004. Effects of hand and chemical thinning on fruit size and quality of 'Priana' and 'Beliana' apricot (*Prunus armeniaca*) cultivars. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 32: 331-335.
- Takahashi, N., B.O. Phinney and J. MacMillan. 1991. *Gibberellins*. Springer-Verlag, New York. 426 p.
- Wang, T.W., D.J. Cosgrove and R.N. Artica. 1993. Brassinosteroid stimulation of hypocotyls elongation and wall relaxation in pakchoi (*Brassica chinensis* cv. Lei-choi). *Plant Physiology* 101: 965-968.
- Zurek, D.M. and S.D. Clouse. 1994. Molecular cloning and characterization of a brassinosteroid regulated gene from elongation soybean (*Glycine max* L.) epicotyls. *Plant Physiology* 104: 161-170.
-

วิธีการทำให้เซลล์แตกเพื่อการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายขนาดเล็ก

Cells Disruption Methods for Lipid Extraction from Microalgae

ผกามาศ ชิดเชื้อ¹ ปติรุจ จิรกาลวงศ์^{3, 4} และ อรุมา ตนะดุลย์^{2, 3, 4*}

Phakamat Chitchuea¹, Patiruj Jirakranwong^{3, 4} and Orn-u-ma Tanadul^{2, 3, 4*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

¹Program in Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

²ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

²Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

³ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

³Center for Agricultural Biotechnology, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

⁴ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10900

⁴Center of Excellence on Agricultural Biotechnology: (AG-BIO/PERDO-CHE), Bangkok 10900, Thailand

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

(Received: 7 November 2016; Accepted: 9 February 2017)

Abstract: The efficiency of cell disruption methods was tested either in a single-step or in a two-step disruption. Single-step disruption included bead vortexing (B), microwave (M) and ultrasonic (U) whereas two-step disruption included microwave and bead vortexing (MB), microwave and ultrasonic (MU) and ultrasonic and bead vortexing (UB) by using an extraction mixture of chloroform and methanol (2:1). The results showed that isolate of microalgae, disruption method and interaction of those factors had significant effect on lipid content at 95% confident interval. The lipid content from microalgae Isolate A were 9.35, 8.32, 8.09, 8.93, 8.04 and 7.90%, while lipid content of microalgae Isolate B were 6.45, 9.00, 8.65, 7.22, 8.08 and 5.81% when microalgal cells were disrupted by B, M, U, MB, MU and UB method, respectively. This study showed that lipid content obtained from single-step disruption was higher than the two-step method from both isolates of microalgae. Cells disruption method by beads (B) was suitable for lipid extraction from microalgae Isolate A in order to obtain high lipid content and time saving. However, microwave (M) method was the most suitable for microalgae isolate B because it yielded high oil content simple, convenient, fast and safe method.

Keywords: Cell disruption, microalgae, lipid

บทคัดย่อ: ทดสอบประสิทธิภาพวิธีทำให้เซลล์สาหร่ายแตกด้วยวิธีแบบขั้นตอนเดียว ได้แก่ bead vortexing (B), microwave (M) และวิธีการ ultrasonic (U) และทำให้เซลล์แตกแบบสองขั้นตอน ได้แก่ microwave และ bead vortexing (MB), microwave และ ultrasonic (MU) และวิธีการ ultrasonic และ bead vortexing (UB) โดยใช้สารสกัดที่เป็นส่วนผสมของคลอโรฟอร์มและเมทานอล (2:1) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์สาหร่าย วิธีการทำให้เซลล์แตก และปฏิสัมพันธ์ของสายพันธุ์สาหร่ายและวิธีทำให้เซลล์แตกมีผลต่อปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปริมาณน้ำมันที่ได้จากสาหร่ายไอโซเลท A มีค่าเท่ากับ 9.35, 8.32, 8.09, 8.93, 8.04 และ 7.90% ขณะที่สาหร่ายไอโซเลท B ให้ปริมาณน้ำมันเท่ากับ 6.45, 9.00, 8.65, 7.22, 8.08 และ 5.81% เมื่อใช้วิธีการ B, M, U, MB, MU และวิธี UB ตามลำดับ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการทำให้เซลล์แตกแบบขั้นตอนเดียวให้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าการทำให้เซลล์แตกแบบสองขั้นตอนจากสาหร่ายทั้งสองไอโซเลท การทำให้เซลล์แตกด้วยวิธีเม็คปิด (B) เป็นวิธีการที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้สกัดน้ำมันจากสาหร่ายไอโซเลท A เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันสูงและประหยัดเวลาในการสกัด อย่างไรก็ตามการใช้ไมโครเวฟเป็นวิธีที่เหมาะสมกับสาหร่ายไอโซเลท B เพราะนอกจากให้น้ำมันสูงและยังเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวก รวดเร็วและปลอดภัย

คำสำคัญ: การทำให้เซลล์แตก สาหร่ายขนาดเล็ก น้ำมัน

คำนำ

นอกเหนือจากการนำสาหร่ายไปใช้ในการเลี้ยงไก่ไข่ (มนัสนันท์ และคณะ, 2558) ในปัจจุบันสาหร่ายได้รับความนิยมจากนักวิจัยในการนำมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับอนาคต รองมาจากข้าวโพดและถั่วเหลือง เนื่องจากสาหร่ายขนาดเล็กนั้นสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น (รัตนภรณ์, 2555) เพาะเลี้ยงได้ง่าย สามารถผลิตเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้ (Sheehan *et al.*, 1998, Scragg *et al.*, 2003) ปริมาณน้ำมันที่ได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ สายพันธุ์และสภาวะในการเพาะเลี้ยง ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงก็มีด้วยกันหลายรูปแบบ ได้แก่ การเลี้ยงแบบให้แสงและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน และการเลี้ยงแบบให้แสงและสารประกอบอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน (Chisti, 2007)

วิธีการทำให้เซลล์แตกเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันอย่างยิ่ง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของผนังเซลล์ โดยส่วนใหญ่ผนังเซลล์จะประกอบด้วยสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต บางชนิดประกอบด้วยซิลิเกต (silicate) โปรตีน ไนมัน มิวโคเพปไทด์ (mucopolysaccharide)

และเซลลูโลส (cellulose) เป็นต้น โดยสาหร่ายบางชนิดมีผนังเซลล์ 2 ชั้น บางชนิดไม่มีผนังเซลล์ มีเพียงเยื่อหุ้มเซลล์ (plasmalemma) ที่ประกอบด้วยสารโปรตีนที่เรียกว่า “เพลลิเคิล (pellicle)” บางชนิดมีเปลือกหุ้มเซลล์หรือลอรिका (lorica) (สรวิศ, 2543) จะเห็นได้ว่าสาหร่ายนั้นมีโครงสร้างของผนังเซลล์ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นหากเลือกใช้วิธีทำให้เซลล์แตกที่เหมาะสมกับลักษณะโครงสร้างของเซลล์สาหร่ายแล้วจะทำให้สามารถสกัดน้ำมันซึ่งอยู่ภายในเซลล์ออกมาได้ในปริมาณมาก และไม่น่าใช้จำเริญความจำเป็น ซึ่งวิธีการทำให้เซลล์แตกสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ตัวทำละลายในการสกัด (superior solvent extraction method) การใช้คลื่นเสียงกระตุ้นให้เกิดการสั่น (ultrasonic) การใช้คลื่นรังสีไมโครเวฟ (microwave) การใช้เม็คปิดบีบอัดเซลล์ (bead vortexing) การใช้เอนไซม์ย่อยผนังเซลล์ (enzymatic extraction) และการใช้เทคนิคออสโมซิสโดยอาศัยความต่างของความดัน (osmotic shock) เป็นต้น (Ranjith Kumar *et al.*, 2015) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาวิธีการทำให้เซลล์แตกที่เหมาะสมสำหรับสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดแยกได้จากจังหวัดราชบุรี ซึ่งมีลักษณะใดไว และสะสมชีวมวลได้สูง

อุปกรณ์และวิธีการ

สายพันธุ์สาหร่าย สภาพการเจริญเติบโตและการเตรียมตัวอย่าง

เลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella* sp. จำนวน 2 ไส้หลอด ที่เก็บตัวอย่างจากบึงในตำบลโพหัก อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2558 และคัดแยกในห้องปฏิบัติการ ให้ชื่อเป็นไอโซเลต A และ B นำมาเพาะเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวครั้งเดียว ด้วยอาหารสูตร TAP (Harris, 1989) ใน bioreactor ขนาด 700 มิลลิลิตร ในสภาวะให้แสงด้วยหลอด fluorescent ชนิด cool white ความเข้มแสงประมาณ 3,000 ลักซ์ นาน 16 ชั่วโมงต่อวัน อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน เก็บเกี่ยวสาหร่ายโดยการปั่นเหวี่ยง นำไปทำให้แห้งด้วยความเย็น (freeze dry) ซึ่งตัวอย่างสาหร่ายประมาณ 20 มิลลิกรัม ลงใน conical tube ขนาด 15 มิลลิลิตร เติมน้ำ Folch solvent (chloroform: methanol; 2:1) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และสกัดน้ำมันด้วยวิธีการต่าง ๆ จากนั้นเติม 0.9% NaCl 1.2 มิลลิลิตร ผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยการ vortex แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และเก็บของเหลวส่วนล่างไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันตามวิธีที่รายงานโดย Tanadul *et al.* (2014)

วิธีการทำให้เซลล์สาหร่ายแตก

ทำให้เซลล์แตกแบบขั้นตอนเดียว 3 วิธี ได้แก่ bead vortexing (B), microwave (M), ultrasonic (U), และทำให้เซลล์แตกแบบสองขั้นตอน 3 วิธี ได้แก่ microwave และ bead vortexing (MB), microwave และ ultrasonic (MU) และวิธี ultrasonic และ bead vortexing (UB) ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละวิธีดังนี้

ทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี B นำเม็ดบีด (glass bead) จำนวน 110 เม็ดใส่ลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้ข้างต้น จากนั้นนำไป vortex (Vortex Mixer, KMC-1,300V, 200V/50Hz) ด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบเวลานำเม็ดบีดออกและทำการสกัดน้ำมันต่อไป การทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี M ให้นำตัวอย่างสาหร่ายเข้า microwave (Samsung, ME711K 800W 20L) โดยใช้กำลังไฟฟ้าที่ 300 วัตต์ เป็นเวลา 3

วินาที จำนวน 20 ครั้ง และทำการสกัดน้ำมันต่อไป การทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี U นำตัวอย่างเข้าเครื่อง ultrasonic (Omni-Ruptor 4,000, 20 kHz) ที่มีความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ความแรง 40 วัตต์ pulse 40% เป็นเวลา 10 นาที จำนวน 4 ครั้ง และทำการสกัดน้ำมันต่อไป

ส่วนการทำให้เซลล์แตกแบบสองขั้นตอนมีวิธีการทำเหมือนการสกัดแบบขั้นตอนเดียวแต่ทำเพิ่มอีกหนึ่งขั้นตอนตามชื่อของแต่ละวิธี จากนั้นนำตัวอย่างไปสกัดและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมัน

การวิเคราะห์น้ำมันจากเซลล์สาหร่าย

ใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้จากวิธีการข้างต้นลงใน polypropylene flat bottom microplate 30 ไมโครลิตร และหยอด lipid standards ที่มีความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลงใน plate ปริมาณ 0, 2.5, 5, 10, 20, 40, 60 และ 80 ไมโครลิตร ตามลำดับ จากนั้นทำการระเหย Folch solvent ออกจากตัวอย่างด้วย heating block ที่ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที เมื่อทำการระเหยสารละลายครบกำหนดเวลาแล้ว เติมน้ำกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. sulfuric acid) 100 ไมโครลิตร แล้วผสมสารให้เข้ากันด้วย pipette ขึ้นและลง 10 ครั้ง จากนั้นนำใส่ลงใน heating block นาน 20 นาทีและตั้งทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง หลังจากตั้งทิ้งไว้แล้วนำตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (optical density: OD) ที่ความยาวคลื่นแสง 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer-plate reader (SPECTRO star Nano, BMG Lab Tech) เพื่อวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง background

หลังจากทำการวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงแล้ว เติมน้ำวานิลลิน-ฟอสฟอริก (vanillin-phosphoric acid) 50 ไมโครลิตร ผสมสารให้เข้ากันด้วย pipette ขึ้นและลง 5 ครั้งแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงอีกครั้งและคำนวณหาค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสุทธิด้วยการหักลบกับค่าการดูดกลืนคลื่นแสง background

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial in CRD)

ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่หนึ่งคือวิธีการทำให้เซลล์แตกประกอบด้วย 6 วิธี และปัจจัยที่สองคือสายพันธุ์สาหร่ายจำนวน 2 สายพันธุ์ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้วิธี analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีแบบพหุคูณ (least significant difference: LSD) โดยใช้โปรแกรม R จากผลการทดลองจำนวน 6 ซ้ำ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ศึกษาปริมาณน้ำมันจากตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กไอโซเลท A และ B ด้วยวิธีทำให้เซลล์แตกแบบขั้นตอนเดียว ได้แก่วิธี B, M และ U และการทำให้เซลล์แตกแบบสองขั้นตอน ได้แก่วิธี MB, MU และวิธี UB ผลการทดลองพบว่าวิธีทำให้เซลล์แตก ไอโซเลทของสาหร่าย และปฏิสัมพันธ์ของวิธีการทำให้เซลล์แตกและไอโซเลทของสาหร่ายมีผลทำให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 1)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันของสาหร่ายในแต่ละไอโซเลทโดยไม่คำนึงถึงวิธีการทำให้เซลล์แตกพบว่า สาหร่ายขนาดเล็กไอโซเลท A ให้ปริมาณน้ำมัน 8.44% สูงกว่าปริมาณน้ำมันจากสาหร่ายไอโซเลท B ที่ให้น้ำมันเท่ากับ 7.53% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้จากการทำให้เซลล์แตกแบบขั้นตอนเดียวและการทำให้เซลล์แตกแบบสองขั้นตอนทั้ง 6 วิธี โดยไม่คำนึงถึงไอโซเลทของสาหร่ายนั้น ๆ พบว่าการทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี M ให้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าการทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี U, MU, MB, B และวิธี UB โดยให้น้ำมันเท่ากับ 8.66, 8.27, 8.08, 8.07, 7.90 และ 6.93% ตามลำดับ และพบว่าวิธีการทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี M, U, MU และ MB มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตามการทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี M นั้นให้ปริมาณน้ำมันสูงที่สุดจาก 4 วิธีข้างต้น และยังมีข้อดีเหนือวิธีการอื่น ๆ คือ เป็นวิธีการทำให้เซลล์แตกแบบขั้นตอนเดียว ใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อนหาได้ง่าย สะดวก รวดเร็วและปลอดภัย วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด เหมาะสำหรับการสกัดน้ำมันจาก

สาหร่ายขนาดเล็ก นอกจากนี้การทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี M ยังให้ปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าวิธี B และ UB ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอีกด้วยว่าวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟเป็นวิธีการสกัดที่ง่ายที่สุดและมีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในสาหร่าย และยังสามารถปรับระดับความแรงหรือกำลังของเครื่องได้อย่างง่ายดาย ไม่ยุ่งยาก อีกทั้งสามารถนำไปปรับใช้ในการสกัดน้ำมันจากพืชและไขมันสัตว์ได้ (Mahesar *et al.*, 2008; Virot *et al.*, 2008)

เนื่องมาจากสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์จะมีโครงสร้างของผนังเซลล์ที่แตกต่างกัน จึงทำให้สาหร่ายแต่ละสายพันธุ์นั้นมีวิธีที่เหมาะสมในการทำให้เซลล์แตกแตกต่างกันไป สำหรับสาหร่ายไอโซเลท A พบว่าการทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี B เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ให้น้ำมันเท่ากับ 9.35% ซึ่งมีค่าปริมาณน้ำมันสูงกว่าวิธีการ M, U, MU และ UB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยให้ปริมาณน้ำมันเท่ากับ 8.32, 8.09, 8.04 และ 7.90% ตามลำดับ (ภาพที่ 1) อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการทำให้เซลล์แตกด้วยวิธีการ B กับวิธี MB มีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อคำนวณระยะเวลาและขั้นตอนการทำให้เซลล์แตกแล้ว การทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี B นั้น เป็นวิธีที่เสร็จในขั้นตอนเดียวและใช้เวลาน้อยกว่าการสกัดด้วยวิธี MB จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมแก่การเลือกไปใช้ในการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายไอโซเลท A แต่ในขณะเดียวกันวิธีการทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี B ไม่ใช่วิธีการที่ดีที่สุดสำหรับสาหร่ายไอโซเลท B เนื่องมาจากการทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี B ให้ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ อาจจะเนื่องมาจากองค์ประกอบของผนังเซลล์สาหร่ายที่แตกต่างกันจึงทำให้สาหร่ายทั้ง 2 ไอโซเลทมีวิธีที่เหมาะสมแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาถึงปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากสาหร่ายไอโซเลท B พบว่า การทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี M ให้ปริมาณน้ำมัน 9.00% สูงกว่าวิธี U, MU, MB, B และวิธี UB ที่ให้ปริมาณน้ำมันเท่ากับ 6.65, 8.08, 7.22, 6.45 และ 5.81% ตามลำดับ (ภาพที่ 1) นอกจากนี้การทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี M ให้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าวิธี MU, MB, B และวิธี UB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น

Table 1. Effect of cell disruption methods and isolate of microalgae on lipid content

Treatment		Lipid content (%)
Method		
	B	7.90 ± 1.88 ^b
	M	8.66 ± 0.94 ^a
	U	8.27 ± 0.59 ^{ab}
	MB	8.10 ± 1.10 ^{ab}
	MU	8.08 ± 0.56 ^{ab}
	UB	6.93 ± 1.25 ^c
	F test	*
Isolate		
	A	8.44 ± 0.77 ^a
	B	7.53 ± 1.43 ^b
	F test	*
Method*Isolate		
	BA	9.35 ± 0.44 ^a
	BB	6.45 ± 1.60 ^{fg}
	MA	8.32 ± 1.12 ^{bcd}
	MB	9.00 ± 0.66 ^{ab}
	UA	7.90 ± 0.46 ^{de}
	UB	8.65 ± 0.45 ^{abcd}
	MBA	8.93 ± 0.37 ^{abc}
	MBB	7.22 ± 0.88 ^{ef}
	MUA	8.08 ± 0.51 ^{cde}
	MUB	8.09 ± 0.65 ^{cde}
	UBA	8.04 ± 0.32 ^{de}
	UBB	5.81 ± 0.60 ^g
	F test	*

*Significant difference at ($P < 0.05$)

95% แต่มีค่าไม่แตกต่างกันกับการทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี U อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี M และวิธี U แตกต่างกันอย่างมาก โดยการทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี M ใช้เวลาน้อยกว่า 5 นาที อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่หาซื้อได้ง่าย ราคาถูก เมื่อเทียบกับการทำให้เซลล์แตกด้วยวิธี U ซึ่งใช้เวลามากถึง 40 นาที และเครื่องอัลตราโซนิกยังมีราคาที่สูงกว่าด้วย ดังนั้นวิธีการทำให้เซลล์แตกด้วยไมโครเวฟ จึงเหมาะสมแก่การนำไปใช้ในการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายไฮโซเลท B ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Prabakaran and Ravindran (2011)

ที่ได้รายงานว่าคุณสมบัติในการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสาหร่ายและวิธีที่ใช้ในการทำให้เซลล์แตก และจากการทดลองของ Lee *et al.* (2010) ที่ได้สกัดน้ำมันจากสาหร่ายพันธุ์ *Botryococcus* sp. และ *Chlorella vulgaris* โดยใช้ bead beating ที่ความเร็ว 2,800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที พบว่า *Botryococcus* sp. มีประสิทธิภาพมากพบปริมาณน้ำมันถึง 28.1% ในขณะที่ *C. vulgaris* มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าพบปริมาณน้ำมันเพียง 7.9%

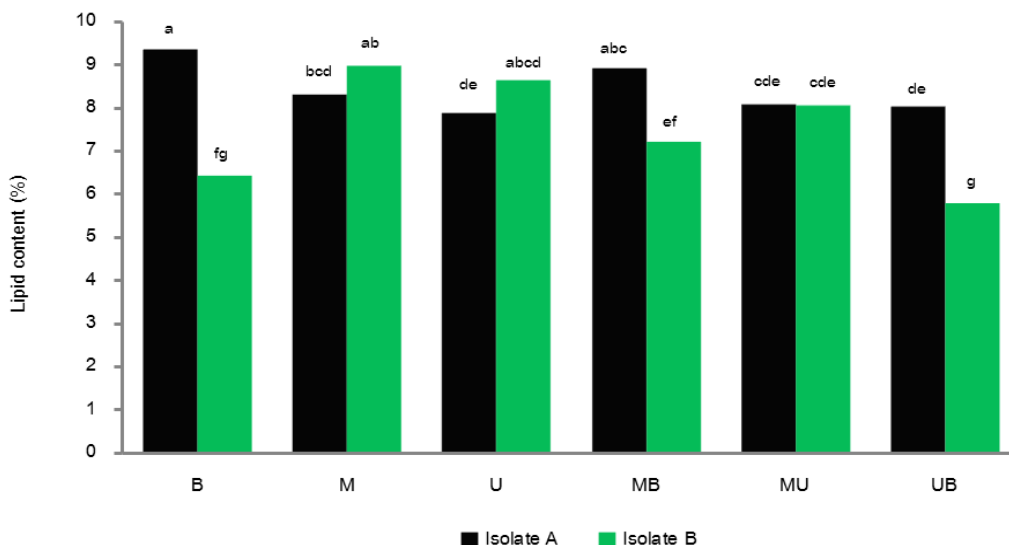


Figure 1. Lipid content according to interaction between microalgal isolates and disruption methods; bead vortexing (B), microwave (M), ultrasonic (U), microwave and bead vortexing (MB), microwave and ultrasonic (MU) and ultrasonic and bead vortexing (UB). The different letters above the bars indicate a significant difference at the 95% confidence level

สรุป

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันโดยไม่คำนึงถึงวิธีในการทำให้เซลล์แตก พบว่า สาหร่ายไอโซเลท A ให้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าสาหร่ายไอโซเลท B อย่างมีนัยสำคัญ และวิธีทำให้เซลล์แตกมีปฏิสัมพันธ์กับไอโซเลทของสาหร่ายส่งผลให้ ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องมาจากสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์มีองค์ประกอบของผนังเซลล์และโครงสร้างหลายแบบ วิธีการที่เหมาะสมในการทำให้เซลล์แตกจากสาหร่ายไอโซเลท A คือ วิธีการใช้เม็ดปัด ซึ่งให้ปริมาณน้ำมันเท่ากับ 9.35% สูงกว่าวิธีอื่นๆ ในขณะที่วิธีการทำให้เซลล์แตกด้วยไมโครเวฟเหมาะสมสำหรับสาหร่ายไอโซเลท B ที่ให้ปริมาณน้ำมันเท่ากับ 9.00% จะเห็นได้ว่าวิธีการทำให้เซลล์แตกที่ดีที่สุดกับสาหร่ายสายพันธุ์หนึ่งอาจจะไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุดกับสาหร่ายอีกสายพันธุ์ ดังนั้นทุก ๆ ครั้งในการคัดแยกสาหร่ายสายพันธุ์ใหม่ ๆ จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษา และคัดเลือกวิธีการทำให้เซลล์แตกที่เหมาะสมกับ

สาหร่ายสายพันธุ์นั้น ๆ เพื่อให้ได้น้ำมันสูงที่สุด ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายมากที่สุด อย่างไรก็ตาม การทดลองครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้น จำเป็นต้องปรับปรุงและพัฒนาวิธีการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยคำนึงถึงต้นทุน เวลา และปริมาณน้ำมันเป็นหลัก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยเพื่อพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และทุนอุดหนุนวิจัยพืชไร่ 2560 ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย ขอขอบคุณ ผศ.ดร. จินตนา อันอาตม์งาม และ ผศ.ดร. ชัยณรงค์ รัตนกริษา กุล ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเซลล์ เนื้อเยื่อพืช และการถ่ายยีน ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- มนัสนันท์ นพรัตน์ไผ่ตรี อณัญญา ปานทอง และ
วรางคณา กิจพิพิธ. 2558. ผลของการเสริม
สาหร่าย *Schizochytrium* sp. ในอาหารไก่ไข่
ต่อการย่อยได้ปรากฏของโภชนะ สมรรถภาพ
การผลิ ต และคุณภาพของไข่ไก่. วารสารเกษตร
31(2): 107-120.
- รัตนภรณ์ ลีสิงห์. 2555. การคัดเลือกสาหร่ายสีเขียว
ขนาดเล็กที่ผลิตลิปิดสูงจากตัวอย่างน้ำจืดใน
พื้นที่เขื่อนสิรินธรจังหวัดอุบลราชธานี. รายงาน
วิจัยฉบับสมบูรณ์. คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 44 หน้า.
- สรวิศ เผ่าทองสุข. 2543. สาหร่าย: ศักยภาพการวิจัยและ
พัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายใน
ประเทศไทย. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 356 หน้า.
- Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae.
Biotechnol. Adv. 25(3): 294-306.
- Harris, E.H. 1989. The *Chlamydomonas* Sourcebook:
A Comprehensive Guide to Biology and
Laboratory Use. Academic Press, San
Diego, 780 p.
- Lee, J.Y., C. Yoo, S.Y. Jun, C.Y. Ahn and H.M. Oh.
2010. Comparison of several methods for
effective lipid extraction from microalgae.
Bioresource Technol. 101(1): S75-S77.
- Mahesar, S.A., S.T.H. Sherazi, K. Abro, A. Kandhro,
M.I. Bhanger, F.R. van de Voort and J.
Sedman. 2008. Application of microwave
heating for the fast extraction of fat content
from the poultry feeds. Talanta 75(5): 1240-
1244.
- Prabakaran, P. and A.D. Ravindran. 2011. A
comparative study on effective cell
disruption methods for lipid extraction from
microalgae. Letters in Applied Microbiology
53(2): 150-154.
- Ranjith Kumar, R., P. Hanumantha Rao and M.
Arumugam. 2015. Lipid extraction methods
from microalgae: a comprehensive review.
Front. Energy Res. 2(61): doi:
10.3389/fenrg.2014.00061.
- Scragg, A.H., J. Morrison and S.W. Shales. 2003.
The use of a fuel containing *Chlorella*
vulgaris in a diesel engine. Enzyme Microb.
Technol. 33(7): 884-889.
- Sheehan, J., T. Dunahay, J. Bebbemann and P.
Roessler. 1998. A Look Back at the U.S.
Department of Energy's Aquatic Species
Program: Biodiesel from Algae. National
Renewable Energy Laboratory, Golden,
Colorado.
- Tanadul, O., J.S. VanderGheynst, D.M. Beckles,
A.L.T. Powell and J.M. Labavitch. 2014. The
impact of elevated CO₂ concentration on
the quality of algal starch as a potential
biofuel feedstock. Biotechnol. Bioeng.
111(7): 1323-1331.
- Viro, M., V. Tomao, C. Ginies, F. Visinoni and F.
Chemat. 2008. Microwave-integrated
extraction of total fats and oils. Journal of
Chromatography A 1196-1197: 57-64.

การประเมินคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีจากหญ้าไชย่งต่อการยับยั้งการเติบโต ของวัชพืชในสภาพแปลง

Field Assessment of Allelopathy Properties of *Rottboellia cochinchinensis* on Growth Inhibition of Weeds

อภิรัฐ บัณฑิต¹ และ ทศพล พรพรหม^{2*}
Apirat Bundit¹ and Tosapon Pornprom^{2*}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

²ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

²Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon
Pathom 73140, Thailand

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

(Received: 18 October 2016; Accepted: 27 January 2017)

Abstract: Farmers in Chae Hom, Lampang, northern Thailand, have been cultivating itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) as a mulching material to control weeds in the vegetable fields. Field observation of an allelopathy properties of itchgrass grown at farmer's field was conducted. This study investigated the suspected allelopathic influence of itchgrass on the densities of sedge, grasses and broad-leaved weeds. The allelopathy properties of itchgrass-infested soil on the growth of test plants was tested. Results showed that the itchgrass-infested soil provided better control of some weed species than the itchgrass-uninfested soil. Cultivated itchgrass decreased the weed density in the vegetable fields. Field assessment of the allelopathy properties of *Rottboellia cochinchinensis* on the growth inhibition of test plants showed that the itchgrass-infested soil also highly inhibited the growth of test plants such as *Bidens pilosa* and *Echinochloa crus-galli*. Furthermore, the physicochemical properties of the itchgrass-infested soil and the itchgrass-uninfested soil was determined. This study was no obvious difference in the physicochemical properties between the itchgrass-infested soil and the itchgrass-uninfested soils. However, the organic matter in the itchgrass-infested soil was higher than those in the itchgrass-uninfested soil. These results suggested that itchgrass had an allelopathic influence on density and growth of weeds in the field conditions. Therefore, allelopathic activity of itchgrass will provide information crucial in enabling improvements in the basis of weed control to reduce the use of herbicide in sustainable agricultural systems.

Keywords: Allelopathy, bioassay test, infested soil, itchgrass, soil property, weed density

บทคัดย่อ: เกษตรกรในเขตพื้นที่ อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง ภาคเหนือของประเทศไทย ได้มีการนำหญ้าไย่งมาใช้ในลักษณะของการคลุมด้วยหญ้า เพื่อควบคุมวัชพืชในแปลงปลูกพืชผัก จึงได้ทำการศึกษาคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีจากหญ้าไย่งในสภาพแปลงเกษตรกรที่มีการใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช โดยทำการประเมินคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีของหญ้าไย่งต่อความหนาแน่นจำนวนประชากรวัชพืชพวกกก พวกหญ้า และใบกว้าง รวมทั้งได้ทำการทดสอบคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีของดินที่ใช้หญ้าไย่งในการควบคุมวัชพืชต่อการเติบโตของพืชทดสอบบางชนิด พบว่า ในสภาพแปลงเกษตรกรที่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช มีการควบคุมวัชพืชได้ดีกว่าแปลงที่ไม่มีการใช้หญ้าไย่ง จะเห็นได้ว่า การใช้หญ้าไย่งในลักษณะของการคลุมด้วยหญ้า ส่งผลทำให้ความหนาแน่นของประชากรวัชพืชในแปลงปลูกพืชผักลดลง การศึกษาคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีของหญ้าไย่งในดินต่อการยับยั้งการเติบโตของพืชทดสอบ พบว่า ดินที่ใช้หญ้าไย่งมีผลยับยั้งการเติบโตของพืชทดสอบบางชนิด ได้แก่ ก้านจ้าววดอกใหญ่ และหญ้าข้าวนก เป็นต้น นอกจากนี้ เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินระหว่างดินที่ใช้และไม่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ดินที่มีการใช้หญ้าไย่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่าดินที่ไม่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช แสดงให้เห็นว่า หญ้าไย่งมีคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีที่มีผลต่อความหนาแน่นและการเติบโตของวัชพืชในสภาพแปลงปลูกพืช ดังนั้น กิจกรรมทางอัลลีโลพาธีของหญ้าไย่งจะเป็นข้อมูลที่สำคัญในการควบคุมวัชพืช เพื่อลดการใช้สารป้องกันกำจัดวัชพืชในระบบการเกษตรแบบยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: อัลลีโลพาธี การทดสอบทางชีววิธี ดินปนเปื้อน หญ้าไย่ง คุณสมบัติดิน ความหนาแน่นของวัชพืช

คำนำ

อัลลีโลพาธี (allelopathy) เป็นปรากฏการณ์ที่พืชชนิดหนึ่งปลดปล่อยสารบางชนิด (สารอัลลีโลพาธิค) ออกมา แล้วไปมีผลยับยั้งการงอกและการเติบโตของพืชชนิดอื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียง (Duke, 2015; Kobayashi, 2004) ซึ่งมีรายงานการศึกษาศักยภาพทางอัลลีโลพาธีต่อการยับยั้งการเติบโตของวัชพืชกันอย่างกว้างขวาง เช่น บัวตอง (Tongma *et al.*, 2001) กูดปัด (Tet-Vun and Ismail, 2006) ทานตะวัน และ ข้าวฟ่าง (Mushtaq *et al.*, 2010) เป็นต้น การศึกษาศักยภาพทางอัลลีโลพาธีสำหรับการควบคุมวัชพืช จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาระบบการผลิตทางการเกษตร ที่สามารถลดหรือทดแทนการใช้สารป้องกันกำจัดวัชพืชลงได้ ส่งผลทำให้ได้ผลผลิตที่มีความปลอดภัยทางด้านอาหารและสิ่งแวดล้อม (food and environmental safety) มากยิ่งขึ้นต่อไป

หญ้าไย่ง (*Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D. Clayton) เป็นวัชพืชวงศ์หญ้า ซึ่งจัดเป็น 1 ใน 18 วัชพืชร้ายแรงของโลก มีถิ่นกำเนิดแถบเขตร้อนชื้นและเขตกึ่งร้อน (Alloub *et al.*, 2005; Millhollon and Burner, 1993; Hall and Patterson, 1992) พบการ

ระบาดมากในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง ข้าวโพด อ้อย และ สวนผลไม้ (Lejeune *et al.*, 1994; Strahan *et al.*, 2000; Lencse and Griffin, 1991; Meksawat and Pomprom, 2010) อย่างไรก็ตาม เกษตรกรในเขตพื้นที่ อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง ได้มีการนำหญ้าไย่งมาใช้ควบคุมวัชพืชในลักษณะของการคลุมด้วยหญ้า (mulch) ก่อนปลูกพืชผักชนิดต่าง ๆ โดยที่เกษตรกรจะหว่านเมล็ดหญ้าไย่งลงพื้นที่เพาะปลูกในช่วงต้นฤดูฝน แล้วรอให้ต้นหญ้าไย่งเจริญเติบโตติดเมล็ดที่สมบูรณ์ จนกระทั่งเมล็ดหญ้าไย่งร่วงลงสู่ดิน เพื่อที่จะให้เมล็ดหญ้าไย่งอยู่ในดินและงอกในต่อไป จากนั้น เกษตรกรจึงล้มต้นหญ้าไย่งเพื่อคลุมดิน แล้วปลูกพืชผักในต้นฤดูหนาว วิธีปฏิบัติของเกษตรกรในลักษณะดังกล่าว ส่งผลทำให้มีวัชพืชขึ้นแข่งขันในแปลงปลูกพืชผักน้อยมาก ในขณะที่พืชผักชนิดต่าง ๆ ยังสามารถเจริญเติบโตได้ดีจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งคาดว่า หญ้าไย่งมีการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาธิคลงสู่ดิน ซึ่งไปมีผลยับยั้งการเติบโตของวัชพืช นอกจากนี้ ได้มีรายงานว่า สารสกัดจากหญ้าไย่งมีผลทางอัลลีโลพาธิคต่อพืชทดสอบ โดยมีผลยับยั้งการงอกและการเติบโตของพืชทดสอบ ได้แก่ ข้าว (Casini *et al.*, 1998) หัวผักกาด (Kobayashi *et al.*, 2008) หญ้าข้าวนก ก้านจ้าววดอก

ใหญ่ และ ผักกาดหอม พันธุ์ OP (Meksawat and Pomprom, 2010) เป็นต้น

ส่วนใหญ่กิจกรรมทางอัลลีโลพาธิมักจะเกิดขึ้นในสภาพธรรมชาติ หลังจากที่พืช (ผู้ให้) มีการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาธิลงสู่ดิน ซึ่งจะไม่มีผลยับยั้งการเติบโตและพัฒนาการของพืชชนิดอื่น (ผู้รับ) ที่อยู่ข้างเคียง ซึ่งกิจกรรมทางอัลลีโลพาธิในดินอาจจะส่งผลต่อคุณสมบัติดินบางประการ (Kobayashi, 2004) ดังนั้น เพื่อให้ทราบถึงกิจกรรมทางอัลลีโลพาธิของหญ้าไย่งในสภาพแปลงเกษตรกร การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธิจากหญ้าไย่งในดิน ว่ามีผลต่อการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของวัชพืชบางชนิดหรือไม่ โดยประเมินความหนาแน่นจำนวนประชากรของวัชพืชในแปลงเกษตรกรที่มีการใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช และประเมินคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธิของหญ้าไย่งในดินต่อการเติบโตของพืชทดสอบบางชนิด ตลอดจนศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในแปลงเกษตรกรที่มีการใช้หญ้าไย่งในการควบคุมวัชพืช โดยเชื่อว่า กิจกรรมทางอัลลีโลพาธิจากหญ้าไย่งที่มีการปลดปล่อยลงสู่ดิน อาจจะมีผลต่อการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของวัชพืชบางชนิดได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการจัดการวัชพืชในการผลิตพืชผักได้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ความหนาแน่นของวัชพืชในแปลงเกษตรกรที่มีการใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช

ศึกษาความหนาแน่นของวัชพืชจากแปลงปลูกพืชผัก ได้แก่ กวางตุ้ง และคะน้า ของเกษตรกรในเขตพื้นที่ อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง (CH-LP) โดยประเมินจำนวนและชนิดของประชากรวัชพืชที่ขึ้นในแปลงเกษตรกรที่มีการใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช (itchgrass-infested soil) อย่างต่อเนื่องมากกว่า 5 ปี และแปลงเกษตรกรที่ไม่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช (itchgrass-uninfested soil) มาก่อนอย่างละ 4 แปลง ซึ่งแปลงเกษตรกรที่มีการใช้หญ้าไย่งจะมีการกำจัดวัชพืชโดยใช้แรงงานคนเพียงอย่างเดียว ส่วนแปลงเกษตรกรที่ไม่ใช้หญ้าไย่งจะมีการกำจัดวัชพืช

แบบผสมผสาน โดยใช้ฟางข้าวคลุมดิน แรงงานคน การไถพรวน และสารป้องกันกำจัดวัชพืชร่วมกัน สํารวจความหนาแน่นจำนวนประชากรของวัชพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ วัชพืชพวกหญ้า (grasses) วัชพืชใบกว้าง (broad-leaved) และ พวกกก (sedge) สุ่มเก็บต้นวัชพืชในกรอบสี่เหลี่ยม (quadrat) ขนาด 1x1 เมตร จำนวน 4 จุด ในแต่ละแปลง จากนั้น นับจำนวนต้นวัชพืชต่อพื้นที่ ซึ่งมีหน่วยเป็นจำนวนต้นต่อตารางเมตร (plant/m²) ตลอดจนจำแนกชนิดของวัชพืชที่อยู่ภายในกรอบสี่เหลี่ยม แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของจำนวนต้นวัชพืชต่อพื้นที่ในแปลงที่ใช้และไม่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช

ประเมินคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธิของหญ้าไย่งในดินต่อการยับยั้งการเติบโตของพืชทดสอบ

ศึกษาคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธิของหญ้าไย่งในดินต่อการเติบโตของพืชทดสอบบางชนิด โดยการเปรียบเทียบความเป็นพิษของหญ้าไย่งในดินที่มีต่อพืชทดสอบระหว่างดินที่มีและไม่มีการใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืชมาก่อน ซึ่งจะใช้ดินที่ไม่มีการใช้หญ้าไย่งจากแปลงทดลองของภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม (KPS-NP) เป็นตัวอย่างชุดดินเปรียบเทียบ ซึ่งดิน KPS-NP มีลักษณะเป็นดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ระดับความชื้นจุสนาม 21.5 เปอร์เซ็นต์ ระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร 7.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าปฏิกิริยาดิน 6.4 ค่าการนำไฟฟ้า 0.8 dS/m และปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.6 เปอร์เซ็นต์ สุ่มเก็บตัวอย่างดินโดยประยุกต์ตามวิธีการของ Meksawat and Pomprom (2010) ที่ระดับความลึก 0 ถึง 10 เซนติเมตร จากผิวดินเนื่องจากเกษตรกรใช้หญ้าไย่งในลักษณะของการคลุมด้วยหญ้า ซึ่งเป็นไปได้ว่า หญ้าไย่งอาจจะมีการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาธิได้ทั้งทางรากและทางลำต้น ส่งผลให้สารอัลลีโลพาธิจะคงอยู่ในดินที่ระดับความลึกของรากหญ้าไย่ง และที่ผิวดินซึ่งถูกปกคลุมด้วยต้นหญ้าไย่ง แล้วนำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ย่อยดินให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 0.5 มิลลิเมตร ก่อนนำไปใช้ในการทดลองต่อไป นอกจากนี้ เตรียมผงบดละเอียดหญ้าไย่ง (itchgrass powder) โดยนำ

ต้นหญ้าไย่งระยะเริ่มออกดอกมาฝั่งให้แห้งในที่ร่ม ตัดแยกส่วนของต้นหญ้าไย่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนลำต้นเหนือดิน ประกอบด้วย ลำต้นและใบ (shoot part) และส่วนราก (root part) และบดเป็นผงบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียดไฟฟ้า (Mikro-Feinmuhle-Culatti, Type MFC; Janke and Kunkel, Staufen, Germany) เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อเตรียมไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ มี 5 กรรมวิธี โดยประยุกต์ตามกรรมวิธีของ Kobayashi *et al.* (2008) ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 ตัวอย่างดิน อ.แจ่ม จ.ลำปาง จากแปลงที่ไม่มีการใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช (CH-LP uninfested soil) กรรมวิธีที่ 2 ตัวอย่างดิน อ.แจ่ม จ.ลำปาง จากแปลงที่มีการใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช (CH-LP infested soil) กรรมวิธีที่ 3 ตัวอย่างดิน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม จากแปลงที่ไม่มีการใช้หญ้าไย่ง (KPS-NP uninfested soil) กรรมวิธีที่ 4 ตัวอย่างดิน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม จากแปลงที่ไม่มีการใช้หญ้าไย่ง ผสมผงบดละเอียดส่วนลำต้นเหนือดิน ในอัตราส่วน ดิน 1 กรัม ต่อ ผงบดละเอียด 0.1 กรัม [KPS-NP uninfested soil + shoot powder 0.1 g/g (soil)] และกรรมวิธีที่ 5 ตัวอย่างดิน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม จากแปลงที่ไม่มีการใช้หญ้าไย่ง ผสมผงบดละเอียดส่วนราก ในอัตราส่วน ดิน 1 กรัม ต่อ ผงบดละเอียด 0.1 กรัม [KPS-NP uninfested soil + root powder 0.1 g/g (soil)] ทดสอบทางชีววิธี โดยนำตัวอย่างดิน 15 กรัม ของแต่ละกรรมวิธี ใส่ลงจานแก้วทดลอง ปรับความชื้นดินด้วยน้ำกลั่น ให้ดินมีความชื้นอยู่ในระดับเต็มประสิทธิภาพความจุน้ำ (maximum water holding capacity; MWHC) (Tongma *et al.*, 2001) จึงนำต้นอ่อนของพืชทดสอบ 3 ชนิด ได้แก่ ก้านจ้าวดอกใหญ่ (*Bidens pilosa* L. *radiata* Sch. Biq.) หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* L. P. Beauv.) และ ข้าว พันธุ์ กข6 (*Oryza sativa* L. var. RD6) ที่มีความยาวรากไม่เกิน 2 มิลลิเมตร วางลงบนผิวดินในจานแก้วทดลอง จานละ 25 ต้น จากนั้น นำไปไว้ในตู้เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดความยาวลำต้นเหนือดินและรากของพืชทดสอบ ที่ระยะเวลา 5 วันหลังจากทดสอบ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบ

ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fisher's protected LSD test โดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 2.9.1 (R Development Core Team, 2009)

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ใช้และไม่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช

การศึกษาความแตกต่างระหว่างคุณสมบัติดินจากแปลงที่ใช้และไม่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติของดินทางกายภาพและทางเคมี โดยเลือกตัวแทนแปลงและเก็บตัวอย่างดินของแปลงเกษตรกรที่ใช้และไม่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช อย่างละ 1 แปลง สุ่มแปลงละ 15 จุด ให้ได้ปริมาณ 2 กิโลกรัมต่อแปลง โดยประยุกต์วิธีการเก็บตัวอย่างดินจาก Meksawat and Pomprom (2010) จากนั้น นำไปใช้วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ในห้องปฏิบัติการต่อไป

1. การวิเคราะห์เนื้อดิน (soil texture) ทำการประเมินโดยวิธี pipette method ระดับความชื้นจุสนาม (field capacity; FC) ของดิน โดยทำตัวอย่างดินให้อิ่มตัวแล้วใช้ความดันอากาศที่ 0.3 bar ผลักดันน้ำออกจากดินด้วยเครื่อง pressure plate apparatus แล้วนำดินไปอบหาความชื้น และระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point; PWP) ทำตัวอย่างดินให้อิ่มตัวแล้วใช้ความดันอากาศที่ 15 bar ผลักดันน้ำออกจากดินด้วยเครื่อง pressure plate apparatus จากนั้น นำดินไปอบหาความชื้นต่อไป

2. การวิเคราะห์ค่าปฏิกิริยาดิน (soil pH) วัดโดยใช้เครื่อง pH meter ด้วยอัตราส่วนดิน: น้ำ เท่ากับ 1:1 ซึ่งประยุกต์ตามวิธีการของทัศนีย์ และ จงรักษ์ (2542)

3. การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity; ECe) วัดโดยใช้เครื่อง conductivity meter ด้วยการทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วจึงทำการวัดค่า ซึ่งประยุกต์ตามวิธีการของทัศนีย์ และ จงรักษ์ (2542)

4. การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter; OM) ซึ่งประยุกต์ตามวิธีการของ Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ความหนาแน่นของวัชพืชในแปลงเกษตรกรรมที่มีการ ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช

จากการสำรวจความหนาแน่นของวัชพืชในแปลงเกษตรกรรม ที่มีการใช้และไม่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช พบว่า แปลงที่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืชมีความหนาแน่นของประชากรวัชพืชแตกต่างกันกับแปลงที่ไม่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช (ภาพที่ 1) โดยแปลงที่ไม่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช จะมีความหนาแน่นของประชากรวัชพืชมากถึง 421.1 ต้นต่อตารางเมตร ซึ่งวัชพืชที่พบประกอบด้วย วัชพืชพวงหญ้า 333.7 ต้นต่อตารางเมตร วัชพืชใบกว้าง 53.7 ต้นต่อตารางเมตร และพวงกก 33.7 ต้นต่อตารางเมตร ในขณะที่แปลงที่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืชมีความหนาแน่นของประชากรวัชพืชเพียง 16.7 ต้นต่อตารางเมตรเท่านั้น ซึ่งวัชพืชที่พบประกอบด้วย วัชพืชพวงหญ้า 3.3 ต้นต่อตารางเมตร วัชพืชใบกว้าง 7.7 ต้นต่อตารางเมตร และพวงกก 5.7 ต้นต่อตารางเมตร เมื่อจำแนกชนิดวัชพืช พบว่า จำนวนต้นวัชพืชพวงหญ้า ที่พบมากสุดในแปลงที่ไม่มีการใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช ได้แก่ หญ้าเห็บ (276.7 ต้นต่อตารางเมตร) หญ้าไย่ง (17.7 ต้นต่อตารางเมตร) หญ้าแพรง (16.0 ต้นต่อตารางเมตร) หญ้าขน (10.0 ต้นต่อตารางเมตร) หญ้าตีนนก (9.0 ต้นต่อตารางเมตร) หญ้านกสีชมพู (3.3 ต้นต่อตารางเมตร)

และหญ้าปากควาย (1.0 ต้นต่อตารางเมตร) ตามลำดับ ส่วนวัชพืชใบกว้าง ได้แก่ ล้มกบ (20.0 ต้นต่อตารางเมตร) หญ้าลิ้นงู (19.4 ต้นต่อตารางเมตร) ก้นจ้ำขาวดอกใหญ่ (8.3 ต้นต่อตารางเมตร) และ ไมยราบ (6.0 ต้นต่อตารางเมตร) ตามลำดับ ในขณะที่วัชพืชพวงกก จะพบแฉ่วหมู (33.7 ต้นต่อตารางเมตร) เพียงชนิดเดียว

ผลการสำรวจความหนาแน่นของวัชพืช แสดงให้เห็นว่า แปลงเกษตรกรรมที่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช เป็นเวลานาน มากกว่า 5 ปี สามารถควบคุมวัชพืชชนิดต่าง ๆ (เช่น วัชพืชพวงหญ้า ใบกว้าง และพวงกก) ได้ดีกว่าแปลงที่ไม่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช เนื่องจากแปลงเกษตรกรรมที่ใช้หญ้าไย่งมีความหนาแน่นของวัชพืชน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ใช้หญ้าไย่ง ซึ่งเป็นไปได้ว่าหญ้าไย่งมีการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาติกลงสู่ดินได้หลายทาง เช่น การปลดปล่อยทางราก การชะล้างจากใบพืช และการย่อยสลายจากส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช เป็นต้น (Kobayashi, 2004) สารอัลลีโลพาติที่ถูกปลดปล่อยลงสู่ดินจะมีผลยับยั้งการเติบโตของวัชพืชข้างเคียง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Tet-Vun and Ismail (2006) ที่ได้รายงานว่า ดินที่มีการปนเปื้อนกูดปิด ส่งผลยับยั้งการเติบโตของวัชพืชได้ดีกว่าดินที่ไม่มีการปนเปื้อน นอกจากนี้ หญ้าไย่งอาจจะมีการแพร่ระบาดไปยังแปลงข้างเคียงของเกษตรที่ไม่มีการใช้หญ้าไย่งในการควบคุมวัชพืชได้ เนื่องจากหญ้าไย่งจัดเป็นวัชพืชที่มี

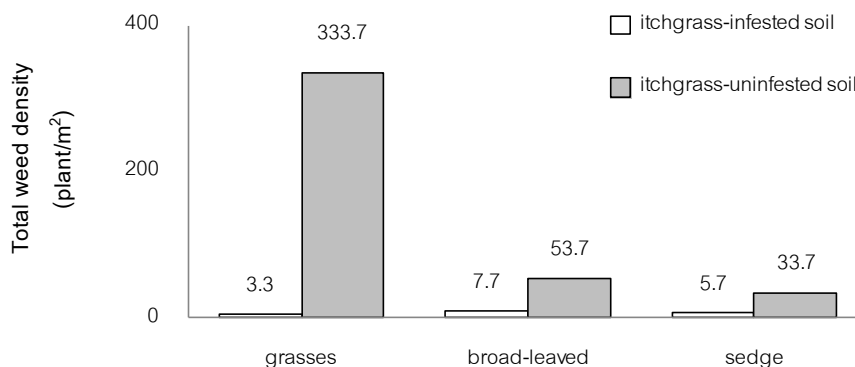


Figure 1. Weed density from the itchgrass-infested and uninfested soils at farmer's field in Chae Hom, Lampang

ความสามารถในการแพร่กระจายและแข่งขันกับพืชปลูกได้ดี (Lejeune *et al.*, 1994; Strahan *et al.*, 2000) หรือเมล็ดอาจจะปนเปื้อนไปกับเครื่องมือทางการเกษตรได้ อย่างไรก็ตามการมีประชากรต่อพื้นที่เพียงเล็กน้อยจะไม่ส่งผลทางทางอัลลีโลพาธีต่อพืชข้างเคียงได้อย่างชัดเจน ดังนั้น ในการขั้นตอนของการศึกษาวิจัยต่อไป จะทำการประเมินคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีจากหญ้าไย่งในดินที่มีต่อการยับยั้งการเติบโตของพืชทดสอบบางชนิดในห้องปฏิบัติการต่อไป

ประเมินคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีของหญ้าไย่งในดินต่อการยับยั้งการเติบโตของพืชทดสอบ

การประเมินคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีจากหญ้าไย่งในดินที่มีต่อการเติบโตของพืชทดสอบบางชนิดโดยนำตัวอย่างดินที่ใช้และไม่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืชมาทดสอบทางชีววิธีกับพืชทดสอบ 3 ชนิด ได้แก่ ก้นจ้าวขาวดอกใหญ่ หญ้าข้าวนก และ ข้าว พันธุ์ กข6 พบว่า ตัวอย่างดิน CH-LP และดิน KPS-NP ที่ใช้หญ้าไย่งได้แก่ ตัวอย่างดิน CH-LP ที่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช และดิน KPS-NP ที่ผสมผงบดละเอียดจากส่วนลำต้นเหนือดินและส่วนรากของหญ้าไย่ง มีผลยับยั้งการเติบโตของพืชทดสอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ แต่ในทางตรงกันข้าม พบว่า ตัวอย่างดิน CH-LP และดิน KPS-NP ที่ใช้หญ้าไย่ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดิน CH-LP และ KPS-NP ที่ไม่ใช้หญ้าไย่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ กล่าวคือ ตัวอย่างดิน CH-LP และดิน KPS-NP ที่ใช้หญ้าไย่ง มีผลยับยั้งความยาวลำต้นเหนือดินในช่วง 60-75 เปอร์เซนต์ และความยาวรากในช่วง 40-50 เปอร์เซนต์ ของก้นจ้าวขาวดอกใหญ่นอกจากนี้ ตัวอย่างดิน CH-LP และดิน KPS-NP ที่ใช้หญ้าไย่ง มีผลยับยั้งความยาวลำต้นเหนือดินและความยาวรากของหญ้าข้าวนก ในช่วง 40-55 เปอร์เซนต์ อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างดิน CH-LP และดิน KPS-NP ที่ใช้หญ้าไย่ง ไม่มีผลยับยั้งความยาวลำต้นเหนือดินและความยาวรากของข้าว พันธุ์ กข6 ในทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ใช้หญ้าไย่ง (ภาพที่ 2)

เมื่อพิจารณาจากคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีจากหญ้าไย่งในดินที่มีต่อการเติบโตของพืชทดสอบ จะเห็นว่า ดินที่ใช้หญ้าไย่งควบคุมวัชพืช มีผลยับยั้งการเติบโตของพืชทดสอบบางชนิด ได้แก่ ก้นจ้าวขาวดอกใหญ่ และหญ้าข้าวนก อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Tongma *et al.* (2001) ได้รายงานไว้ว่า บัวตองมีการปลดปล่อยสารอัลลีโลพาธีลงสู่ดิน และมีผลยับยั้งการเติบโตของพืชทดสอบ ต่อมา Kobayashi *et al.* (2008) ได้รายงานไว้ว่า ผงบดละเอียดหญ้าไย่งสามารถปลดปล่อยสารอัลลีโลพาธีลงสู่ดิน ซึ่งมีผลทำให้การเติบโตของพืชทดสอบลดลง จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาได้รายงานไว้ว่า พืชใบเลี้ยงคู่จะมีความอ่อนแอต่อสารอัลลีโลพาธีมากกว่าใบเลี้ยงเดี่ยว (Barnes and Putnam, 1987; Norsworthy, 2003) อย่างไรก็ตาม ดินที่ใช้หญ้าไย่งไม่มีผลยับยั้งการเติบโตของข้าว พันธุ์ กข6 ในทางสถิติ ซึ่งขัดแย้งกับการรายงานของ Meksawat and Pomprom (2010) อาจจะเป็นไปได้ว่า ตัวอย่างดินมีการตกค้างของสารอัลลีโลพาธีในระดับความเข้มข้นที่ต่ำ จึงไม่มีผลยับยั้งการเติบโตของ ข้าว พันธุ์ กข6 อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ตัวอย่างดิน KPS-NP ที่นำมาใช้ประเมินคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีจากหญ้าไย่งที่มีต่อการยับยั้งการเติบโตของวัชพืชบางชนิด โดยนำมาผสมผงบดละเอียดหญ้าไย่ง อาจมีคุณสมบัติของดินบางประการที่แตกต่างกับตัวอย่างดิน CH-LP อย่างไรก็ตาม ไม่พบว่า มีผลกระทบต่อการเติบโตของพืชทดสอบเนื่องจากตัวอย่างดิน CH-LP ที่ไม่ใช้หญ้าไย่ง และดิน KPS-NP ที่ไม่ผสมผงบดละเอียดหญ้าไย่ง ไม่ส่งผลยับยั้งการเติบโตของพืชทดสอบเช่นเดียวกัน อีกทั้งตัวอย่างดิน CH-LP ที่ใช้หญ้าไย่ง และดิน KPS-NP ที่ผสมผงบดละเอียดหญ้าไย่ง ยังมีผลยับยั้งการเติบโตของพืชทดสอบเหมือนกันอีกด้วย แสดงให้เห็นว่า คุณสมบัติของดิน KPS-NP ที่มีความแตกต่างบางประการไม่มีผลต่อการนำมาใช้ประเมินคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีจากหญ้าไย่ง อย่างไรก็ตาม กิจกรรมทางอัลลีโลพาธีของหญ้าไย่งในดินอาจจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการของดิน ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในการทดลองต่อไป

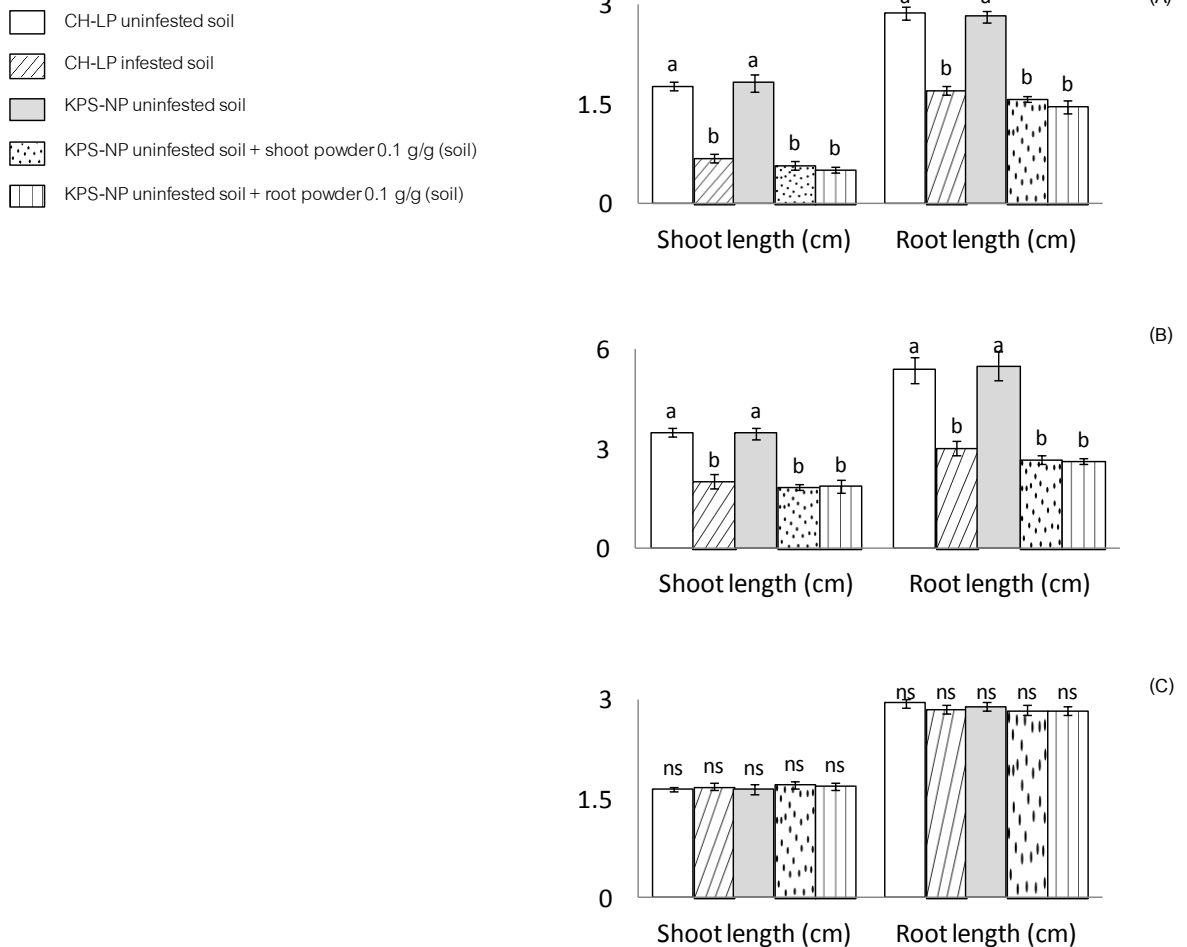


Figure 2. Allelopathic effects of itchgrass on the growth inhibition of *Bidens pilosa* (A), *Echinochloa crus-galli* (B) and *Oryza sativa* var. RD6 (C) in soil. Data are presented as the mean and standard errors, least significant difference indicates significant difference between the treatment (ns, not significant and $**P<0.01$). CH-LP = Chae Hom, Lampang; KPS-NP = Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ใช้และไม่ใช้หญ้าโขงควบคุมวัชพืช

สมบัติทางกายภาพของดินที่นำมาศึกษา ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 จากการศึกษ พบว่า ตัวอย่างดินของแปลงเกษตรกรที่ใช้และไม่ใช้หญ้าโขงควบคุมวัชพืช มีเนื้อดินเป็นดินร่วน (loam) ซึ่งมีระดับความชื้นจุสนามของดิน และระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดิน พบว่า ตัวอย่างดินที่มีการใช้หญ้าโขง มีปฏิกิริยาดินเท่ากับ 6.6 ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 0.6 dS/m (ต่ำ) และ

มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 4.3 เปอร์เซ็นต์ (สูง) ส่วนดินที่ไม่มีการใช้หญ้าโขง จะมีปฏิกิริยาดิน เท่ากับ 5.9 ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 0.2 dS/m (ต่ำ) และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 2.6 เปอร์เซ็นต์ (ค่อนข้างสูง) (ตารางที่ 2)

จากการศึกษาวิจัยทางด้านปัจจัยทางดินได้มีรายงานเกี่ยวกับ คุณสมบัติดินที่มีผลกระทบต่อกิจกรรมทางอัลลีโลพาธิคในดิน (Inderjit, 2002; Kobayashi et al., 2008; Tongma et al., 2001) อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สมบัติทางกายภาพของดินไม่แตกต่างกันมากนัก อาจเป็นเพราะว่าเก็บดินจากพื้นที่

Table 1. Physical properties of soil samples from the itchgrass-infested and uninfested soils

Soil property	Chae Hom, Lampang	
	Itchgrass-infested soil	Itchgrass-uninfested soil
Soil texture	loam	loam
% sand	42.4	44.9
% silt	35.0	35.0
% clay	22.6	20.1
Field capacity (FC, %)	40.5	34.6
Permanent wilting point (PWP, %)	11.7	7.4

Table 2. Chemical properties of soil samples from the itchgrass-infested and uninfested soils

Soil property	Chae Hom, Lampang	
	Itchgrass-infested soil	Itchgrass-uninfested soil
pH	6.6	5.9
Electrical conductivity (ECe, dS/m)	0.6	0.2
Organic matter (OM, %)	4.3	2.6

บริเวณใกล้เคียงกัน แต่ตัวอย่างดินของแปลงที่ใช้หญ้าไยงควบคุมวัชพืช จะมีสมบัติทางเคมีบางประการที่แตกต่างและมีค่าที่สูงกว่าอย่างชัดเจน ได้แก่ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินที่ไม่ใช้หญ้าไยง ทั้งนี้อาจเป็นเหตุผลอันเนื่องมาจากการย่อยสลายซากต้นหญ้าไยง ซึ่งอาจจะเป็นการปลดปล่อยสารอัลลิโลพาธิคอย่างช้า ๆ ไปสู่ดิน จึงส่งผลทำให้ดินที่มีการใช้หญ้าไยงมีการยับยั้งการเติบโตของวัชพืชได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Dalton *et al.* (1983) ที่รายงานว่า อินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งดูดซับของสารอัลลิโลพาธิค (กรดเฟอรูลิก) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาวิจัยต่อไปควรทำการศึกษานิดของสารอัลลิโลพาธิค สภาพความชื้นของดิน จุลินทรีย์ดิน ตลอดจนฤดูกาลที่ส่งผลต่อกิจกรรมอัลลิโลพาธิคภายในดิน เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกิจกรรมทางอัลลิโลพาธิคในดิน ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่สำคัญที่จะนำไปใช้ในการควบคุมวัชพืชต่อไป

หญ้าไยงมีคุณลักษณะทางอัลลิโลพาธิคที่มีผลต่อความหนาแน่นและการเติบโตของวัชพืชในสภาพแปลงปลูกพืช การนำหญ้าไยงมาใช้ในลักษณะของการคลุมด้วยหญ้าของเกษตรกรในเขตพื้นที่ อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง จะเห็นได้ว่า มีประสิทธิภาพในการควบคุมวัชพืชในแปลงปลูกพืชผักที่ดี อีกทั้งยังช่วยอนุรักษ์ดิน รักษาความชื้นดิน และเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้ดี นอกจากนี้ สารอัลลิโลพาธิคของหญ้าไยงอาจจะมีผลยับยั้งการเข้าทำลายของโรคพืชและแมลงศัตรูพืชบางชนิดได้ เนื่องจากพบว่า ภายในแปลงปลูกของเกษตรกรไม่พบการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืชมากนัก จึงควรศึกษาความเป็นไปได้ของคุณลักษณะทางอัลลิโลพาธิคจากหญ้าไยงในลักษณะของสารสกัดหญ้าไยงต่อการยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคพืชและแมลงศัตรูพืช (ปิ่นรส, 2559; ปิลันธนา และชนากานต์, 2558) ดังนั้น กิจกรรมทางอัลลิโลพาธิคของหญ้าไยงจะเป็นข้อมูลที่สำคัญในการควบคุมวัชพืช เพื่อลดการใช้สารป้องกันกำจัดวัชพืช ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดการวัชพืชในการปลูกพืชผัก นอกจากนี้ การจัดการวัชพืชโดยใช้หญ้าไยงยังเป็นการช่วยลดหรือทดแทนการใช้สารเคมีทางการเกษตรสำหรับการควบคุมวัชพืชในระบบการเกษตรแบบยั่งยืนต่อไป

สรุป

ความหนาแน่นของประชากรวัชพืชในแปลงเกษตรกรรมที่ไม่ใช้หญ้าไยงควบคุมวัชพืช (itchgrass-uninfested soil) มีวัชพืชขึ้นแข่งขันมากกว่าแปลงเกษตรกรรมที่มีการใช้หญ้าไยงควบคุมวัชพืช (itchgrass-infested soil) อย่างต่อเนื่องมากกว่า 5 ปี จะเห็นได้ว่า ดินที่มีการใช้หญ้าไยง ได้แก่ ตัวอย่างดิน CH-LP จากแปลงเกษตรกรรมที่ใช้หญ้าไยงควบคุมวัชพืช และดิน KPS-NP ที่ผสมผงบดละเอียดหญ้าไยง ส่งผลยับยั้งการเติบโตของพืชทดสอบบางชนิดอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่า หญ้าไยงมีคุณลักษณะทางอัลลีโลพาธีที่มีผลต่อความหนาแน่นและการเติบโตของวัชพืชในสภาพแปลงปลูกพืชผัก นอกจากนี้ แปลงเกษตรกรรมที่ใช้หญ้าไยงควบคุมวัชพืช ส่งผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของดินเปลี่ยนแปลงไป โดยที่ดินที่มีการใช้หญ้าไยงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่าดินที่ไม่ใช้หญ้าไยงควบคุมวัชพืช

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยสนับสนุนทุนอุดหนุนวิจัยพืชไร่ฯ ปี 2560 ในโครงการสนับสนุนและส่งเสริมการวิจัยของภาควิชาพืชไร่ฯ สำหรับการทําวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ทัศนีย์ อุตตะนันท์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการ การวิเคราะห์ดินและพืช, ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 108 หน้า.
- ปัทมรส สุศิริรัตน์. 2559. ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกถั่วหางจระเข้ในการควบคุมหนอนไยผัก. วารสารเกษตร 32(3): 369-378.

- ปิลันธนา ฐานพงษ์วรกุล และ ชนาภานต์ รัตนศักดิ์ชัย ชาญ. 2559. ประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพจากเชื้อเห็ดฟริกต่อการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ในสภาพห้องปฏิบัติการ. วารสารเกษตร 32(1): 61-72.
- Alloub, H., A.S. Juraimi, A. Rajan, J. Kadir, M.S. Saad and S. Sastroutomo. 2005. Growth behavior of itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) in Peninsular Malaysia. Weed Biology and Management 5: 8-13.
- Barnes, J.P. and A.R. Putnam. 1987. Role of benzoxazinones in allelopathy by rye (*Secale cereale* L.). Journal of Chemical Ecology 13: 889-906.
- Casini, P., V. Vecchio and I. Tamantini. 1998. Allelopathic interference of itchgrass and cogongrass; Germination and early development of rice. Tropical Agriculture 75: 445-451.
- Dalton, B.R., U. Blum and S.B. Weed. 1983. Allelopathic substances in ecosystems. Journal of Chemical Ecology 9: 1185-1201.
- Duke, S.O. 2015. Proving allelopathy in crop-weed interactions. Weed Science 63(sp1): 121-132.
- Hall, D.W. and D.T. Patterson. 1992. Itchgrass: stop the trains?. Weed Technology 6: 239-241.
- Inderjit. 2002. Allelopathic effect of *Pluchea lanceolata* on growth and yield components of mustard (*Brassica juncea*) and its influence on selected soil properties. Weed Biology and Management 2: 200-204.
- Kobayashi, K. 2004. Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil. Weed Biology and Management 4: 1-7.
- Kobayashi, K., D. Itaya, P. Mahatamnuchoke and T. Pomprom. 2008. Allelopathic potential of itchgrass (*Rottboellia exaltata*) powder

- incorporated into soil. *Weed Biology and Management* 8: 64-68.
- Lejeune, K.R., J.L. Griffin, D.B. Reynolds and A.M. Saxton. 1994. Itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) interference in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology* 8: 733-737.
- Lencse, R.J. and J.L. Griffin. 1991. Itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) interference in sugarcane (*Saccharum* sp.). *Weed Technology* 5: 396-399.
- Meksawat, S. and T. Pornprom. 2010. Allelopathic effect of itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W.D. Clayton) on seed germination and plant growth. *Weed Biology and Management* 10: 16-24.
- Millhollon, R.W. and D.M. Burner. 1993. Itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) biotypes in world populations. *Weed Science* 41: 379-387.
- Mushtaq, M.N., Z.A. Cheema, A. Khaliq and M.R. Naveed. 2010. A 75% reduction in herbicide use through integration with sorghum + sunflower extracts for weed management in wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 1897-1904.
- Norsworthy, J.K. 2003. Allelopathic potential of wild radish (*Raphanus raphanistrum*). *Weed Technology* 17: 307-313.
- R Development Core Team. 2009. R: a language and environment for statistical computing, (Online). Available: <http://www.R-project.org> (February 10, 2015).
- Strahan, R.E., J.L. Griffin, D.B. Reynolds and D.K. Miller. 2000. Interference between *Rottboellia cochinchinensis* and *Zea mays*. *Weed Science* 48: 205-211.
- Tet-Vun, C. and B.S. Ismail. 2006. Field evidence of the allelopathic properties of *Dicranopteris linearis*. *Weed Biology and Management* 6: 59-67.
- Tongma, S., K. Kobayashi and K. Usui. 2001. Allelopathic activity of Mexican sunflower [*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray] in soil under natural field conditions and different moisture conditions. *Weed Biology and Management* 1: 115-119.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
-

ศักยภาพการเป็นปฏิปักษ์ของเชื้อแอคติโนมัยซีสไดโนไมซิสต์เอนโดไฟต์ที่แยกจากข้าว ในการควบคุมโรคไหม้ของต้นกล้าข้าว

Antagonistic Potential of Endophytic Actinomycetes Isolated from Rice to Control Rice Seedling Blast

ณปภพ แก้วกันทา และเกวาลิน คุณาศักดากุล^{*}
Napaphop Kaewkanta and Kaewalin Kunasakdakul^{*}

สาขาวิชาโรคพืช ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

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

^{*}Corresponding author: Email: kaewalin.k3@gmail.com

(Received: 4 January 2017; Accepted: 31 March 2017)

Abstract: One hundred and seventy-four isolates of endophytic actinomycetes were isolated from rice (*Oryza sativa* L.) on inhibitory mold agar 2 (IMA-2). The isolates were divided into groups by the periods of aerial mycelium initiation and full-plate production. According to aerial mycelium initiation in 1 day and full-plate production in 3 days, then ten isolates were selected for their antagonistic potentials against *Pyricularia grisea* pathogen of rice blast testing by dual culture method. The results of PIRG at the highest percentage showed in the testing of isolates ORR107 and ORR719 with non-statistically significant at 78.35 and 74.17%, respectively. Followed by isolates ORP119, ORR721, ORS110, ORR175, ORR728, ORR737, ORR162 and ORP123 gave a percent inhibition at 70.00, 69.17, 65.00, 61.67, 60.00, 55.84, 50.00 and 48.33%, respectively. Thus, the 2 isolates were applied to control rice blast disease in seedling trials using rice seed soaked in 1×10^9 cell/ml suspension of each isolate of ORR107 and ORR719 for 1 day and let them germinated. Fourteen day old rice seedlings were inoculated with the pathogen. Evaluations of blast severities were observed after 7 days of incubation, results showed that isolates ORR719 and ORR107 were statistically decreased the severity of blast at 1.20 and 1.47, respectively, compared with 4.73 in control treatment. Additionally, colonization of the 2 isolates in rice seedling using seed soaking method were performed, after transplanting for 1, 3, 5, 7 and 14 days, rice plant, leave, root and husk explants were found to be colonized with the two isolates in recovery percentage of 40-90 percent. Moreover, the colonization percentage of isolates ORR107 was potentially increased along incubation periods.

Keywords: *Pyricularia grisea*, endophytic actinomycetes, biological control, colonization

บทคัดย่อ: จากการแยกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์จากข้าว (*Oryza sativa* L.) บนอาหาร inhibitory mold agar 2 (IMA-2) สามารถแยกเชื้อได้ทั้งหมด 174 ไอโซเลท แบ่งกลุ่มไอโซเลทตามระยะเวลาในการเริ่มสร้าง aerial mycelium และการเจริญเต็มจานอาหาร และคัดเลือกไอโซเลทที่มีการเริ่มสร้าง aerial mycelium ภายใน 1 วัน และเจริญเต็มจานอาหาร ภายใน 3 วัน จำนวน 10 ไอโซเลท มาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Pyricularia grisea* สาเหตุโรคไหม้ของข้าว ด้วยวิธีการ dual culture พบว่า ไอโซเลท ORR107 และ ORR719 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคได้สูงที่สุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 78.35 และ 74.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมาคือ ไอโซเลท ORP119, ORR721, ORS110, ORR175, ORR728, ORR737, ORR162 และ ORP123 โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 70.00, 69.17, 65.00, 61.67, 60.00, 55.84, 50.00 และ 48.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้ ไอโซเลท ORR107 และ ORR719 จึงถูกนำมาใช้ในการควบคุมโรคไหม้ของข้าวในต้นกล้าข้าว ด้วยวิธีการแช่เมล็ดข้าวในสปอร์แขวนลอยของแต่ละไอโซเลท ที่ความเข้มข้น 1×10^9 เซลล์ต่อมิลลิเมตร เป็นเวลา 1 วัน เมื่อต้นกล้าข้าว อายุ 14 วัน ทำการปลูกเชื้อราสาเหตุโรค จากนั้นประเมินความรุนแรงในการเกิดโรคหลังจากบ่มเชื้อ เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ไอโซเลท ORR719 และ ORR107 มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคไหม้ของข้าวได้ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ยระดับความรุนแรงในการเกิดโรคเท่ากับ 1.20 และ 1.47 ตามลำดับ แตกต่างจากชุดควบคุมที่ปลูกเชื้อราสาเหตุโรคเพียงอย่างเดียว ที่มีค่าเฉลี่ยระดับความรุนแรงในการเกิดโรคเท่ากับ 4.73 นอกจากนี้การทดสอบความสามารถในการเข้าอาศัยในเนื้อเยื่อต้นกล้าข้าว โดยวิธีการแช่เมล็ด และแยกเชื้อกลับที่ระยะเวลา 1, 3, 5, 7 และ 14 วัน หลังการออกปลูก พบว่า ทั้งสองไอโซเลทสามารถเข้าอยู่อาศัยในเนื้อเยื่อต้นกล้าข้าวได้ทั้งในส่วนช่อบุ และเปลือกเมล็ดข้าว โดยมีเปอร์เซ็นต์การแยกเชื้อกลับอยู่ในช่วง 40-90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ไอโซเลท ORR107 สามารถเพิ่มปริมาณในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาหลังการปลูกเชื้อ

คำสำคัญ: เชื้อรา *Pyricularia grisea* แอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ การควบคุมโดยชีววิธี การเข้าอาศัยอยู่ในพืช

คำนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชอาหารหลักและพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย อีกทั้งข้าวยังเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ (ปิลันธนา และศรวิชัย, 2558) โดยเกษตรกรไทยมีความชำนาญในด้านการผลิตข้าวที่ถ่ายทอดมาจากบรรพบุรุษสู่รุ่นลูกรุ่นหลานมาอย่างยาวนาน หากแต่ในปัจจุบันการผลิตข้าวส่วนใหญ่มีการใช้สารเคมีเกษตร เพื่อเร่งผลผลิต และควบคุมศัตรูพืชในนาข้าวมากขึ้น ก่อให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในนาข้าวและในผลผลิต ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น หน่วยงานภาครัฐจึงได้เร่งรณรงค์ให้เกษตรกรใช้ระบบเกษตรอินทรีย์ในการปลูกข้าวให้มากขึ้น ประกอบกับผู้บริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศให้ความสำคัญกับสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น มีการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมี

ทวีปอเมริกาและยุโรปเป็นผู้บริโภครายใหญ่ที่มีการบริโภครวมกันประมาณร้อยละ 96 แต่เนื่องจากกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอ จึงต้องนำเข้าสินค้าเกษตรอินทรีย์จากประเทศอื่น ๆ ทั่วโลก ทำให้ผลผลิตที่ได้จากการผลิตแบบอินทรีย์เป็นที่ต้องการในตลาดเพิ่มมากขึ้น และมีราคาสูงกว่าผลผลิตที่ได้จากการผลิตแบบเคมี ในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งนาปีและนาปรัง รวม 69.28 ล้านไร่ มีพื้นที่ปลูกข้าวอินทรีย์ประมาณ 131,502 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 0.20 ของพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งหมด มีมูลค่าการส่งออกข้าวอินทรีย์ราว 552.25 ล้านบาท ซึ่งนับว่าเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวอินทรีย์เป็นอันดับต้น ๆ ของโลก โดยข้าวอินทรีย์ที่ได้รับความนิยมในตลาดส่งออก คือ ข้าวหอมมะลิอินทรีย์เป็นสินค้าที่มีลักษณะเด่นในด้านความหอม และเมล็ดอ่อนนุ่ม และเป็นที่ต้องการในตลาดอียูเป็นอย่างมาก โดย 96% ของข้าวอินทรีย์ที่ผลิตในไทยถูกส่งออกไปยังอียู และมีแนวโน้มในการขยายตลาดมากขึ้นในอนาคต (สำนักงานเศรษฐกิจ

อุปกรณ์และวิธีการ

การเกษตร, 2558) ทำให้เห็นว่าโอกาสการส่งออกสินค้าเกษตรอินทรีย์สู่ตลาดโลกยังมีช่องว่างให้เกษตรกรไทยเข้าไปมีส่วนแบ่งตลาดได้อย่างแน่นอนทั้งในระยะสั้นและระยะยาว แต่การผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์ประสบปัญหาเรื่องสายพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรค ส่งผลให้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตลดลง ซึ่งโรคที่สำคัญต่อการผลิตข้าวอินทรีย์ คือ โรคไหม้ สาเหตุเกิดจากเชื้อรา *Pyricularia grisea* (ชื่อเดิม *P. oryzae*) สามารถทำความเสียหายให้กับส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวทุกระยะการเจริญเติบโต (ชัชวาล และชุลีพร, 2552) ในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยจะทำให้เมล็ดข้าวลีบ ร่วงหล่น ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตลดลง ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายโดยอาจทำให้ผลผลิตลดลงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (Ou, 1985) ปัจจุบันได้มีการนำชีวภัณฑ์จากเชื้อปฏิปักษ์มาใช้ เพื่อตอบสนองเงื่อนไขในระบบการผลิตแบบอินทรีย์ที่ไม่ใช้สารเคมี เชื้อปฏิปักษ์ที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยในการศึกษาค้นคว้า และนำมาพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์กันอย่างกว้างขวาง คือ เชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ (endophytic actinomycetes) เป็นเชื้อในกลุ่มแบคทีเรียที่มีรายงานในการนำมาใช้เพื่อควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ และเป็นเชื้อปฏิปักษ์ที่สามารถอาศัยอยู่ภายในเนื้อเยื่อพืช ไม่ก่อให้เกิดโรคกับพืชอาศัย สามารถผลิตสารทุติยภูมิสำคัญหลายประเภท เช่น สารปฏิชีวนะ (Araujo *et al.*, 2000) เอนไซม์ และวิตามิน ที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืชได้หลายชนิด (Shimizu *et al.*, 2000; Franco, 2002) นอกจากนี้ยังสามารถผลิตฮอร์โมนออกซินที่ช่วยกระตุ้นให้พืชมีความแข็งแรงและเพิ่มผลผลิตของพืช (Lahdenpera, 2000) ด้วยเหตุนี้การใช้เชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่นักวิจัยนำมาใช้ในการศึกษาการควบคุมโรคไหม้ของข้าว เพื่อเผยแพร่ให้กับเกษตรกร หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และผู้สนใจ ใช้เป็นปัจจัยการผลิตในระบบเกษตรอินทรีย์ต่อไปในอนาคต ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่แยกได้จากข้าวในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. grisea* สาเหตุโรคไหม้ของข้าวในระดับห้องปฏิบัติการ และประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดโรคไหม้ของข้าวในระดับโรงเรือน

1. การแยกเชื้อราสาเหตุโรคใบไหม้ของข้าว

สุ่มเก็บตัวอย่างใบข้าวที่เป็นโรคไหม้จากแปลงปลูกข้าวในศูนย์วิจัย สาริตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำไหล จากนั้นฆ่าเชื้อที่ผิวด้วยเอทานอล ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำมาบ่มในกล่องขึ้น เป็นเวลา 1 วัน เมื่อพบการเจริญของเชื้อรา จึงแยกเชื้อบริสุทธิ์ ด้วยวิธีการแยกสปอร์เดี่ยว (single spore isolation) นำมาเลี้ยงบนอาหาร PDA (potato dextrose agar) บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 7 วัน แล้วจึงทำการย้ายเชื้อราสาเหตุโรคมากระตุ้นการสร้างสปอร์บนอาหาร RPA (rice polish agar) บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน อีกครั้ง ใช้แท่งแก้วรูปตัว L ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ กดเส้นใยให้แนบกับผิวอาหาร นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สลับกับความมืด เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ตรวจสอบลักษณะการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรค ลักษณะของโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ และลักษณะสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 400 เท่า จากนั้นเทียบกับรายงานของ Ou (1985) เพื่อจำแนกชนิดของเชื้อราสาเหตุโรค แล้วจึงตรวจนับสปอร์ด้วย hemocytometer และปรับความเข้มข้นให้เท่ากับ 10^5 cfu/ml เพื่อนำไปทดสอบการก่อโรค และใช้ในการทดลองต่อไป

2. การแยกเชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์จากส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว

เก็บตัวอย่างต้นข้าวจากแหล่งพื้นที่เพาะปลูกอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม จำนวน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ กข1 และ กข7 อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี จำนวน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ ปทุมธานี 1 และ สุพรรณบุรี 1 รวม 4 สายพันธุ์ โดยเลือกเก็บเฉพาะต้นที่สมบูรณ์ ไม่มีการเข้าทำลายของโรคและแมลง นำส่วนใบ และราก มาล้างในน้ำไหล 30 นาที จากนั้นผึ่งลมให้แห้ง ตัดใบให้มีขนาด 1x1 เซนติเมตร และส่วนราก ยาว 1 เซนติเมตร นำ

ขึ้นส่วนของพืชทั้งหมดแช่ในสารละลาย Clorox ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 นาที แล้วแช่ในเอทานอล ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแช่ในสารละลาย heritage ความเข้มข้น 0.6 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 นาที ผึ่งให้แห้งในตู้ปลอดเชื้อ วางขึ้นพืชบนอาหาร IMA-2 (inhibitory mold agar 2) จำนวน 15 ชิ้นต่อ 1 จาน บ่มไว้ในตู้มืด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน จากนั้นแยกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ให้บริสุทธิ์ตามวิธีของ Shimizu *et al.* (2000) จัดกลุ่มและคัดเลือกไอโซเลทที่สามารถสร้าง aerial mycelium และเจริญฟูบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อได้ในระยะเวลาสั้น โดยสังเกตการเริ่มสร้าง aerial mycelium ที่ระยะเวลา 1, 2, 3, 4, 5 วัน และการเจริญเต็มจานอาหารของ aerial mycelium ที่ระยะเวลา 3, 5 และ 7 วัน

สำหรับการเรียกชื่อไอโซเลทของเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์จะเรียกตามตัวอักษรสองตัวแรกของชื่อสกุลของพืชอาศัย ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ใช้ข้าวในการแยกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ โดยข้าวมี่ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Oryza sativa* L. ดังนั้นการเรียกชื่อไอโซเลทของเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่แยกได้ คือ OR และแบ่งกลุ่มไอโซเลทตามตัวอักษรสองตัวแรกของสายพันธุ์ข้าวที่นำมาแยกแต่ละชนิด โดยหมายเลขของไอโซเลทเรียงตามการแยกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์จากส่วนของใบ และรากตามลำดับ

3. การคัดเลือกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์

คัดเลือกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่มีความสามารถในการสร้าง aerial mycelium และเจริญฟูเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อได้ในระยะเวลาน้อยที่สุด (จากวิธีการที่ 2) มาทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นเชื้อปฏิปักษ์ต่อเชื้อรา *P. grisea* ด้วยวิธี dual culture วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ สำหรับชุดควบคุมวางเชื้อราสาเหตุโรคเพียงอย่างเดียว เมื่อเชื้อราสาเหตุโรคในชุดควบคุมเจริญเกือบเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อ บันทึกขนาดรัศมีของโคโลนีเชื้อราสาเหตุโรคในชุดควบคุมและชุดทดสอบ จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ (percent inhibition of radial growth; PIRG)

สูตรคำนวณเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญ

$$\text{PIRG} = (R_1 - R_2) / R_1 \times 100$$

R_1 = รัศมีการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคในชุดควบคุม

R_2 = รัศมีการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคในชุดทดสอบ

จากนั้นคัดเลือกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่สูงที่สุด จำนวน 2 ไอโซเลท มาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4. ประสิทธิภาพในการควบคุมโรคไหม้ของต้นกล้าข้าว

แช่เมล็ดข้าวในสปอร์แขวนลอยของเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่คัดเลือกได้ แบ่งเป็น 3 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ ที่ความเข้มข้น 1×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เป็นเวลา 1 วัน แล้วปลูกลงบนกระบะเพาะ บ่มไว้ในสภาพโรงเรือนเมื่อกล้าข้าวอายุ 14 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ (2.46 กรัม/กระบะเพาะ) เพื่อกระตุ้นให้กล้าข้าวอ่อนแอต่อการเกิดโรคไหม้ จากนั้นพ่นด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *P. grisea* ความเข้มข้นที่ 10^5 สปอร์/มิลลิลิตร ที่ผสมเจลาติน บ่มไว้ในถุงพลาสติกสีดำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำกระบะต้นกล้าข้าวไปไว้ในสภาพธรรมชาติ และพ่นไอน้ำทุก ๆ เช้า-เย็น เป็นเวลา 4 วัน ประเมินความรุนแรงในการเกิดโรคหลังการปลูกเชื้อ 7 วัน ให้คะแนนการเกิดโรคโดยใช้ระดับคะแนนการเกิดโรค 7 ระดับ ตามรายงานของ Roumen *et al.* (1997) ดังนี้ 0 คือ ไม่ปรากฏแผล, 1 คือ เกิดแผลจุดกลมสีน้ำตาลขนาดเล็กผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร ไม่มีการสร้างโคนเดี่ยว, 2 คือ เกิดแผลกลมหรือยาวรีเล็กน้อยขนาดเล็กผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.5-1 มิลลิเมตร ไม่มีการสร้างโคนเดี่ยว, 3 คือ เกิดแผลจุดเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 1-3 มิลลิเมตร มีจุดสีเทาตรงกลางแผล 4 คือ เกิดแผลจุดขนาดประมาณ 4 มิลลิเมตร หรือยาวกว่า แผลเป็นสีเทา มีขอบแผลสีน้ำตาล, 5 คือ เกิดแผลสีเทาเกาะกันเป็นกลุ่ม มีขอบแผลสีน้ำตาล เป็นอาการที่แสดงถึงความอ่อนแอต่อโรค และ 6 คือ เกิดแผลลูกกลมยาวติดต่อกันเป็นสีเทา ไม่มีขอบแผลที่แน่นอน เป็นอาการที่แสดงถึงความอ่อนแอต่อโรค

5. การเข้าอาศัยในเนื้อเยื่อต้นกล้าข้าว

นำเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. grisea* มากที่สุด มาตรวจสอบความสามารถในการเข้าอาศัยในเนื้อเยื่อด้วยวิธีการแยกเชื้อกลับ (re-isolation) โดยนำเมล็ดข้าวมาแช่ในเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ ความเข้มข้น 1×10^9 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เป็นเวลา 1 วัน แล้วปลูกลงบนกระเพาะเพาะ บ่มไว้ในสภาพโรงเรือน จากนั้นแยกเชื้อกลับที่ระยะเวลา 1, 3, 5, 7 และ 14 วัน หลังการออกปลูก โดยตัดต้นกล้าข้าวเป็นชิ้นเล็ก ๆ แยกเป็นส่วนใบ ลำต้น ราก และเปลือกเมล็ด นำชิ้นพืชทั้งหมดมาฆ่าเชื้อที่ผิว โดยใช้วิธีการในข้อ 2 ขั้วขึ้นพืชให้แห้ง โดยนำมาวางบนกระดาษกรองที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว ผึ่งลมให้แห้งภายในตู้ถ่ายเชื้อเป็นเวลา 2-3 วัน จากนั้นวางชิ้นพืชแต่ละส่วนบนอาหารเลี้ยงเชื้อ IMA-2 บ่มไว้ในตู้มืด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ตรวจสอบการเจริญของเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่เจริญออกมาจากชิ้นพืช และนับจำนวนชิ้นพืชที่สามารถแยกเชื้อกลับได้ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ คำนวณเปอร์เซ็นต์การแยกเชื้อกลับจากสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การแยกเชื้อกลับ} = \frac{\text{จำนวนชิ้นพืชที่แยกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ได้}}{\text{จำนวนชิ้นพืชทั้งหมด}} \times 100$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การแยกเชื้อราสาเหตุโรคไหม้ของข้าว

จากการศึกษาลักษณะอาการของโรคไหม้บนใบข้าว พบแผลจุดสีน้ำตาลคล้ายรูปตา บริเวณกลางแผลมีสีเทา แผลมีความกว้าง 2-5 มิลลิเมตร และความยาว 10-15 มิลลิเมตร (ภาพที่ 1A) เมื่อนำมาแยกเชื้อสาเหตุด้วยวิธี single spore isolation พบว่า โคลนเชื้อของเชื้อราสาเหตุบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เริ่มแรกสร้างเส้นใย สีขาว ค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเทา (ภาพที่ 1B) และเมื่อนาสปอร์ของเชื้อราสาเหตุโรคมาตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 400 เท่า พบลักษณะเส้นใยไม่มีผนังกัน สปอร์ไม่มีสี (hyaline) มี 2-3 เซลล์ รูปกระสวย หัวมน-ท้ายแหลม (spindle) มีขนาดความกว้าง 7.5 ไมโครเมตร และยาว 25 ไมโครเมตร (ภาพที่ 1C) จากนั้นเทียบกับรายงานของ Ou (1985) พบว่าเชื้อราสาเหตุโรคนี้คือ เชื้อรา *P. grisea* ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า สามารถแยกได้เชื้อรา *P. grisea* สาเหตุโรคไหม้ของข้าว ซึ่งชนิดของเชื้อราที่พบนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (นวรรตน์, 2557) ที่ทำการศึกษาและแยกเชื้อสาเหตุโรคไหม้ของข้าวจากแปลงข้าวที่เกิดโรคไหม้ระบาดในประเทศไทย พบว่า เชื้อสาเหตุโรคไหม้ของข้าว คือ เชื้อรา *P. grisea* ซึ่งเชื้อราเหล่านี้ส่วนใหญ่มักแพร่กระจายทั่วไปในอากาศ และอาจมีความแตกต่างกันของสายพันธุ์ในแต่ละแหล่งปลูก

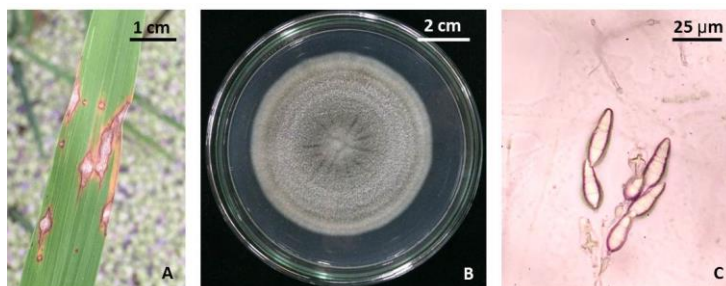


Figure 1. Characteristics of rice leaf blast symptom (A), colony on PDA medium (B) and conidia of *Pyricularia grisea* (C)

2. การแยกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์จากส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว

จากการแยกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์จากชิ้นส่วนของข้าว จำนวน 4 สายพันธุ์ พบโคโลนีเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์เจริญบนผิวหน้าชิ้นส่วนพืช (ภาพที่ 2) สามารถแยกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ได้ทั้งหมด 174 ไอโซเลท โดยนับจำนวนไอโซเลทจากโคโลนีที่เจริญบนชิ้นส่วนพืช ซึ่งส่วนใหญ่แยกได้จากส่วนใบ จำนวน 139 ไอโซเลท และส่วนราก จำนวน 35 ไอโซเลท เมื่อเปรียบเทียบจำนวนไอโซเลทของเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่แยกได้จากข้าวแต่ละสายพันธุ์ พบว่า สามารถแยกเชื้อจากข้าวสายพันธุ์ กข1 ได้มากที่สุด จำนวน 75 ไอโซเลท รองลงมาคือ กข7 จำนวน 42 ไอโซเลท สุพรรณบุรี 1 จำนวน 34 ไอโซเลท และปทุมธานี 1 จำนวน 23 ไอโซเลท (ตารางที่ 1) สำหรับการแยกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์จากข้าวแต่ละสายพันธุ์นั้น จำนวนและชนิดของเชื้อที่แยกได้ มักแปรตามปัจจัยต่าง ๆ ด้านพืชอาศัย เช่น ชนิดพืช และพื้นที่เพาะปลูก เป็นต้น (Sardi *et al.*, 1992) รวมไปถึงส่วนต่าง ๆ ของพืชที่เชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์อาศัยอยู่ในที่แตกต่างกัน เช่น ราก ลำต้น ใบ ดอก ผล และเมล็ด (Qin *et al.*, 2011) ตลอดจนขั้นตอนการฆ่าเชื้อที่ผิวพืช ก็ยังมีอิทธิพลต่อชนิดและ

จำนวนของเชื้อด้วยเช่นกัน เนื่องจากหากไม่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผิวให้หมดอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ที่ไม่พึงประสงค์ จึงอาจส่งผลให้เชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ไม่สามารถเจริญออกมาจากชิ้นพืชได้ (Shimizu *et al.*, 2000) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า สามารถแยกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ได้จากส่วนใบมากกว่าส่วนราก เนื่องจากส่วนของรากมีโอกาสของการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ค่อนข้างสูง สอดคล้องกับรายงานของ ศิริมาศ และเกวลิน (2557) มีรายงานว่าสามารถแยกเชื้อกลุ่มนี้ได้จากส่วนใบของพืชสมุนไพร และพืชวงศ์กุหลาบได้มากที่สุดเช่นกันเมื่อจัดกลุ่มตามการสร้าง aerial mycelium ที่เจริญฟูเต็มจานอาหารภายในระยะเวลาอันสั้น สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่สร้าง aerial mycelium เจริญฟูเต็มจานอาหารภายใน 3 วัน (61 ไอโซเลท), 5 วัน (87 ไอโซเลท) และ 7 วัน (26 ไอโซเลท) (ตารางที่ 2) จากนั้นคัดเลือกเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่สร้าง aerial mycelium ได้รวดเร็วที่สุดภายใน 1 วัน มาจำนวน 10 ไอโซเลท เพื่อใช้ทดลองต่อไป สำหรับการคัดเลือกเชื้อปฏิบัติที่สร้าง aerial mycelium ได้ในระยะเวลาอันสั้น จะสามารถเร่งกระบวนการในการผลิตสารทุติยภูมิที่สำคัญต่าง ๆ ได้ไวยิ่งขึ้น เนื่องจากกระบวนการผลิตสารทุติยภูมิของเชื้อ

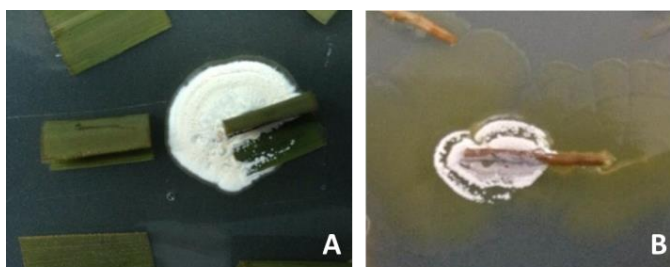


Figure 2. Endophytic actinomycetes grew out from leave (A) and root explants (B) of rice cultivar RD1 on IMA-2 medium after 30 days of incubation at 30 °C

Table 1. Numbers of isolation frequency of endophytic actinomycetes isolated from 4 cultivars of rice

Rice cultivars	Isolate numbers of endophytic actinomycetes			
	Leaves	Isolate codes	Roots	Isolate codes
RD1	61	ORR101-161	14	ORR162-175
RD7	26	ORR701-726	16	ORR727-742
PT1	19	ORP101-119	4	ORP120-123
SP1	33	ORS101-133	1	ORS134

Table 2. Numbers of endophytic actinomycetes isolated from rice grouped by day of aerial mycelium initiation and periods of full plate growth

Full plate growth (day)	Numbers of endophytic actinomycetes					Total
	1-day ¹	2-day	3-day	4-day	5-day	
3	10	37	14	0	0	61
5	13	39	34	0	1	87
7	7	6	7	3	3	26

¹ day of aerial mycelium initiation

ปฏิปักษ์ จะเกิดขึ้นพร้อมกับการเจริญเติบโตของ aerial mycelium (Chater, 2006) อีกทั้งเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการผลิตสารชีวภัณฑ์จากเชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่สามารถลดต้นทุนการผลิตและระยะเวลาในการผลิตได้

3. การคัดเลือกเชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์

จากการคัดเลือกเชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่สามารถสร้าง aerial mycelium รวดเร็วที่สุด ภายใน 1 วัน พบเชื้อ จำนวน 10 ไอโซเลท ที่สามารถเจริญฟูเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อภายใน 3 วัน มาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคไหม้ของข้าว ด้วยวิธีการ dual culture บนอาหาร IMA-2 พบว่า เชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์แต่ละไอโซเลท สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. grisea* สาเหตุโรคไหม้ของข้าวได้แตกต่างกัน (ภาพที่ 3) โดยพบไอโซเลทที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคได้มากที่สุด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ 2 ไอโซเลท ได้แก่ ไอโซเลท ORR107 และ ORR719 โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 78.35 และ 74.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะไอโซเลท ORR107 และ ORR719 มีการผลิตสารปฏิชีวนะที่จำเพาะเจาะจงกับเชื้อราสาเหตุโรคที่แตกต่างจากไอโซเลทอื่นๆ จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sardi *et al.* (1992) ที่กล่าวไว้ว่า การผลิตสารทุติยภูมิของเชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์แต่ละชนิดนั้น สามารถผลิตสารทุติยภูมิจำพวกสารปฏิชีวนะได้หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีผลต่อการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่ต่างกัน นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับรายงานของ Zarandi *et al.*

(2009) ที่สามารถแยกเชื้อแอคติโนไมซีสต์ในกลุ่มของ *Streptomyces* spp. ได้จากดิน และเมื่อนำมาทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. grisea* พบว่า เชื้อ *Streptomyces* แต่ละไอโซเลท มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. grisea* ที่แตกต่างกัน

4. ประสิทธิภาพในการควบคุมโรคไหม้ของต้นกล้าข้าว

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคไหม้ของต้นกล้าข้าว โดยวิธีแช่เมล็ดข้าวในสปอร์แขวนลอยของเชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ ไอโซเลท ORR107 และ ORR719 ทำการปลูกเชื้อราสาเหตุโรค เมื่อต้นกล้าข้าวอายุ 14 วัน และประเมินโรคหลังการปลูกเชื้อ 7 วัน พบว่า ต้นกล้าข้าวที่ได้รับการปลูกเชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ทั้งสองไอโซเลท มีระดับความรุนแรงในการเกิดโรค ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เฉลี่ยเท่ากับ 1.47 และ 1.20 ตามลำดับ แต่แตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุมที่ปลูกเชื้อเพียงอย่างเดียว ที่มีค่าเฉลี่ยระดับความรุนแรงเท่ากับ 4.73 (ภาพที่ 4) คิดเป็นร้อยละการลดลงของระดับความรุนแรงของโรคเฉลี่ยเท่ากับ 68.90 และ 74.60 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ทั้ง 2 ไอโซเลท สามารถผลิตสารทุติยภูมิจำพวกสารปฏิชีวนะที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อรา (antifungal) (Araujo *et al.*, 2000) รวมทั้งเชื้อสามารถเข้าอยู่อาศัย (colonization) ในพืชอาศัย แล้วชักนำให้พืชอาศัยเกิดความต้านทานต่อโรคไหม้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ศิริมาศ และ เกวลิน (2557) ที่สามารถชักนำให้ต้นกล้าสตรว์เบอร์รี่เกิดการต้านทานโรคทางใบในสตรว์เบอร์รี่ภายหลังปลูกเชื้อแอคติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่แยกได้จากพืชสมุนไพร และพืชวงศ์กุหลาบลงบนต้นกล้า และรายงานของ



Figure 3. Inhibitory effects of 10 endophytic actinomycete isolates on growth of *Pyricularia grisea* colony after dual culture testing for 10 days on IMA-2 medium

Table 3. Inhibition percentage of endophytic actinomycete isolates obtained from 4 cultivars of rice against *Pyricularia grisea* using dual culture method on IMA-2 medium

Inhibitory levels ¹	Isolate numbers of endophytic actinomycetes (% Inhibition)	
Strong	ORR107	(78.35 ^A) ²
	ORR719	(74.17 ^{AB})
Moderate	ORP119	(70.00 ^{BC})
	ORR721	(69.17 ^{CD})
	ORS110	(65.00 ^{DE})
	ORR175	(61.67 ^{EF})
Weak	ORR728	(60.00 ^{FG})
	ORR737	(55.84 ^G)
Non active	ORR162	(50.00 ^H)
	ORP123	(48.33 ^H)

¹ Strong: 71.00-80.00 %, moderate: 61.00-70.00%, weak: 51.00-60.00%, non-active: less than 50.00%

² Means in the parentheses within the same column followed by different letters were significantly different at $P < 0.05$ by LSD=4.9892, CV (%) = 4.98

ชัยพร (2556) ที่สามารถควบคุมการเกิดโรคเน่าของผลลำไยได้ในระดับห้องปฏิบัติการ หลังจากพ่นสปอร์แขวนลอยเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ลงบนผลลำไย

5. การเข้าอาศัยในเนื้อเยื่อต้นกล้าข้าว

จากการทดสอบการเข้าอาศัยในเนื้อเยื่อของต้นกล้าข้าว โดยเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ ไอโซเลท ORR107 และ ORR719 จากวิธีแยกเชื้อกลับจากใบลำต้น ราก และเปลือกเมล็ดของข้าวที่ได้รับการปลูกเชื้อพบว่า เชื้อทั้ง 2 ไอโซเลท สามารถเข้าอาศัยภายในเนื้อเยื่อ

ของต้นกล้าข้าวได้ นอกจากนี้ การเจริญของเชื้อจากบริเวณรอยตัดของชิ้นพืชส่วนใบ ลำต้น ราก และเปลือกเมล็ดข้าว หลังจากบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วัน พบว่า ไอโซเลท ORR107 มีแนวโน้มการแยกเชื้อกลับเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหลังการปลูกเชื้อ ที่ 1, 3, 5, 7 และ 14 วัน เท่ากับ 40.00, 63.33, 76.67, 80.00 และ 90.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับ ไอโซเลท ORR719 (ตารางที่ 4) สำหรับการเพิ่มปริมาณของเชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์ที่เป็นเชื้อแบคทีเรีย สามารถแบ่งตัวที่รวดเร็ว ส่งผลให้เชื้อแอกติโนไมซีสต์เอนโดไฟต์

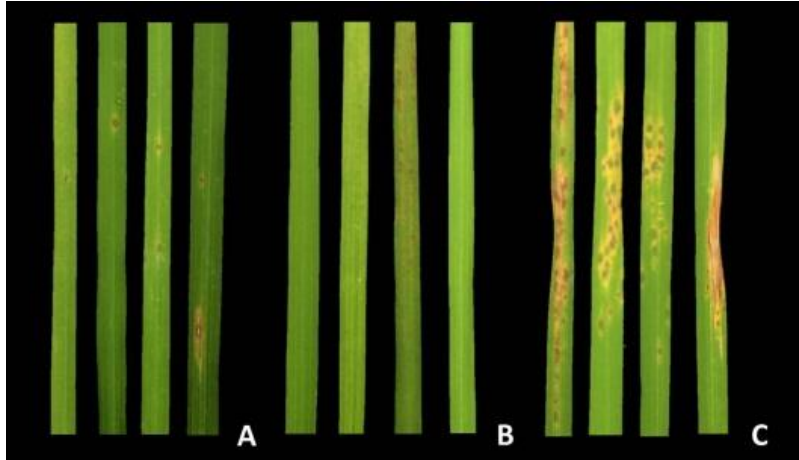


Figure 4. Blast disease symptoms on 21-day-old leaves of rice seedlings treated by seed soaking with spore suspension (conc. 10^9 cfu/ml) of endophytic actinomycetes isolate ORR107 (A) and ORR719 (B) compared with untreated control (C) after inoculation with *Pyricularia grisea* spore suspension (conc. 10^5 cfu/ml) on 14-day-old seedling

Table 4. Numbers and recovery percentages the selected endophytic actinomycetes 2 isolates from the segments of inoculated rice seedling after 1, 3, 5, 7 and 14 days of transplanting

Isolates	After transplant (day)	Part of tissue ¹			Total (%) ²
		Leave	Root	Rice husk	
ORR107	1	1	2	9	12 (40.00)
	3	4	5	10	19 (63.33)
	5	7	8	8	23 (76.67)
	7	5	10	9	24 (80.00)
	14	9	9	9	27 (90.00)
ORR719	1	2	4	10	16 (53.33)
	3	6	9	10	25 (83.33)
	5	9	10	10	29 (96.67)
	7	8	6	10	24 (80.00)
	14	7	8	9	24 (80.00)

¹ 10 pieces of each part of tissue

² calculated per 30 pieces

เพิ่มปริมาณในต้นพืชได้มากขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้เชื้อทั้งสองไอโซเลทเป็นเชื้อที่แยกได้จากต้นกล้าข้าว จึงทำให้เชื้อทั้งสองไอโซเลทสามารถเข้าอาศัยในพืชอาศัยเดิมได้ สอดคล้องกับรายงานของ Shimizu *et al.* (2000) ที่แยกเชื้อแอคติโนไมซีส์เอ็นโดไฟต์จากพืช rhododendron

แล้วสามารถปลูกเชื้อกลับเข้าอาศัยในพืชอาศัยเดิมได้ และสอดคล้องกับรายงานของ Meguro *et al.* (2004) ที่สามารถเชื้อกลับ หลังจากการปลูกเชื้อ *Streptomyces padanus* AOK-30 บนพืช mountain laurel ได้ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น แปรตามระยะเวลาหลังการปลูกเชื้อ

สรุป

สามารถแยกเชื้อแอกติโนไมซีสเอนโดไฟต์จากข้าวทั้ง 4 สายพันธุ์ ได้จำนวน 174 ไอโซเลท เมื่อคัดเลือก 10 ไอโซเลท ที่มีการสร้าง aerial mycelium และเจริญฟูเต็มจานอาหารได้ภายในระยะเวลาอันสั้น มาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Pyricularia grisea* สาเหตุโรคไหม้ของข้าว ในระดับห้องปฏิบัติการ สามารถคัดเลือกเชื้อได้ 2 ไอโซเลท ซึ่งได้แก่ ORR107 และ ORR719 ที่มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคสูงสุด และนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคไหม้ของข้าวในระดับโรงเรือน พบว่า มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคไหม้ได้ดี สามารถลดระดับความรุนแรงของการเกิดโรคลงได้ร้อยละ 68.90 และ 74.60 ตามลำดับ จากนั้นนำมาตรวจสอบความสามารถในการเข้าอาศัยในเนื้อเยื่อด้านกล่ำข้าว พบว่า เชื้อทั้ง 2 ไอโซเลท สามารถเข้าอาศัยในเนื้อเยื่อด้านกล่ำของข้าวได้ และมีเปอร์เซ็นต์การแยกเชื้อกลับเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาหลังการปลูกเชื้อที่นานขึ้น แสดงให้เห็นว่า เชื้อปฏิปักษ์ทั้ง 2 ไอโซเลทเหมาะสมสำหรับที่จะนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมโรคไหม้ของข้าวระดับแปลงในเชิงอนุรักษ์ต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- ชัชวาล จันทราสุริยารัตน์ และ สุวีพร เกตุงาม. 2552. โรคไหม้ใน ข้าวและสถานการณ์ปัจจุบันของงานวิจัยด้านยีนต้านทาน โรคไหม้ในข้าว. แก่นเกษตร 37: 69-78.
- ชัยพร ชัดสงคราม และ เกวลิน คุณาศักดากุล. 2556. ประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซีสเอนโดไฟต์จากพืชวงศ์ลำไยในการควบคุมโรคผลเน่าของลำไย. วารสารเกษตร 29(3): 239-248.
- นวรรตน์ ไจหอม และนงลักษณ์ เกรินทวงศ์. 2557. เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52 สาขาพืช. การประเมินความหลากหลายและการจัดกลุ่มความรุนแรงของเชื้อราสาเหตุโรคไหม้ข้าวที่เก็บรวบรวมในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 8 หน้า.
- ปิลันธนา ฐานพงษ์วรกุล และ ศรวิชัย สายมวงค. 2558. ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *Bacillus megaterium* สายพันธุ์ No.16 ในการควบคุมโรคกาบใบแห้งของข้าวพันธุ์ กข6. วารสารเกษตร 31(3): 301-310.
- ศิริมาศ ชัยชม และ เกวลิน คุณาศักดากุล. 2557. การใช้เชื้อแอกติโนไมซีสเอนโดไฟต์ชักนำให้เกิดความต้านทานโรคทางใบของสตรอว์เบอร์รี่ด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. วารสารเกษตร 30(2): 141-150.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. เศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2558. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.oae.go.th/economiccon.html> (25 ตุลาคม 2559).
- Araujo, J.M. de, A.C. da Silva and J.L. Azevedo. 2000. Isolation of endophytic actinomycetes from roots and leaves of maize (*Zea mays* L.). Brazilian Archives of Biology and Technology 43: 447- 451.
- Chater K.F. 2006. *Streptomyces* inside-out: a new perspective on the bacteria that provide us with antibiotics. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Science 361(1469): 761-768.
- Franco, C. 2002. The role of actinomycetes in plant growth and development. (Online). Available: http://www.bio.flinders.edu.au/biotech/staff/cmmf_res.htm. (September 29, 2016).
- Lahdenpera, M.L. 2000. How Mycostop® acts in the control of fungal plant diseases. Info letter

- (Online). Available: <http://www.yankeegrower.uconn.edu/2002.doc.pdf> (September 29, 2016).
- Meguro, A., S. Hasegawa, M. Shimizu, T. Nishimura and H. Kunoh. 2004. Induction of disease resistance in tissue-cultured seedlings of mountain laurel after treatment with *Streptomyces padanus* AOK-30. *Actinomycetologica* 18(2): 48-53.
- Ou, S.H. 1985. Rice Disease. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, UK. 380 p.
- Qin, S., K. Xing, J. H. Jiang. L. H. Xu and W. J. Li. 2011. Biodiversity, bioactive natural products and biotechnological potential of plant-associated endophytic actinobacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology* 89(3): 457-473.
- Roumen E., M. Levy and J.L. Notteghem. 1997. Characterisation of the European pathogen population of *Magnaporthe grisea* by DNA fingerprinting and pathotype analysis. *European Journal of Plant Pathology* 103(4): 363-371.
- Sardi, P., M. Saracchi, S. Quaroni, B. Petrolini, G. E. Borgonovi and S. Merli. 1992. Isolation of endophytic *Streptomyces* strains from surface-steriled roots. *Applied and Environmental Microbiology* 58(8): 2691-2693.
- Shimizu, M., Y. Nakagawa, Y. Sato, T. Furumai, Y. Igarashi, H. Onaka, R. Yoshida and H. Kunoh. 2000. Studies on endophytic actinomycetes (I) *Streptomyces* sp. isolated from rhododendron and its antifungal activity. *Journal of General Plant Pathology* 66(4): 360-366.
- Zarandi, M.E., G.H. S. Bonjar, F.P. Dehkaei, S.A.A. Moosavi, P.R. Farokhi and S. Aghighi. 2009. Biological control of rice blast (*Magnaporthe oryzae*) by use of *Streptomyces sindeneusis* isolate 263 in greenhouse. *American Journal of Applied Sciences* 6(1): 194-199.
-

Effects of Leonardite on Soil Quality and Rice Yield Improvements

ผลของลีโอนาร์ไต์ต่อการปรับปรุงคุณภาพดินและผลผลิตข้าว

Chanyut Ratanaprommanee, Kawiporn Chinachanta and Arawan Shutsrirung*

ชาญยุทธ รัตนพรหมมณี กวีพร จินะจันตา และ อรวรรณ จัตรสีรุ่ง*

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

ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

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

(Received: 30 November 2016; Accepted: 9 February 2017)

บทคัดย่อ: ลีโอนาร์ไต์เป็นวัสดุธรรมชาติที่อุดมด้วยฮิวมัสจึงมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้ทางการเกษตร อย่างไรก็ตามข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ ลีโอนาร์ไต์ในข้าวนาดำมีน้อยมาก จึงได้ทำการทดลองในกระถางเพื่อวัดผลของลีโอนาร์ไต์ต่อคุณภาพของดินและผลผลิตของข้าว พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักในการเปรียบเทียบ ผลการทดลองพบว่า โดยเฉลี่ยแล้วการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวหรือใส่ร่วมกับ ลีโอนาร์ไต์สามารถเพิ่มระดับอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ได้ประมาณสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม การใช้ลีโอนาร์ไต์ที่ปรับปรุงร่วมกับปุ๋ยหมักในกรรมวิธีที่ 8 และ 9 (ลีโอนาร์ไต์ปรับปรุง + ปุ๋ยหมัก (1:1) และ ลีโอนาร์ไต์ปรับปรุง + ปุ๋ยหมัก (3:1), ตามลำดับ) ให้ค่า จำนวนกอ (30.3 และ 32.0 กอ/ต้น, ตามลำดับ), จำนวนรวง (19.33 และ 18.67 รวง/ต้น, ตามลำดับ) และผลผลิตเมล็ด (50.58 และ 50.29, กรัม/ต้น, ตามลำดับ) สูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งหมดนี้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้ปุ๋ยเคมี ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ลีโอนาร์ไต์ร่วมกับปุ๋ยหมักให้ผลดีกว่าการใช้ลีโอนาร์ไต์ หรือปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการผสมดินด้วยลีโอนาร์ไต์ร่วมกับปุ๋ยหมักสามารถใช้เป็นทางเลือกทดแทนปุ๋ยเคมีเพื่อให้ผลผลิตข้าวที่สูงได้

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมัก กรดฮิวมิก ลีโอนาร์ไต์ ข้าว คุณภาพดิน ธาตุอาหารพืช

Abstract: Leonardite is a natural humus-rich material thus a high potential to use in agriculture. However, there is very little information available regarding the use of leonardite for lowland rice. To determine the effects of leonardite on soil quality and rice yield, a pot experiment was conducted using Thai jasmine rice cultivar KDML105. Chemical fertilizer and compost were used for comparison. On the average, the application of compost alone or with leonardite increased soil organic matter, N, P, and K levels about twice as compared to the control. The combination of improved leonardite and compost in treatment 8 and 9 (IL + compost (1:1) and IL + compost (3:1), respectively) gave significantly higher number of tillers (30.3 and 32.0 tillers/plant, respectively), number of panicle (19.33 and 18.67 panicle/plant, respectively) and grain yield (50.58 and 50.29 g/plant, respectively) than the control. All the increased parameters did not show significant different from those obtained using chemical fertilizer. The results indicated that the use of leonardite plus compost showed better performance than leonardite or compost alone. It is therefore concluded that the incorporation of leonardite plus compost into the soil could be used as an alternative to chemical fertilizer for obtaining high yield of rice.

Keywords: Compost, humic acid, leonardite, rice, soil quality, plant nutrients

Introduction

The continuous use of chemical fertilizers accelerates the depletion of soil organic matter and impairs physical and chemical properties of soil in addition to causing micronutrient deficiencies. In Thailand, most of the cultivated soils have less than 1.5% soil organic matter (SOM) that could be considered to be low. This important component of soil is declining with time due to intensive cropping and use of high doses of chemical fertilizers with little or no addition of organic matter. Soil organic matter serves as a reservoir of nutrients for crops, provides soil aggregation, increases nutrient exchange, retains moisture, reduces compaction, reduces surface crusting, and increases water infiltration into soil. Therefore, loss of SOM is often considered as one of the main causes of soil fertility and productivity decline. For these reasons, it is essential to apply good quality organic materials that can be used to improve soil properties and productivity. Organic inputs such as finished compost and leonardite are efficient and effective in replenishing

the soil with organic matter or humus being depleted with continued cropping. Leonardite is rich in organic matter (50 to 75%) and its humic acid content could range between 30 to 80% therefore this natural humus-rich materials offers a good choice as soil and crop yield improvement (Ratanaprommanee and Shutsrirung, 2014). Humic acid improves the physical, chemical and biological properties of the soil and accelerates plant growth by influencing the growth of roots. Initiation of root enhancement and increased root growth may be observed by the application of humic acids and fulvic acids to the soil (Pettit, 2004). Significant impacts of humic substances on soil structure and plant growth are extensively reported in the literatures. (Fong *et al.*, 2007; El-Razek *et al.*, 2012; Ihsanullah and Bakhshwain, 2013). The benefits of compost and organic manures on rice and wheat yield improvement are well documented (Singh and Yadav, 1986; Hussain *et al.*, 1998) Wattanaphayapkul (2014) applied cattle dung, chicken dung and wood vinegar to improve growth, yield and seed quality of Hom Mali rice. Application

of diluted wood vinegar and cow dung resulted in significantly higher plant height, number of tillers and grain yield of KDML 105. Application of diluted wood vinegar and chicken dung promoted the highest grain yield of 224.5 g/pot of KDML 105. However reports on the utilization of leonardite in cereals crops are rare. Application of compost plus 10% leonardite (w/w) at the rate of 5,000 kg/rai gave the highest shoot and root dry weights of Chinese kale. The highest P, K, Ca, and Mg uptake were also obtained with compost plus leonardite (Inthajak, 2012). High plant nutrients and humic acid content in leonardite samples indicated its high possible use to improve organic matter, humic acid and some plant nutrient levels in the soils. However the very low pH values and low P content of most leonardite samples should be raised before soil application (Ratanaprommanee and Shutsrirung, 2014). Somchan and Shutsrirung (2014) suggested that leonardite should be mixed with 5% dolomite and 10% rock phosphate to get an improved quality (improved leonardite) before soil application. Increasing demand and elevating cost of used materials as soil conditioners in agriculture have led to investigate the potential use of leonardite on a field scale.

Several leonardite mines have been discovered and started to the production of this natural high-humus material in Thailand. The aim of the present study was to investigate the effects of ground leonardite alone and in combination with compost as organic amendments on rice yield and some soil properties.

Materials and Methods

This study was performed under pot experiment conditions. The aim of this experiment was to evaluate the effect of original leonardite (OL: 100% leonardite), improved leonardite (IL: leonardite containing 5% dolomite and 10% rock phosphate), compost and chemical fertilizer on growth and yield of rice. Chemical properties of the soils before and after planting rice were also analyzed (Department of Agriculture, 2005). The experiment was arranged in completely randomized design with three replications. The following 9 treatments were conducted, T1: control, T2: chemical fertilizer (16-16-8; 20 kg/rai), T3: compost, according to the recommended rate of Department of Agriculture (2,000 kg/rai), T4: OL (2,000 kg/rai), T5: IL (2,000 kg/rai), T6: OL + compost (ratio 1:1 w/w; 2000 kg/rai), T7: OL + compost (ratio 3:1 w/w: 2000 kg/rai), T8: IL + compost (ratio 1:1 w/w: 2000 kg/rai) and T9: IL + compost (ratio 3:1 w/w) 2000 kg/rai. Thai jasmine rice cultivar KDML105 was used in this study. Two equal splits of each treatment were applied at 5 days before the rice planting and 30 days after the initial input. During the trial, the water level was maintained in the range of 5 to 10 cm above the soil surface, including the prevention and control of pests and weeds. Data were collected on plant height (cm), number of tillers (per plant), number of leaves (per plant), number of panicle (per plant), dry weight of the grain and straw dry weight (g per plant). The data obtained were subjected to analysis of variance by using MSTATC computer software and means were separated by LSD test (Steel *et al.*, 1997)

Results and Discussion

1. Soil chemical properties

Chemical properties of the soil before planting rice

Soil analysis was done before sowing and after harvesting of rice (Table 1). The observed data showed that the soils used in the pot experiment were slightly acidic, with an average of 6.09 and low organic matter content (1.45%). The initial concentration (before planting rice) of total nitrogen (N) was 0.11%, available phosphorus (P) and exchangeable potassium (K) were 17.33 and 122 mg/kg, respectively. The optimum values of available P in soil is 26 - 42 mg P/kg (Office of Agricultural Research and Development Region 1, 2016). The results showed that the quantity of phosphorus in the

soil was inadequate for plant growth. Inadequate P levels in the soil can impact the plant, especially under stressful conditions. Adequate P levels are required to enhance shoot and root growth and promote early maturity. Therefore, the soil phosphorus should be raised to improve crop yield.

Chemical properties of the soil after planting rice

The analysis results of the soil after planting rice under submerged conditions are shown in Table 1. The pH values of all the soil samples were increased and ranged from 6.91 - 7.34 which was higher than that of the pre-planting soil (pH 6.09). Submergence caused a small initial decline followed by a gradual increase in pH values of soil solution (Islam and Islam, 1973). The soil pH in all the treatments applied with compost, leonardite (OL and

Table 1. The analysis results of the soil after planting rice

Tr	Treatments	pH	OM (%)	Total Nitrogen (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable (mg/kg)		
						K	Ca	Mg
-	Pre-planting soil	6.09	1.65	0.09	17.33	122	1025	95
T1	Control	7.11	1.50 ^c	0.07 ^b	15.97 ^f	154 ^e	1414 ^e	95 ^d
T2	Chemical fertilizer (16-16-8): 20 kg/rai	7.02	1.48 ^c	0.07 ^b	42.88 ^a	273 ^{cd}	2248 ^{cd}	83 ^{de}
T3	Compost: 2,000 kg/rai	7.13	2.71 ^b	0.14 ^a	33.51 ^d	278 ^{cd}	2282 ^c	93 ^{de}
T4	OL: 2,000 kg/rai	7.25	2.51 ^b	0.13 ^a	33.22 ^d	326 ^b	2197 ^d	80 ^e
T5	IL: 2,000 kg/rai	6.91	3.13 ^a	0.16 ^a	28.12 ^e	256 ^d	2400 ^b	92 ^{de}
T6	OL + Compost (ratio 1:1):2000 kg/rai	7.26	3.16 ^a	0.16 ^a	41.12 ^{ab}	174 ^e	2607 ^a	111 ^{bc}
T7	OL + Compost (ratio 3:1): 2000 kg/rai	7.24	2.97 ^a	0.15 ^a	39.45 ^{bc}	294 ^c	2466 ^b	111 ^c
T8	IL + Compost (ratio 1:1): 2000 kg/rai	7.27	2.67 ^b	0.14 ^a	37.50 ^c	411 ^a	2416 ^b	127 ^b
T9	IL + Compost (ratio 3:1): 2000 kg/rai	7.34	2.61 ^b	0.13 ^a	33.69 ^d	171 ^e	2563 ^a	144 ^a
	Mean	7.17	2.52	0.13	33.96	260	2287	104
	F-test	ns	*	*	*	*	*	*
	% CV	5.00	5.97	15.85	3.63	5.72	1.9	8.08
	Soil properties suitable for growing crops ¹	6 - 7	2.5 - 3	-	26 - 42	130	1040	135

^{a-f} Within rows not sharing a common superscripts are not significantly different ($P < 0.05$)

* Not significantly different at $P < 0.05$

¹ Office of Agricultural Research and Development Region 1 (2016)

IL) and the combination of compost plus leonardite resulted in higher soil pH (more alkali) than the control soil under submerged condition. However, chemical fertilizer and improved leonardite (IL) decreased the soil pH (pH 7.02 and 6.91, respectively) compared with the control (pH 7.11) (Table 1). The lower pH value of fertilizer treated soil and higher pH value in compost manure treated soil explains the acidifying effects of the NPK fertilizer and the neutralizing effects of compost and leonardite plus compost. The compost manure has been found to be capable of improving soil pH because of the relative exchangeable Ca, Mg and K it contained (Olayinka and Adebayo, 1985). Soils with added organic matter can help adjust soil pH to the neutral range (6.5 - 7.5), which is of benefit to the rice crop, because this pH range appears to favor nutrient uptake by wetland rice (Sahrawat, 2005). Soil organic matter (SOM) in the control soil (1.65%) showed little decreased after planting (1.50%) this might due to the decomposition of added organic matter is relatively low under submerged conditions. The soils in the treatments with compost and/or leonardite application (T3 to T9) led to significant increase in SOM (2.51 to 3.16%), as compare to the control and chemical fertilizer application. The increased values obtained in this experiment could be attributed to the levels of compost and/or leonardite application.

Significant differences were found in N, P, K and Ca levels among the treatments with organic application (T3 to T9) however these nutrients levels in the soils after planting rice could be considered adequate for the next crop (Table 1). The addition of organic materials into the soil resulted in increases in the soil nitrogen levels (0.13 - 0.16%). The levels of available phosphorus (mg P/kg) in all the treatments with organic amendment were increased about twice

(28.12 - 42.88 mg P /kg) and reach the optimum values (26 - 42 mg P/kg) (Office of Agricultural Research and Development Region 1, 2016) for plant growth while the P level of the control soil was quite low (15.97 mg/kg). The levels of exchangeable K and Ca showed similar trend as the P level, the values obtained from organic application showed much higher values than those of the control (Table 1). In general, the application of compost plus leonardite led to a certain increase in Mg level with the value ranged from 111 -144 mg/kg. Plant nutrient elements contained in all the leonardite samples were quite high (N, K, S, Ca, Mg, Fe, Zn and Mn) except for phosphorus. (Shutsrirung *et al.*, 2016). However, in the present study, the application of 2,000 kg/rai of original leonardite (OL) seemed to be sufficient to reach the optimum P level for crop demand. Our results indicated that leonardite and improved leonardite could provide a rich source of nutrients with high organic matter content and the use of this high humus material can be beneficial to improve soil nutrients level for the next crop, which may ultimately increase crop yields.

2. Effects of compost and leonardite on growth and yield of rice

Plant height, number of tiller and number of leaves

Plant height was not significantly different ($P < 0.05$) between the treatments except T5 that gave significant lower height (85.33 cm) than the rest of the treatments (Table 2). The application of original leonardite (OL: 100% leonardite) resulted in the lowest number of tillers and leaves per plant. Ratanaprommanee and Shutsrirung (2014) suggested that the pH and phosphorus level of OL should be raised before soil application due to the low pH values (1.84 to 2.55) and low P content (28.6 to 211.2 mg/kg) of

Table 2. Growth parameters of rice variety jasmine rice 105 at 2 months after transplanting

Tr	Treatments	Plant height (cm)	Number of Eillers/ plant	Number of leaves/plant
T1	Control	93.13 ^{ab}	22.00 ^b	77.00 ^b
T2	Chemical fertilizer (16-16-8): 20 kg/rai	92.00 ^{ab}	36.67 ^a	123.00 ^a
T3	Compost: 2,000 kg/rai	91.13 ^{ab}	27.00 ^{ab}	92.00 ^b
T4	OL: 2,000 kg/rai	90.63 ^{ab}	20.00 ^b	78.00 ^b
T5	IL : 2,000 kg/rai	85.33 ^b	25.33 ^{ab}	94.67 ^b
T6	OL + Compost (ratio 1:1):2000 kg/rai	92.67 ^{ab}	29.00 ^{ab}	91.33 ^b
T7	OL + Compost (ratio 3:1): 2000 kg/rai	94.33 ^a	27.00 ^{ab}	91.33 ^b
T8	IL + Compost (ratio 1:1): 2000 kg/rai	94.50 ^a	30.33 ^{ab}	94.67 ^b
T9	IL + Compost (ratio 3:1): 2000 kg/rai	91.93 ^{ab}	32.00 ^{ab}	98.33 ^b
	Mean	91.74	27.70	93.37
	F-test	*	*	*
	% CV	5.60	28.90	14.76

^{a-n} Within rows not sharing a common superscripts are not significantly different ($P < 0.05$)

* Not significantly different at $P < 0.05$; OL (original leonardite); IL (improved leonardite)

most leonardite samples. In our study, the improved leonardite (IL: leonardite containing 5% dolomite and 10% rock phosphate) was used in T5, T8 and T9. The IL applied in these three treatments increased both the tillers and leaves per plant compared with the OL treatments (T4, T6 and T7). The increased values of the tillers per plant obtained in T5, T8 and T9 (25.3, 30.3 and 32.0 tillers/plant, respectively) exhibited large differences from those obtained from T4 (20.0 tillers/plant). In addition, the increased values did not show significant difference from that obtained using chemical fertilizer (36.7 tillers/plant). The similar trend of differences among the treatments was observed with the number of leaves. Among organic materials application treatments, the IL, OL plus compost and IL plus compost showed obvious increase in the number of leaves compare with OL application alone and the control. Compost application (T3) gave an increase of both tillers/plant and number of leaves/plant moreover the increase was further improved by the mixture of compost and

improved leonardite (T8 and T9). The growth enhancement by these combined effects in the T8 and T9 might be due to high humic acid and micronutrients in leonardite. Tillers of the rice plant during the early stages of development are crucial stage to the production of effective ears (Nguyen *et al.*, 2004; Sivakumar *et al.*, 2007). Leonardite which contains high amount of humic substances, particularly humic acid, induced stimulation of plant growth as reported by Chen and Aviad (1990); and Arancon *et al.* (2002). Our results suggested that higher soil P level obtained in IL treatments might play an important role increasing number of tillers per plant. It was reported that the application of humic acid increased the synthesis and activity of IAA which played a significant role in promoting the plant growth. Mohammadipour *et al.* (2012) showed that the application of humic acid improved the plant growth parameters. In the present study, high humic acid content in leonardite might affect rice growth improvement.

Yield and yield components of rice

The number of panicles produced was the highest under T2 followed by T3, T9 and T8 (22.67, 20.33, 19.33 and 18.67, respectively). It was observed that high grain yields were also obtained with these 4 treatments, the highest grain yield was obtained by T2 followed by T8, T9 and T3 (52.13, 50.58, 50.29 and 49.22 g/plant, respectively) (Table 3). The grain yield increment under the T2, T8, T9 and T3 was 56.8, 52.2, 51.3 and 49.2%, respectively as compared to the control treatment. No significant differences of the number of panicle and grain yield were found among T2, T8, T9 and T3 treatments. However, the grain yield of these four treatments was significantly higher than those of the control and the rest of the treatments except T5. Our results suggested that total tillers and panicle per plant showed a very important parameter because of its association with other important yield components,

particularly grains yield (Table 2 and 3). On the average, the higher tiller number and panicle number had led to higher grain yield (Figure 1). Gravois and Helms (1992) reported that among different yield components of rice, panicle density had the largest positive direct effect on rice yield. It seemed that there has been no report on the application of leonardite for soil and crop yield improvement. However, there are several reports on pure humic acid application on crop yield. Saha *et al.* (2014) concluded that the combine application of humic acid and manure considerably influenced rice grain yield. The highest grain yield was obtained with the application of humic acid (1 L/rai) plus poultry manure (480 kg/rai). Foliar application of lignite humic acid markedly increased grain yield of rice. The application of 1.5% humic acid gave the highest grain yield (682 kg/rai) (Bama, 2009). In the present study, the results also suggested that

Table 3. Effect of different treatments on growth parameters

Tr	Treatments	Panicle per plant	Grain yield (g/plant)	Grain yield	Straw yield (g/plants)	Straw yield
				increase over control (%)		increase over control (%)
T1	Control	14.33 ^b	33.24 ^d	-	105.80 ^e	-
T2	Chemical fertilizer (16-16-8): 20 kg/rai	22.67 ^a	52.13 ^a	56.80	124.81 ^{cde}	17.96
T3	Compost: 2,000 kg/rai	20.33 ^{ab}	49.22 ^{ab}	48.06	108.76 ^{de}	2.79
T4	OL: 2,000 kg/rai	16.33 ^b	38.61 ^{cd}	16.15	208.66 ^a	97.22
T5	IL : 2,000 kg/rai	15.33 ^b	39.75 ^{cd}	19.59	229.58 ^a	117.00
T6	OL + Compost (ratio 1:1):2000 kg/rai	16.67 ^b	42.78 ^{bc}	28.68	195.31 ^{ab}	84.60
T7	OL + Compost (ratio 3:1): 2000 kg/rai	15.67 ^b	39.36 ^{cd}	18.41	168.31 ^{abcd}	59.08
T8	IL + Compost (ratio 1:1): 2000 kg/rai	18.67 ^{ab}	50.58 ^{ab}	52.16	139.85 ^{bcde}	32.18
T9	IL + Compost (ratio 3:1): 2000 kg/rai	19.33 ^{ab}	50.29 ^{ab}	51.27	181.68 ^{abc}	71.72
	Mean	17.70	43.99		162.53	
	F-test	*	*		*	
	% CV	19.84	12.01		22.00	

^{a-n} Within rows not sharing a common superscripts are not significantly different ($P < 0.05$)

* Not significantly different at $P < 0.05$; OL (original leonardite); IL (improved leonardite)

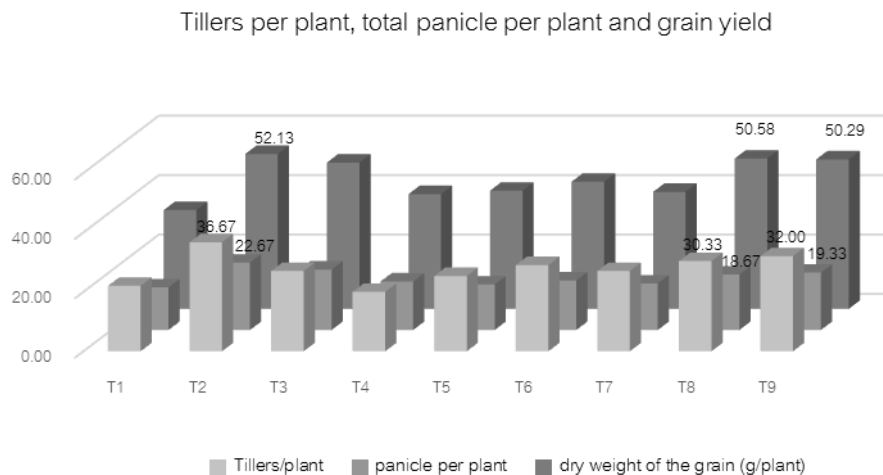


Figure 1. Tillers, panicle and grain yield as affected by chemical fertilizers and organic amendments

T1 = Control; T2 = Chemical fertilizer (16-16-8): 20 kg/rai; T3 = Compost: 2,000 kg/rai; T4 = OL: 2,000 kg/rai; T5 = IL : 2,000 kg/rai; T6 = OL + Compost (ratio 1:1):2000 kg/rai; T7 = OL + Compost (ratio 3:1): 2000 kg/rai T8 = IL + Compost (ratio 1:1): 2000 kg/rai; T9 = IL + Compost (ratio 3:1): 2000 kg/rai

leonardite which contains high amount of humic substances, particularly humic acid, influenced rice plant in a direct and indirect manner. Leonardite influences the plant growth directly either through its effects on ion uptake or by more direct effects on the growth regulation of the plant (Vaughan and Linehan, 1976). Straw yield did not follow the same order as found for panicles and grain yield. The highest straw yield was obtained under T4 and T5 while chemical fertilizer (T2) gave only about half of the straw yield, as compared to these two treatments (Table 3). This result indicated that the high straw yield in T4 and T5 did not seem to lead to higher yields.

Conclusion

It can be concluded that, among organic fertilizers, the combined effects of improved leonardite and compost at the rate of 2,000 kg/rai exhibited the highest increase in soil organic matter, plant nutrients and had led to the highest yield components and grain yield of Thai jasmine rice cultivar KDML105. From the above discussion it is

clear that leonardite have a significant influence on growth and productivity in rice when applying in combination with compost. Organic fertilizers can be a better supplement of inorganic fertilizer to produce better growth and yield without harmful to the environment. From an environmental and economic viewpoint as well as for sustainable soil management, application of IL + compost, 2,000 kg/rai could be recommended for use with lowland rice. The use of improved leonardite as alternative to commercial chemical fertilizers not only results in soil and crop yield improvement but also reduces pollution due to reduced nutrient run-off and N leaching. However, to confirm the effects of leonardite on soil and rice yield improvement, field experiment should be conducted.

Acknowledgements

The authors wish to express special thanks to Pumpkin Tools Corporation Co., Ltd. for financial support.

References

- Arancon, N.Q., S. Lee, C.A. Edwards and R. Atiyeh. 2002. Effects of humic acids derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse plants. *Pedobiology* 47: 741-744.
- Bama, K. S. 2009. Foliar application of humic acid for rice yield and nutrition. *Journal of Ecology* 25(3): 241-244.
- Chen, Y. and T. Aviad. 1990. Effects of humic substances on plant growth. pp. 161-186. *In*: P. MacCarthy, C.E. Clapp, R.L. Malcolm and P.R. Bloom (eds.). *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*. ASA and SSSA, Madison.
- Department of Agriculture. 2005. Fertilizer analysis. Section of fertilizer analysis. Division of Agricultural Chemistry, Department of Agriculture, Bangkok. 52 p.
- El-Razek, E.A., A.S.E. Abd-Allah and M.M.S. Saleh. 2012. Yield and fruit quality of Florida Prince peach trees as affected by foliar and soil applications of humic acid. *Journal of Applied Sciences Research* 8(12): 5724-5729.
- Fong, S.S., L. Seng and H.B. Mat. 2007. Reuse of nitric acid in the oxidative pretreatment step for preparation of humic acids from low rank coal of Mukah, Sarawak. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 18: 41-46.
- Gravois, K.A. and R.S. Helms. 1992. Path analysis of rice yield and yield components as affected by seeding rate. *Agronomy Journal* 84: 1-4.
- Hussain, N.G. Hassan, A. Ghafoor and G. Sarwar. 1998. Bioremediation of sandy clay loam saline-sodic soil. pp. 293-300. *In*: Proceedings of 6th Intl. Micro Irrigation Cong. March 8-10, 1998, Florida, USA.
- Ihsanullah, D. and A.A. Bakhshwain. 2013. Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. *Pakistan Journal of Botany* 45: 21-25.
- Inthajak, J. 2012. Use of leonardite for improving compost quality and kale yield. M.S. Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai. 89 p.
- Islam, A. and W. Islam. 1973. Chemistry of submerged soils and growth and yield of rice. *Plant and Soil* 39(3): 555-565.
- Mohammadipour, E., A. Golchin, J. Mohammadi, N. Negahdar and M. Zarchini. 2012. Improvement fresh weight and aerial part yield of marigold (*Calendula officinalis* L.) by humic acid. *Annals of Biological Research* 3(11): 5178-5180.
- Nguyen, B.V., D.C. Oik and K.G. Cassman. 2004. Nitrogen mineralization from humic acid fractions in rice soils depends on degree of humification. *Soil Science Society of America Journal* 68: 1278-1284.
- Office of Agricultural Research and Development Region 1. 2016. Analysis of soil water fertilizer plants. (Online). Available: http://www.oard1.doa.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=12 (January 21, 2017).
- Olayinka, A. and A. Adebayo. 1985. The effects of methods of application of saw dust on plant growth nutrients uptake and soil chemical properties. *Plant and Soil* 85: 47-56.
- Pettit, R.E. 2004. Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: Their importance in soil fertility and plant health. (Online). Available: <http://www.humate.info/mainpage.htm> (November 19, 2016).

- Ratanaprommanee, C. and A. Shutsrirung. 2014. Chemical properties and potential use in agriculture of leonardite from different sources in Thailand. pp. 1236-1246. *In: Proceedings of the 5th National and International Hatyai Conference*. May 16, 2014. Hatyai University, Hat Yai, Songkhla.
- Saha R., M. A. U. Saieed, M. A. K. Chowdhury and M. A. H. Chowdhury. 2014. Influence of humic acid and poultry manure on nutrient content and their uptake by T. aman rice. *Journal of the Bangladesh Agricultural University* 12(1): 19-24.
- Sahrawat K.L. 2005. Fertility and organic matter in submerged rice soils. *Current Science* 88 (5): 735-739.
- Shutsrirung A., C. Ratanaprommanee, K. Chinachanta, 2016. Chemical and biological properties of leonardite and application for growth enhancement of rice. Final Report. Pumpkin Tools Corporation Co., Ltd., Bangkok. 181 p.
- Singh, R.D. and D.V. Yadav. 1986. Evaluation of low grade rock phosphate composted with some agricultural wastes for use in a crop rotation. *Agricultural Wastes* 18(1): 73-79.
- Sivakumar, K., L. Devarajan, K. Dhanasekaran, D. Venkatakrishnan and U. Surendran. 2007. Effect of humic acid on the yield and nutrient uptake of rice. *International Journal on Rice* 44(3): 277-279.
- Somchan, N. and A. Shutsrirung. 2014. Leonardite quality improvement for soil amendment. *KMUTT Research and Development Journal* 37(1): 33-43.
- Steel R. G. D., J. H. Torrie and D. A. Dickey. 1997. *Principles and Procedures of Statistics. A biometrical Approach*. McGraw-Hill, New York.
- Wattanaphayapkul, W. 2014. Effects of wood vinegar and manure on growth, yield and seed quality of Hom Mali rice. *Journal of Agriculture* 31(3): 269-279.
- Vaughan, D. and D.J. Linehan. 1976. The growth of wheat plants in humic acid solutions under axenic conditions. *Plant and Soil* 44: 445-499.
-

ผลของการใช้ปุ๋ยละลายช้าต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ของข้าวโพดอาหารสัตว์ ในพื้นที่จังหวัดตาก

Effects of Slow-release Fertilizer on Growth, Yield, and Seed Qualities of Field Corn in Tak Province

ชูชาติ สันธทรัพย์* และ กนกวรรณ นพพรณ
Choochad Santasup* and Kanokwan Noppan

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

*Corresponding author: Email: santasup@gmail.com

(Received: 16 February 2017; Accepted: 3 April 2017)

Abstract: Field experiment was carried out during November 2011 - April 2012 in northern Thailand at Mae Ra Mad district, Tak province in order to evaluate the effects of slow-release fertilizer applications on growth, yield and seed quality of field corn. The experimental design was a randomized complete block design (RCBD) with 4 replications and 6 treatments. The treatments were as follows; (1) 75 kg/rai of slow-release fertilizer, (2) 100 kg/rai of slow-release fertilizer, (3) 75 kg/rai of slow-release fertilizer incorporated with common chemical fertilizer (4) 100 kg/rai of slow-release fertilizer incorporated with common chemical fertilizer, (5) 100 kg/rai of common chemical fertilizer and (6) no fertilizer as the control treatment. The results showed that the height of field corn obtained by the application of slow-release fertilizers did not significantly differ from the common chemical fertilizer (20-10-10). However, the application of slow-release fertilizer at the rate of 75 kg/rai (25 kg/rai of 13-10-20 as basal application and 50 kg/rai of 25-15-0 at 30 DAP) produced a significantly higher yield than the application of common chemical fertilizer (20-10-10) at the rate of 100 kg/rai (50 kg as basal application, 25 kg at 20 DAP and 25 kg at 40 DAP). In addition, it was found that the seed qualities (100-seed weight, germination rate and germination index) by applied the slow-release fertilizer treatments, did not significantly differ from the common chemical fertilizer (20-10-10). The results from this studies suggested that the application of slow-release fertilizer at the rate of 75 kg/rai (treatment 1) seem to be the most promising fertilizer program for corn seed production in Tak province due to higher efficiency, reduction in fertilizer usage, and decrease the number of applications as a result of reduced labor and production costs.

Keywords: Field corn, fertilizer management, slow-release fertilizer

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยละลายช้าต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ ได้ดำเนินการทดลองในพื้นที่ปลูกข้าวโพด อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2554 ถึงเดือนเมษายน 2555 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ และ 6 กรรมวิธีทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วยอัตราการใช้ปุ๋ย (1) ปุ๋ยละลายช้า 75 กก./ไร่ (2) ปุ๋ยละลายช้า 100 กก./ไร่ (3) ปุ๋ยละลายช้าร่วมกับปุ๋ยเคมีธรรมดา 75 กก./ไร่ (4) ปุ๋ยละลายช้าร่วมกับปุ๋ยเคมีธรรมดา 100 กก./ไร่ (5) ปุ๋ยเคมีธรรมดา 100 กก./ไร่ และ (6) ไม่ใส่ปุ๋ยเป็นกรรมวิธีควบคุม ผลการศึกษาพบว่า การใช้ปุ๋ยละลายช้าทุกกรรมวิธีไม่ได้ทำให้ความสูงของต้นข้าวโพด แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยเคมีธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยละลายช้าตามกรรมวิธีที่ 1 ในอัตรา 75 กก./ไร่ (ใส่ 2 ครั้ง รองพื้นด้วย 13-10-20, 25 กก./ไร่ และที่ระยะ 30 วันหลังปลูกด้วย 25-15-0, 50 กก./ไร่) ช่วยเพิ่มผลผลิตได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีธรรมดา (20-10-10) ในอัตรา 100 กก./ไร่ (รองพื้น 50 กก. ที่ระยะ 20 วันหลังปลูก 25 กก. และ ที่ระยะ 40 วันหลังปลูก 25 กก.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยละลายช้าทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่ทำให้คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ (น้ำหนัก 100 เมล็ด อัตราการงอก และดัชนีการงอก) ต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดาที่อัตรา 100 กก./ไร่ ซึ่งจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยละลายช้าเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง สำหรับเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ในพื้นที่จังหวัดตาก เนื่องจากข้อได้เปรียบทางด้านคุณสมบัติของปุ๋ยละลายช้า ทำให้ลดปริมาณการใช้ปุ๋ย และลดจำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ย ซึ่งเป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต

คำสำคัญ: ข้าวโพดอาหารสัตว์ การจัดการปุ๋ย ปุ๋ยละลายช้า

คำนำ

ข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์เป็นอย่างมาก มีพื้นที่เพาะปลูกในประเทศประมาณ 7.43 ล้านไร่ โดยภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 67.67 ของทั้งประเทศ ซึ่งสามารถให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่สูงที่สุดถึง 669 กก./ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) อย่างไรก็ตามการผลิตข้าวโพดอาหารสัตว์ในประเทศ ปี 2557/58 ลดลงจากปี 2556/57 ร้อยละ 3.01 เนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นที่ให้ผลตอบแทนดีกว่า แต่เนื่องจากภาคอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ยังคงขยายตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ความต้องการใช้ข้าวโพดอาหารสัตว์เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ดังนั้นจึงต้องส่งเสริมการผลิตข้าวโพดอาหารสัตว์ภายในประเทศให้เพิ่มขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการโดยการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตต่อพื้นที่ ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีและมีปริมาณผลผลิตสูง ระบบการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ในประเทศส่วนใหญ่ มีการเพาะปลูกพืชเชิงเดี่ยวติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญ

ในการใส่ปุ๋ย ซึ่งในปัจจุบันการใช้ปุ๋ยเคมีซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี ง่ายต่อการชะล้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินทรายซึ่งเป็นดินที่มีคุณสมบัติระบายน้ำได้ดี จึงทำให้เกิดการสูญเสียปุ๋ยที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นปุ๋ยซึ่งมีคุณสมบัติที่ค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืช จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เพื่อลดต้นทุนในด้านแรงงานได้ ปัจจุบันมีปุ๋ยที่ละลายช้า หรือปุ๋ยที่มีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้า ๆ (slow-release fertilizer) และปุ๋ยที่สามารถควบคุมการละลายของธาตุอาหารได้ (controlled released fertilizer) ถูกผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์หลายชนิด ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการนำมาใช้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยละลายช้าโดยทั่วไปมักมีราคาสูงกว่าปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรนิยมใช้ ดังนั้นการศึกษาการจัดการปุ๋ยละลายช้าที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่จังหวัดตาก ซึ่งเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศไทย เพื่อให้เกษตรกรในพื้นที่สามารถใช้ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ย ซึ่งเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนและวิธีการทดลอง

การศึกษาดำเนินการทดลองในครั้งนี้ได้ดำเนินการทดลองในแปลงปลูกข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ของเกษตรกรในพื้นที่ อ.แม่ระมาด จ.ตาก ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2554-เดือนเมษายน 2555 โดยดินที่ใช้ปลูกมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน 6.02 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.45% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 9.8 มก./กก. และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 205 มก./กก. ใช้ข้าวโพดสายพันธุ์แทมเบอร์ 57 โดยปลูกข้าวโพดสายพันธุ์พ่อ 1 แถว แทรกอยู่ในทุก ๆ 4 แถวข้าวโพดสายพันธุ์แม่ ในระบบการปลูกแบบ 0, +2 (ปลูกข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแถวแรกพร้อมสายพันธุ์แม่ และปลูกข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแถวหลังปลูกหลังข้าวโพดสายพันธุ์แม่ 2 วัน) โดยมีระยะปลูก 70 x 18 ซม. ในแปลงทดลองขนาด 20 x 20 ม. การศึกษาครั้งนี้ เป็นการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (randomized complete block design, RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ และมีกรรมวิธีทดลอง 6 กรรมวิธี คือ (1) ใส่ปุ๋ยละลายช้า 75 กก./ไร่ (รองพื้นด้วยปุ๋ยเกรด 13-10-20 อัตรา 25 กก./ไร่ และที่ระยะ 30 วันหลังปลูกใช้ปุ๋ยเกรด 25-15-0 อัตรา 50 กก./ไร่), (2) ใส่ปุ๋ยละลายช้า 100 กก./ไร่ (รองพื้นด้วยปุ๋ยเกรด 13-10-20 อัตรา 50 กก./ไร่ และที่ระยะ 30 วันหลังปลูกใช้ปุ๋ยเกรด 25-15-0 อัตรา 50 กก./ไร่), (3) ใส่ปุ๋ยละลายช้า 25-15-0 อัตรา 50 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีธรรมดา 0-0-40 อัตรา 25 กก./ไร่ (รองพื้นด้วยปุ๋ยเกรด 25-15-0 อัตรา 25 กก./ไร่ และปุ๋ยเกรด 0-0-40 อัตรา 25 กก./ไร่ และที่ระยะ 30 วันหลังปลูก ใช้ปุ๋ยเกรด 25-15-0 อัตรา 25 กก./ไร่), (4) ใส่ปุ๋ยละลายช้า 25-15-0 อัตรา 75 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีธรรมดา 0-0-40 อัตรา 25 กก./ไร่ (รองพื้นด้วยปุ๋ยเกรด 25-15-0 อัตรา 25 กก./ไร่ และปุ๋ยเกรด 0-0-40 อัตรา 25 กก./ไร่ และที่ระยะ 30 วันหลังปลูก ใช้ปุ๋ยเกรด 25-15-0 อัตรา 50 กก./ไร่), (5) ใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดาเกรด 20-10-10 อัตรา 100 กก./ไร่ (รองพื้น อัตรา 50 กก./ไร่ ที่ระยะ 20 วันหลังปลูก อัตรา 25 กก./ไร่ และที่ระยะ 40 วันหลังปลูก 25 กก./ไร่) และ (6) กรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยเป็นกรรมวิธีควบคุม

การเก็บบันทึกข้อมูล

บันทึกการวัดความสูงของลำต้นจากพื้นดินถึงโคนใบธงของข้าวโพดสายพันธุ์แม่ ที่ระยะ 25, 45 และ 65 วันหลังปลูก และที่ระยะ 45 วันหลังปลูก ทำการวัดค่าความเข้มของสีใบ (SPAD) โดยใช้เครื่องวัดคลอโรฟิลล์ในใบพืช (chlorophyll meter) รุ่น SPAD- 502 ยี่ห้อ Konica Minolta และคำนวณค่าความเขียวสัมพัทธ์ (relative-SPAD, R-SPAD) ตามกรรมวิธีของ Beegle *et al.* (2008) โดยใช้ค่าเฉลี่ย SPAD จากการใส่ปุ๋ยจากกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนสูงที่สุด (กรรมวิธีที่ 5) เป็นค่าเปรียบเทียบกับระยะ 65 วันหลังปลูก (ระยะข้าวโพดออกไหม) ทำการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์การสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของต้นข้าวโพด และเก็บตัวอย่างใบที่ติดฝัก (ear leaf) วิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารหลัก ในโตรเจน (Novozamsky *et al.*, 1974), ฟอสฟอรัส (เนาวรัตน์, 2527) และโพแทสเซียม (Kalra, 1998) เมื่อข้าวโพด 120 วัน ทำการเก็บผลผลิตในพื้นที่ขนาด 4 ตร.ม. จำนวน 2 ซ้ำ (ปริมาณผลผลิตที่ความชื้น 30%) และวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์ โดยการทดสอบหาอัตราการงอก (germination rate) โดยวิธี between paper (ISTA, 1999) ดัชนีการงอก (germination index) (AOSA, 2002) น้ำหนักเฉลี่ยต่อ 100 เมล็ด และความชื้นชื้นของธัญอาหารในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในเมล็ดพันธุ์

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลทดลองโดยอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีการทดลองโดยวิธี least significant difference (LSD)

ผลการทดลอง

ผลของการจัดการปุ๋ยต่อการเจริญเติบโต (ความสูง) และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน

การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันทั้งกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยละลายช้าและกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยธรรมดา ไม่ทำให้การเจริญเติบโต (ความสูง) และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของ

ต้นข้าวโพดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยละลายช้ากรรมวิธีที่ 1-4 ที่ระยะ 25, 45 และ 65 วันหลังปลูก ข้าวโพดมีความสูงอยู่ในช่วง 3.39-3.76, 15.76-19.59 และ 135.16-152.61 ซม. ตามลำดับ ในขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดาตามกรรมวิธีที่ 5 มีความสูง 3.71, 17.45 และ 132.83 ซม. ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าความสูงอยู่ที่ 71.74 ซม. ซึ่งต่ำกว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการสะสมน้ำหนักแห้งบนส่วนเหนือดินของต้นข้าวโพดนั้น พบว่า การใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งบนส่วนเหนือดิน สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินในระหว่างกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย โดยมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.57-0.60 ต้น/ไร่ ในขณะที่กรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีการสะสมน้ำหนักแห้งบนส่วนเหนือดินเพียง 0.41 ต้น/ไร่ (ตารางที่ 1)

ผลของการจัดการปุ๋ยต่อค่า R-SPAD และความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในใบติดฝักที่ระยะออกไหม

ผลการจัดการปุ๋ยกับค่า R-SPAD ที่ระยะ 45 วันหลังปลูก พบว่า การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันทั้งกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยละลายช้าและการใส่ปุ๋ยธรรมดา ไม่ทำให้ค่า R-SPAD แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจากการใส่ปุ๋ยละลายช้ากรรมวิธีที่ 1-4 มีค่า R-SPAD อยู่ในช่วง

1.04-1.13 สำหรับกรรมวิธีที่ 5 ซึ่งถูกใช้เป็นกรรมวิธีเปรียบเทียบ เนื่องจากใส่ปุ๋ยในโตรเจนสูงสุด มีค่า R-SPAD 1.00 ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่า R-SPAD 0.92 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 1 และ 4 เช่นเดียวกับความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในใบติดฝักที่ระยะออกไหมของข้าวโพด พบว่าความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบ จากการใส่ปุ๋ยละลายช้าตามกรรมวิธีที่ 1-4 มีค่าอยู่ในช่วง 2.21-2.36% การใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดาตามกรรมวิธีที่ 5 มีค่า 2.47% ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเพียง 1.70% ซึ่งต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบก็พบในทำนองเดียวกันกับไนโตรเจน การใส่ปุ๋ยละลายช้าตามกรรมวิธีที่ 1-4 มีค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.293-0.325% การใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดาตามกรรมวิธีที่ 5 มีค่า 0.295% ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเพียง 0.267% ซึ่งต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบนั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกกรรมวิธีทดลอง โดยความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบ ของการใส่ปุ๋ยละลายช้าตามกรรมวิธีที่ 1-4 มีค่าอยู่ในช่วง 2.31-2.48% การใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดาตามกรรมวิธีที่ 5 มีค่า 2.30% และกรรมวิธีควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่า 2.41% (ตารางที่ 2)

Table 1. Plant height and dry matter of female seed corn as influenced by different rates of fertilizer application at 25, 45 and 65 DAP

Treatment	Plant height (cm)			Dry matter t/rai
	25 DAP	45 DAP	65 DAP	
1. SF (1) 75	3.76	19.59	152.61 a	0.57 a
2. SF (1) 100	3.45	16.66	132.51 a	0.59 a
3. SF (2) 75	3.61	16.82	143.98 a	0.59 a
4. SF (2) 100	3.39	15.76	135.16 a	0.60 a
5. CF 100	3.71	17.45	132.83 a	0.57 a
6. Control	3.46	13.82	71.74 b	0.41 b
Mean	3.56	16.68	128.14	0.56
CV (%)	7.70	13.89	13.93	17.00
F-test	ns	ns	*	*

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

ผลของการจัดการปุ๋ยต่อปริมาณผลผลิตและ
คุณภาพเมล็ดพันธุ์

ผลของการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อปริมาณ
ผลผลิต และความเข้มข้นของธาตุอาหารไนเมล็ด แสดงไว้
ดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าการใช้ปุ๋ยละลายช้าตามกรรมวิธีที่
1 ให้ผลผลิตสูงสุด 1.09 ตัน/ไร่ (ความขึ้น 30% ซึ่งเป็น
ความขึ้นมาตรฐานที่ใช้ประเมินผลผลิตเพื่อซื้อขาย ณ
แปลงปลูกข้าวโพด โดยบริษัทผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์)

ซึ่งมากกว่าการใช้ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 5 ที่มีปริมาณผลผลิต
0.92 ตัน/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทุกกรรมวิธี
การใช้ปุ๋ยทั้งปุ๋ยละลายช้าและปุ๋ยเคมีธรรมดาามีปริมาณ
ผลผลิต สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติ ที่ได้ผลผลิตเพียง 0.39 ตัน/ไร่ สำหรับความเข้มข้น
ของธาตุอาหารไนเมล็ด พบว่า การจัดการปุ๋ยที่แตกต่าง
กันทั้ง 5 กรรมวิธีไม่ทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหาร
ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในเมล็ดแตกต่างกัน

Table 2. R-SPAD at 45 DAP and concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in ear leave at
65 DAP of female seed corn affected by different rates of fertilizer applications

Treatment	R-SPAD (45 DAP)	Concentration (%)		
		N	P	K
1. SF(1) 75	1.12 a	2.36 a	0.303 ab	2.31
2. SF(1) 100	1.04 ab	2.21 a	0.308 ab	2.35
3. SF(2) 75	1.04 ab	2.28 a	0.325 a	2.48
4. SF(2) 100	1.13 a	2.21 a	0.293 bc	2.43
5. CF 100	0.00 ab	2.47 a	0.295 abc	2.30
6. Control	0.92 b	1.70 b	0.267 c	2.41
Mean	1.04	2.21	0.298	2.38
CV (%)	8.89	13.89	6.72	15.48
F-test	*	*	*	ns

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

Table 3. Yield and concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in grain yield affected by
different rates of fertilizer applications

Treatment	Yield (t/rai)	Concentration (%)		
		N	P	K
1. SF(1) 75	1.09 a	1.66	0.19	0.50
2. SF(1) 100	0.96 ab	1.61	0.18	0.52
3. SF(2) 75	0.99 ab	1.79	0.18	0.46
4. SF(2) 100	0.98 ab	1.64	0.18	0.45
5. CF 100	0.92 b	1.76	0.18	0.60
6. Control	0.39 c	1.72	0.21	0.63
Mean	0.89	1.70	0.19	0.53
CV (%)	11.04	6.59	14.90	28.54
F-test	*	ns	ns	ns

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

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในเมล็ดอยู่ในช่วง 1.61-17.6% ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดอยู่ในช่วง 0.18-0.21% และความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเมล็ดอยู่ในช่วง 0.45-0.63% ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

สำหรับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์นั้น พบว่า การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่ได้ทำให้น้ำหนัก 100 เมล็ดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำหนักเฉลี่ย 100 เมล็ดของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด อยู่ในช่วง 25.77-26.72 กรัม สำหรับอัตราการงอก (germination rate, GR) และดัชนีการงอก (germination index, GI) ของเมล็ด พบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองไม่ทำให้อัตราการงอก และดัชนีการงอกของเมล็ด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีอัตราการงอกอยู่ในช่วง 94.40-98.60% และมีดัชนีการงอกอยู่ในช่วง 11.29-12.41 (ตารางที่ 4)

วิจารณ์

ผลของการจัดการปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

กนกวรรณ และชูชาติ (2559) พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีธรรมชาติเกรด 20-10-10 (แบ่งใส่ 3 ครั้ง) อัตรา 100 กก./ไร่ เป็นอัตราที่เหมาะสม และได้แนะนำให้เกษตรกรใช้สำหรับการผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ ในพื้นที่จังหวัดตาก แทนการใช้ปุ๋ยในอัตรา 150 กก./ไร่ ซึ่งเป็น

อัตราที่เกษตรกรนิยมใช้ในการผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ ซึ่งการใช้ปุ๋ย 20-10-10 อัตรา 100 กก./ไร่ ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนที่ส่งไปนดิน ใกล้เคียงกับปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตของข้าวโพด โดยการผลิตเมล็ดข้าวโพด 1 ตัน/ไร่ (ความชื้นเมล็ด 30%) ข้าวโพดต้องการไนโตรเจนอย่างน้อย 20 กก./ไร่ ต้องการฟอสฟอรัส (P_2O_5) อย่างน้อย 7.9 กก./ไร่ และต้องการโพแทสเซียม (K_2O) อย่างน้อย 23 กก./ไร่ (ชูชาติ, 2554) อัตราการใส่ปุ๋ยดังกล่าวจึงถูกนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยละลายช้า 4 กรรมวิธี โดยใส่ปุ๋ยละลายช้า 2 รูปแบบ คือ 13-10-20 และ 25-15-0 ในอัตรา 75 และ 100 กก./ไร่ และใส่ 2 ครั้ง ซึ่งพบว่า การเจริญเติบโต (ความสูง) น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และ R-SPAD ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการนำปุ๋ยละลายช้ามาใช้สามารถลดปริมาณการใส่ปุ๋ยลงได้ 25 กก./ไร่ และ จำนวนครั้งในการใส่เหลือเพียง 2 ครั้ง ไม่ได้ส่งผลต่อการเจริญเติบโต (ความสูง) น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และ R-SPAD และสอดคล้องกับการศึกษาของ จารุวรรณ และคณะ (2556) พบว่า การใช้ปุ๋ยละลายช้าชนิดปุ๋ยฟลอแรนิต และเอ็มเทค เพียง 25 เปอร์เซ็นต์ส่งเสริมให้พริกหวานการเจริญเติบโตด้านความสูง ใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเรีย และแอมโมเนียม 100% และนอกจากนั้น Fernandez-Escobar *et al.* (2004) ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยละลายช้า และปุ๋ยเคมีปกติ ต่อการเจริญเติบโตของมะกอกในโรงเรือนที่อัตรา 0.75 กรัม ไนโตรเจน และ

Table 4. Seed quality (weight of 100 seeds, germination rate and germination index) as influenced by different rate of fertilizer application

Treatment	Seed quality		
	weight of 100 seed (g)	Germination Rate (%)	Germination index
1. SF(1) 75	25.77	93.80	11.29
2. SF(1) 100	26.07	98.13	12.06
3. SF(2) 75	25.93	94.40	11.68
4. SF(2) 100	26.17	98.60	12.46
5. CF 100	26.72	97.33	12.41
6. Control	25.63	94.00	11.54
Mean	26.05	96.04	11.91
CV (%)	7.18	4.54	7.17
F-test	ns	ns	ns

ns = non-significant

2 กรัม ไนโตรเจน พบว่าการใช้ปุ๋ยละลายช้าที่อัตรา 0.75 กรัม ไนโตรเจน ทำให้การเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีปกติที่อัตรา 2 กรัม ไนโตรเจน

ผลการประเมินสภาวะของการดูแลรักษาอาหารหลักของข้าวโพดที่ระยะ 65 วันหลังปลูก (ระยะออกไหม) ของการใส่ปุ๋ยละลายช้าในอัตราต่างกัน 4 กรรมวิธี และการใช้ปุ๋ยเคมีธรรมดาในอัตราที่เหมาะสมกับข้าวโพด ในการทดลองครั้งนี้พบว่า ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในใบข้าวโพด สำหรับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในใบมีค่าต่ำกว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินมีค่อนข้างต่ำ ไม่เพียงพอต่อความต้องการ (อินทรีย์วัตถุ 1.45% และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 9.8 มก./กก.) แต่อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยละลายช้ากับการใส่ปุ๋ยแบบธรรมดา ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณของธาตุอาหารหลักที่ได้จากการใส่ปุ๋ย พบว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยละลายช้าทั้ง 4 กรรมวิธี มีปริมาณธาตุอาหารหลักที่น้อยกว่าการใส่ปุ๋ยธรรมดา โดยเฉพาะไนโตรเจน ซึ่งกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยละลายช้าให้ไนโตรเจน 12.5-18.75 กก./ไร่ ในขณะที่กรรมวิธีใส่ปุ๋ยธรรมดา ให้ไนโตรเจน 20 กก./ไร่ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าข้าวโพดยังคงดูดใช้ธาตุอาหารได้ตามปกติถึงแม้จะใส่ปุ๋ยน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Cartagena *et al.* (1995) ที่ได้ศึกษาผลของปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ในการปลูกข้าวโพด พบว่าการใช้ปุ๋ยละลายช้า (ฟลอราเนด) ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการดูดธาตุอาหารของข้าวโพดสูงกว่า การใช้ปุ๋ยยูเรีย เนื่องจากปุ๋ยละลายช้าปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้า ๆ และ ต่อเนื่องเพียงพอกับความต้องการของพืช

ผลของการจัดการปุ๋ยต่อปริมาณผลผลิตและคุณภาพเมล็ดพันธุ์

ผลของการจัดการปุ๋ยต่อปริมาณผลผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์ พบว่าการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณผลผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่ปุ๋ยละลายช้ากรรมวิธีที่ 1 มีปริมาณผลผลิต 1.09 ตัน/ไร่ มีปริมาณผลผลิตสูงกว่า การ

ใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดากรรมวิธีที่ 5 ที่มีปริมาณผลผลิต 0.92 ตัน/ไร่ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดาตามกรรมวิธีที่ 5 นี้ (20-10-10, 100 กก./ไร่) กนกวรรณ และชูชาติ (2559) พบว่าเป็นอัตราที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ ในพื้นที่จังหวัดตาก โดยใช้สายพันธุ์ เบอร์ 94 ที่สามารถให้ผลผลิตถึง 2.07 ตัน/ไร่ ซึ่งสูงกว่าสายพันธุ์เบอร์ 57 ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้มาก ที่ให้ผลผลิตสูงสุดเพียง 1.09 ตัน/ไร่ เท่านั้น อย่างไรก็ตามผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยละลายช้าสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ย และแรงงานในการใส่ปุ๋ย เนื่องจากสามารถลดจำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ย ซึ่งการใส่ปุ๋ยละลายช้าใส่จำนวน 2 ครั้ง เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดาที่ใส่จำนวน 3 ครั้ง แต่ไม่ทำให้ปริมาณผลผลิตข้าวโพดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งปุ๋ยละลายช้าที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้เป็นปุ๋ยในกลุ่มที่ถูกเคลือบด้วยสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification inhibitor) ซึ่งไปยับยั้งหรือลดกิจกรรมของแบคทีเรีย (*Nitrosomonas*) ที่เปลี่ยนแอมโมเนียม (NH_4^+) ไปเป็นไนเตรต (NO_3^-) ทำให้ไนเตรตสูญเสียจากดินได้ง่ายโดยการชะล้าง (Trenkel, 2010) ซึ่งผลของการศึกษาก็สอดคล้องกับการศึกษาของ จารวรรณ และคณะ (2556) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยละลายช้าหรือปุ๋ยที่เคลือบสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน ในอัตรา 50% ของค่าวิเคราะห์ดิน เพียงครั้งเดียว ส่งผลให้ผลผลิตพริกหวานสูงกว่าการใส่ปุ๋ยยูเรีย 2 ครั้งในอัตรา 100% ค่าวิเคราะห์ดิน เนื่องจากการใส่ปุ๋ยเพียงครั้งเดียวมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของพืช โดยปุ๋ยละลายช้าที่มีการเคลือบสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน ทำให้ปลดปล่อยธาตุปุ๋ยออกมาช้า ๆ และจากคุณสมบัติการละลายของปุ๋ยละลายช้าที่ปลดปล่อยธาตุอาหารทำให้เกิดการสูญเสียโดยการชะล้างได้น้อยลง จึงทำให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Zekri and Koo (1992) ที่ได้รายงานว่าการใช้ปุ๋ยละลายช้าส่งผลให้พืชวงศ์ส้มมีการเจริญเติบโต และผลผลิตได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีธรรมดา นอกจากนี้ไชยา และคณะ (2554) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า ต่อการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่ง พบว่าปุ๋ยละลายช้า มีแนวโน้มทำให้จำนวนขนาด และน้ำหนักสดสูงกว่าการใช้ปุ๋ยยูเรีย ซึ่งการใส่ปุ๋ยละลายช้า

อัตรา 24 กก./ไร่ มีแนวโน้มที่จะให้ผลผลิตสูงที่สุด เนื่องจากปุ๋ยละลายช้าสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้อย่างต่อเนื่อง และยาวนานกว่าปุ๋ยยูเรีย ธงชัย และคณะ (2554) รายงานว่า การใช้ปุ๋ยละลายช้า (เอ็นเทค) มีแนวโน้มส่งผลให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนเหนือดินและใต้ดินของคะน้าฮ่องกงสูงกว่าการใช้ปุ๋ยยูเรีย และแอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งสอดคล้องกับ การศึกษาของ สมปอง และคณะ (2553) ที่ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยเคลือบสารยับยั้งไนตริฟิเคชัน (เอ็นเทค) กับการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดอาหารสัตว์ในพื้นที่จังหวัดลำปาง เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน และอุดรธานี พบว่าการใช้ปุ๋ยเคลือบสารยับยั้งไนตริฟิเคชัน (เอ็นเทค) ในการผลิตข้าวโพด ให้ผลผลิตดีกว่าการใช้ปุ๋ยธรรมดา ทั้งในการตอบสนองของพืชและในด้านกำไรขาดทุน โดยการใช้ปุ๋ยเคลือบสารยับยั้งไนตริฟิเคชัน (เอ็นเทค) อัตรา 15 กก./ไร่ เป็นอัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือได้ผลผลิตข้าวโพด 21.53 กก./ไร่ ต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 1 กก./ไร่ ในขณะที่การใช้ปุ๋ยเคมีธรรมดาในอัตราที่เกษตรกรนิยมใช้ (อัตรา 28.5 กก./ไร่ไนโตรเจน/ไร่) เป็นอัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีประสิทธิภาพต่ำสุด คือได้ผลผลิตข้าวโพด 10.05 กก./ไร่ ต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 1 กก./ไร่ เช่นเดียวกับ Noellsch *et al.* (2009) ที่ได้ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนธรรมดา และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าส่งผลต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ย ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิต และลดต้นทุนการผลิต สำหรับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์นั้น การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกัน ไม่ได้ทำให้น้ำหนักเฉลี่ย 100 เมล็ด อัตราการงอก (GR) และดัชนีการงอก (GI) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับข้อสรุปของ วันชัย (2542) ที่ได้อธิบายว่าผลของธาตุอาหารที่มีต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ส่วนใหญ่จะกระทบต่อปริมาณ (จำนวนเมล็ด) ก่อนที่จะส่งผลไปถึงคุณภาพการงอกของเมล็ด โดยการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จะทำให้ขนาดของเมล็ดใหญ่ขึ้น

ในการศึกษานี้ได้ประเมินต้นทุนการใส่ปุ๋ยเบื้องต้น โดยได้ทำการสอบถามราคาปุ๋ยจากตัวแทนจำหน่าย ณ ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา (พ.ศ. 2554) ราคาปุ๋ยเคมีธรรมดา 20-10-10 ราคา 1,150 บาท/50 กก. ปุ๋ยละลายช้า 25-10-0 ราคา 700 บาท/25 กก. และปุ๋ยละลายช้า 13-10-20 ราคา 750 บาท/25 กก. และปุ๋ยเคมีธรรมดา 0-0-40 ราคา 950 บาท/25 กก. และค่าจ้างแรงงานใส่ปุ๋ยโดยเฉลี่ย 100 บาท/ไร่/ครั้ง (ใส่แบบโรยหน้าดิน) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยละลายช้าตาม กรรมวิธีที่ 1 อัตรา 75 กก./ไร่ มีต้นทุน 2,350 บาท/ไร่ ตามกรรมวิธีที่ 2 อัตรา 100 กก./ไร่ มีต้นทุน 3,100 บาท/ไร่ การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 อัตรา 75 กก./ไร่ มีต้นทุน 2,600 บาท/ไร่ การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 4 อัตรา 100 กก./ไร่ มีต้นทุน 3,300 บาท/ไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดา 20-10-10 กรรมวิธีที่ 5 อัตรา 100 กก./ไร่ มีต้นทุน 2,600 บาท/ไร่ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยละลายช้าตามกรรมวิธี 1 (13-10-20 และ 25-10-0) อัตรา 75 กก./ไร่ จะสามารถลดต้นทุนการใส่ปุ๋ยได้ 250 บาท/ไร่ เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดา 20-10-10 ในอัตรา 100 กก./ไร่ ซึ่งเป็นอัตราที่เกษตรกรนิยมใช้กันในพื้นที่สำหรับการผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ อย่างไรก็ตาม ราคาปุ๋ยเคมี มีการเปลี่ยนแปลงไปตามกลไกของตลาดและสภาพเศรษฐกิจอยู่ตลอดเวลา เกษตรกรจำเป็นต้องตรวจสอบราคาปุ๋ยเคมีอย่างสม่ำเสมอ เพื่อประเมินถึงความคุ้มค่าคุ้มทุน หากปรับเปลี่ยนมาใช้ปุ๋ยละลายช้าแทนการใช้ปุ๋ยธรรมดาในการผลิตข้าวโพด

จากข้อมูลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ในพื้นที่จังหวัดตากโดยการใช้ปุ๋ยละลายช้า 2 เกรด คือ 13-10-20 อัตรา 25 กก./ไร่ และ 25-15-0 ในอัตรา 50 กก./ไร่ ข้าวโพดได้รับไนโตรเจน 15.5 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 10 กก./ไร่ และโพแทสเซียม (K_2O) 5 กก./ไร่ เพียงพอสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดทั้งในด้านปริมาณผลผลิตและคุณภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีธรรมดา 20-10-10 ในอัตรา 100 กก./ไร่ ที่ข้าวโพดได้รับไนโตรเจน 20 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 10 กก./ไร่ และโพแทสเซียม (K_2O) 10 กก./ไร่ ซึ่งสามารถลดการใช้ปุ๋ยลงได้ถึงร้อยละ 25 โดยไม่มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์

สรุป

การศึกษาเปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยละลายช้าที่แตกต่างกัน 4 กรรมวิธี กับการใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดา 20-10-10 อัตรา 100 กก./ไร่ โดยแบ่งใส่ 3 ครั้ง ตามที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติในการผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ ในพื้นที่อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก สามารถสรุปได้ว่า การใส่ปุ๋ยละลายช้า 13-10-20 รองพื้น อัตรา 25 กก./ไร่ และใส่ปุ๋ยละลายช้า 25-15-0 อัตรา 50 กก./ไร่ ที่ระยะ 30 วัน หลังช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตให้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่ทำให้คุณภาพของเมล็ดพันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดา ซึ่งผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยละลายช้าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ เนื่องจากข้อได้เปรียบทางด้านคุณสมบัติของปุ๋ยละลายช้า ทำให้ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยและลดจำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ย ซึ่งเป็นการประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตลงได้ อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยละลายช้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เกษตรกรจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนวิธีการจัดการและการดูแลแปลงปลูกข้าวโพดจากที่คุ้นเคยปฏิบัติ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาพอสมควรในการปรับเปลี่ยนวิธีการจัดการแปลงปลูก เพื่อให้การใช้ปุ๋ยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผลสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ดี.เอ.พี.จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ปุ๋ยในการทดลอง รวมทั้งบริษัท มอนซานโดไทยแลนด์ จำกัด ที่อนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์และแปลงทดลองของเกษตรกรในความดูแลของบริษัท และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ดินและพืช

เอกสารอ้างอิง

กนกวรรณ นพพันธ์ และ ชูชาติ สันทรทรัพย์. 2559. การจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์

ข้าวโพดอาหารสัตว์ในพื้นที่จังหวัดตาก. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 33(1): 10-19.

จารุวรรณ วรรณประเสริฐ ศุภชัย อำคา และ ธงชัย มาลา. 2556. ผลของปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้าและปุ๋ยเคลือบสารยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อการเจริญเติบโตของพริกหวาน และไนโตรเจนอินทรีย์ในชุดดินกำแพงแสน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2(2): 46-63.

ชูชาติ สันทรทรัพย์. 2554. การจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือ. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ 58 หน้า.

ไชยา บุญเลิศ ศุภชัย อำคา และ ธงชัย มาลา. 2554. ผลของปุ๋ยละลายช้าต่อการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่ง (*Asparagus officinalis* L.). วิทยาสารกำแพงแสน 9(2): 37-52.

ธงชัย มาลา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ ศุภชัย อำคา และ สิริรนา ช่วงโสภาส. 2554. ผลของปุ๋ยไนโตรเจนจากปุ๋ยละลายช้าและไนตริฟิเคชันอินฮิบิเตอร์ต่อการเจริญเติบโตของกล้าพืช. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เนาวรัตน์ ศิวะศิลป์. 2527. การปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 138 หน้า.

วันชัย จันทรประเสริฐ. 2542. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืชไร่. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 275 หน้า.

สมปอง ลิมพงศ์พันธุ์ วิทยา ชมพูพวง เจษฎา ชูบำรุง และ ดุสิต จิตตมูท. 2553. ผลการใช้ปุ๋ยเคลือบสารยับยั้งไนตริฟิเคชันในการปลูกข้าวโพด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(3/1)(พิเศษ): 341-344.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปี 2558. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.oae.go.th/download/prcai/DryCrop/amphoe/maize-amphoe56.pdf> (21 มีนาคม 2560).

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปี 2559. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.oae.go.th/download/prcai/DryCrop/amphoe/maize-amphoe57.pdf> (21 มีนาคม 2560).
- AOSA. 2002. Seed Vigor Testing Handbook. Association of Official Seed Analysts, Lincoln, NE.
- Beegle, D., W. Piekielek, D. Lingenfelter and R. Fox. 2008. The Early Season Chlorophyll Meter Test for Corn. Agronomy Facts 53. Penn State Extension, College of Agricultural Sciences, The Pennsylvania State University, PA. 8 p.
- Cartagena, M.C., A. Vallejo, J.A. Diez, A. Bustos, R. Caballero and R. Roman. 1995. Effect of the type of fertilizer and source of irrigation water on N use in a maize crop. Field Crops Research 44: 33-39.
- Fernandez-Escobar, R., M. Benlloch, E. Herrera and J.M. Garcia-Novelo. 2004. Effect of traditional and slow-release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching. Scientia Horticulturae 101: 39-49.
- ISTA. 1999. International Rules for Seed Testing: rules. 1999. International Seed Testing Association, Zurich. 333 p.
- Kalra, Y.P. 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Boca Raton, FL. 287 p.
- Noellsch, A.J., P.P. Motavalli, K.A. Nelson and N.R. Kitchen. 2009. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a claypan landscape. Agronomy Journal 101: 607-614.
- Novozamsky, I., R. van Eck, J.C. van Schouwenburg and I. Walinga. 1974. Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol-blue method. Netherlands Journal of Agricultural Science 22: 3-5.
- Trenkel, M.E. 2010. Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, France. 160 p.
- Zekri, M. and R.C.J. Koo. 1992. Use of controlled-release fertilizers for young citrus trees. Scientia Horticulturae 49: 233-241.

พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในการผลิตมะเขือเทศ ของเกษตรกรในจังหวัดสกลนคร

Pesticide Application Behaviors in Tomato Production of Farmers in Sakon Nakhon Province

ณัฐรุทท์ กุตระแสง¹ ภาณุพันธุ์ ประภาติกุล^{2*} และ นิวัฒน์ มาศวรรณ¹
Nuttawut Kutrasaeng¹, Panuphan Prapatigul^{2*} and Niwat Martwanna¹

¹ภาควิชาส่งเสริมการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

¹Department of Agricultural Extension, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

²ภาควิชาพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

²Department of Agricultural Economy and Development, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: panuphan69@gmail.com

(Received: 1 August 2016; Accepted: 16 January 2017)

Abstract: Tomato is one of the economic crops that is broadly grown and consumed. In the northeast, Sakon Nakhon province is the largest area for tomato growing but the problem from diseases and insects are still found in which the farmers cannot avoid using the pesticide to protect their crops. Unfortunately, the use of pesticide is highly increased. This study aimed to explore the effective factors that changes the farmer's behaviors and encourages more use of pesticide in tomato farms around Sakon Nakhon province. The sample group consisted of 186 farmers and the questionnaire was used for data collection. Descriptive statistics was applied and stepwise multiple regression was used for the hypothesis test. The result show that, the effective factors on the farmer behavioral change encouraging more use of pesticide was statistically significant at 0.05 including the participation in agricultural activities and training program (positive) and tomato farming area (negative). Meanwhile, the factor correlated to the use of pesticide with statistical significance at 0.01 was the number of tomato generation (positive). Furthermore suggestion was that the responsible organizations should offer more of agricultural workshops to support farmer's participation, and more of site-visit activities to meet the farmers at tomato farming area every year.

Keywords: Behavior, pesticide, tomato, Sakon Nakhon

บทคัดย่อ: มะเขือเทศจัดเป็นพืชผักเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย จังหวัดสกลนครมีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่ในขณะเดียวกันในการผลิตมะเขือเทศนั้นมีโรคและแมลงรบกวนเป็นจำนวนมาก ทำให้เกษตรกรจำเป็นต้องใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในปริมาณมากตามไปด้วยการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลกับพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนคร กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนครจำนวน 186 ราย โดยใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนา และทดสอบสมมติฐานโดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ การมีส่วนร่วมในกิจกรรมและการเข้าร่วมฝึกอบรมทางการเกษตร (เชิงบวก) และพื้นที่ปลูกมะเขือเทศ (เชิงลบ) และปัจจัยที่มีอิทธิพลกับพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 คือ จำนวนวันที่ปลูกมะเขือเทศ (เชิงบวก) ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ควรมีการจัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการทางการเกษตรและเปิดโอกาสให้เกษตรกรเข้ามามีส่วนร่วมในกิจกรรมดังกล่าวให้ทั่วถึง มีการลงพื้นที่เยี่ยมเยียนเกษตรกร โดยเน้นไปที่เกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศจำนวนมาก และเกษตรกรที่ปลูกมะเขือเทศหลายรุ่นในรอบปี

คำสำคัญ: พฤติกรรม สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช มะเขือเทศ สกลนคร

คำนำ

มะเขือเทศจัดเป็นพืชผักเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่นิยมปลูกและบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วโลกมาเป็นเวลานาน เนื่องจากเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง เพราะอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุอยู่หลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น วิตามินซี วิตามินเอ วิตามินเค วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 ธาตุแคลเซียม ธาตุฟอสฟอรัส และธาตุเหล็ก เป็นต้น นอกจากนี้จะบริโภคผลสดแล้วยังสามารถนำมาแปรรูปได้หลายทาง เช่น น้ำมะเขือเทศ ซอสมะเขือเทศ มะเขือเทศแช่อิ่ม มะเขือเทศบรรจุกระป๋อง และมะเขือเทศผลดิบสับแช่เยลลี่ใส่เกล็ด เป็นต้น (อรสา, 2540) สำหรับประเทศไทยนั้นได้ให้ความสำคัญกับการผลิตมะเขือเทศเพื่อรับประทานผลสดและเพื่ออุตสาหกรรมแปรรูป โดยประเทศไทยมีพื้นที่ผลิตมะเขือเทศในปีเพาะปลูก 2555/2556 จำนวน 34,600 ไร่ ผลผลิต 110,720 ตัน โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ มูลค่าของผลผลิตตามที่เกษตรกรขายได้ 1,277 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) โดยมีพื้นที่การผลิตมะเขือเทศที่สำคัญในประเทศอยู่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดสกลนคร จังหวัด

หนองคาย จังหวัดนครพนม จังหวัดกาฬสินธุ์ จังหวัดศรีสะเกษ และจังหวัดบึงกาฬ เป็นต้น โดยจังหวัดที่ผลิตมะเขือเทศมากที่สุดในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ จังหวัดสกลนคร ซึ่งมีพื้นที่การผลิตทั้งหมด 5,232 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556)

จังหวัดสกลนครมีพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ ข้าว มันสำปะหลัง อ้อยโรงงาน แตงโม แคนตาลูป มะเขือเทศโรงงานและมะเขือเทศผลสด ในปี พ.ศ. 2557 มีเกษตรกรที่ผลิตมะเขือเทศ 2,121 ครัวเรือน มีพื้นที่ปลูกประมาณ 5,809 ไร่ มีผลผลิตมะเขือเทศทั้งหมด 17,662,840 กิโลกรัม โดยมีอำเภอที่ปลูกมะเขือเทศทั้งหมด 9 อำเภอ ได้แก่ โพนนาแก้ว ต่างออย พรรณานิคม พังโคน เมืองสกลนคร กุสุมาลย์ วานรนิวาส โคกศรีสุพรรณ และวาริชภูมิ ซึ่งในการผลิตมะเขือเทศถือได้ว่าเป็นรายได้หลักอย่างหนึ่งของเกษตรกรในพื้นที่ เนื่องจากเกษตรกรสามารถผลิตมะเขือเทศเพื่อจำหน่ายผลสดและส่งโรงงานแปรรูปมะเขือเทศได้เกือบตลอดทั้งปี (สำนักงานเกษตรจังหวัดสกลนคร, 2557) แต่ในขณะเดียวกันในการผลิตมะเขือเทศนั้นมีโรคและแมลงรบกวนเป็นจำนวนมาก ทำให้เกษตรกรจำเป็นต้องใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในปริมาณมากตามไปด้วย

สำนักวิจัยและพัฒนาเขตที่ 3 กรมวิชาการเกษตรได้ตรวจสารพิษตกค้างในพืชผักและผลไม้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนพบสารพิษตกค้างในพืชผักและผลไม้หลายชนิด เช่น กวางตุ้ง แดงไทย โหระพา กะหล่ำปลี มะเขือเทศ เป็นต้น (สำนักวิจัยและพัฒนาเขตที่ 3 จังหวัดขอนแก่น, 2555) สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนคร ได้ทำการสุ่มตรวจเลือดเกษตรกรกลุ่มเสี่ยงโดยตรวจหาระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส ซึ่งเป็นดัชนีชี้ให้เห็นถึงระดับของสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในร่างกาย พบว่า ในปี พ.ศ. 2554 เกษตรกรที่เข้าร่วมตรวจเลือด 5,791 คน มีความเสี่ยงและไม่ปลอดภัย จำนวน 1,253 คน (คิดเป็นร้อยละ 21.64) ในปี พ.ศ. 2555 เกษตรกรที่เข้าร่วมตรวจเลือด 22,120 คน มีความเสี่ยงและไม่ปลอดภัย จำนวน 8,618 คน (คิดเป็นร้อยละ 38.36) และในปี พ.ศ. 2556 เกษตรกรที่เข้าร่วมตรวจเลือด 35,187 คน มีความเสี่ยงและไม่ปลอดภัย จำนวน 13,826 คน (คิดเป็นร้อยละ 39.26) (สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนคร, 2556) จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าเกษตรกรในจังหวัดสกลนครมีความเสี่ยงและไม่ปลอดภัยจากการใช้สารเคมีและป้องกันศัตรูพืชโดยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

จากข้อมูลข้างต้นเห็นถึงปัญหาและความสำคัญที่ต้องศึกษาพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนคร เพื่อให้ทราบถึงสภาพการผลิตมะเขือเทศ ปัญหาและอุปสรรคในการผลิตมะเขือเทศ ตลอดจนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนคร โดยข้อมูลที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ในหน่วยงานรัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการวางแผนการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้สารเคมีให้ถูกต้อง เหมาะสม และมีประสิทธิภาพ และสามารถนำผลการวิจัยไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดนโยบาย ยุทธศาสตร์ และกลยุทธ์ด้านการส่งเสริมการผลิตมะเขือเทศให้มีคุณภาพต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

สมมติฐานการศึกษา

ลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยทางเศรษฐกิจ ปัจจัยทางสังคม และสภาพการผลิตมะเขือเทศ มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนคร

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตด้านประชากรและด้านพื้นที่ โดยทำการศึกษาเฉพาะเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศ ปีเพาะปลูก 2557 ในจังหวัดสกลนคร จำนวน 9 อำเภอ ได้แก่ โพนนาแก้ว เต่างอย พรรณานิคม พังโคน เมืองสกลนคร กุสุมาลย์ วาสนาวาส โคกศรีสุพรรณ และวาริชภูมิ จำนวนทั้งสิ้น 2,121 ราย (สำนักงานเกษตรจังหวัดสกลนคร, 2557) ประยุกต์ใช้สูตรของ Yamane (1967) ทำให้ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 186 ราย และคำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม (proportional allocation) เพื่อคิดคำนวณหาขนาดตัวอย่างเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในแต่ละอำเภอ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structure interview) ประกอบไปด้วยคำถามประเภทกำหนดให้เลือก (close-ended question) และคำถามที่ให้ผู้ตอบแสดงความคิดเห็น (open-ended question) โดยมีการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือในด้านความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (content validity) แล้วจึงนำไปทดลองเก็บข้อมูลกับเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศที่ไม่ใช่กลุ่มประชากรจำนวน 30 ราย และหาความเชื่อมั่น (reliability) ของคำถามและคำตอบ โดยใช้วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (บุญชม, 2545) ปรากฏว่า แบบสัมภาษณ์มีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (alpha coefficient) เท่ากับ 0.860 และสัมภาษณ์เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยทางเศรษฐกิจ และปัจจัยทางสังคม สภาพการผลิตมะเขือเทศ และพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนคร ได้แก่ การ

ปฏิบัติ ก่อน ระหว่าง และหลังการฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช (สมาคมอารักขาพืชไทย, 2552) และดำเนินการจัดระดับของข้อมูล แบ่งการปฏิบัติออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ไม่เคยปฏิบัติ ปฏิบัติเป็นบางครั้ง ปฏิบัติทุกครั้ง โดยประยุกต์ใช้ Likert scale (กัลยา, 2553)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติได้แก่

1) สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) สถิติเชิงอ้างอิง (inferential statistics) เพื่อหาอิทธิพลระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน (stepwise multiple regression analysis) เพื่อหาอิทธิพลระหว่างตัวแปรอิสระกับพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูปเพื่อการวิจัยทางสังคมศาสตร์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ลักษณะพื้นฐานส่วนบุคคล ปัจจัยทางเศรษฐกิจ และปัจจัยทางสังคมของเกษตรกร

จากการศึกษาพบว่า เกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนครส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 47.40 ปี จบการศึกษาระดับประถมศึกษา เกษตรกรส่วนใหญ่มีอาชีพหลัก คือ ปลูกมะเขือเทศ รองลงมา คือ ทำนา เลี้ยงปลา เลี้ยงวัวเลี้ยงควาย และทำไร่ ตามลำดับ จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4.83 คน ส่วนใหญ่มีจำนวนแรงงานในการผลิต มะเขือเทศ 1-2 คน มีพื้นที่ถือครองทางการเกษตรทั้งหมดเฉลี่ย 16.02 ไร่ เกษตรกรส่วนใหญ่มีรายได้รวมทั้งหมดในครัวเรือนเฉลี่ย 7,519 บาทต่อเดือน ส่วนใหญ่มีรายจ่ายรวมทั้งหมดโดยเฉลี่ย 6,327.06 บาทต่อเดือน เกษตรกรส่วนใหญ่กู้ยืมเงินมาลงทุนในการปลูกมะเขือเทศ โดยแหล่งเงินทุนที่กู้ยืมเงินมาลงทุนมากที่สุด คือ ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร โดยเกษตรกรมีภาระหนี้สินคงค้างเฉลี่ย 84,432.81 บาท เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นสมาชิกสถาบันทางการเกษตร แต่

ไม่ได้ดำรงตำแหน่งทางการเกษตร และไม่ได้ดำรงตำแหน่งทางสังคม เกษตรกรส่วนใหญ่เคยเข้าร่วมในกิจกรรมและการเข้าร่วมฝึกอบรมทางการเกษตรจากหน่วยงานรัฐและเอกชน และการได้รับข่าวสารเกี่ยวกับการเกษตรจากสื่อต่าง ๆ พบว่า เกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศได้รับข่าวสารทางการเกษตรจากช่องทางโทรทัศน์มากที่สุด และรองลงมาคือ ได้รับข่าวสารทางการเกษตรจากเพื่อนเกษตรกรในพื้นที่ด้วยตนเอง สำหรับการติดต่อสื่อสารกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรทั้งจากภาครัฐและเอกชนน้อยครั้ง เนื่องจากอัตราส่วนของเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร 1 คน รับผิดชอบเกษตรกร 4,000 ครัวเรือน ทำให้เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรแต่ละคนไม่สามารถลงพื้นที่เยี่ยมเยียนเกษตรกรในพื้นที่เขตรับผิดชอบได้อย่างทั่วถึง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553)

สภาพการผลิตมะเขือเทศของเกษตรกร

การศึกษาสภาพการผลิตมะเขือเทศของเกษตรกร พบว่า เกษตรกรร้อยละ 100 มีประสบการณ์ในการปลูกมะเขือเทศเฉลี่ย 10.70 ปี เกษตรกรเลือกปลูกมะเขือเทศพันธุ์เพชรเฟด โกลด์ 111 มากที่สุด รองลงมาคือ พันธุ์ลูกห่านดำแดง โดยจะซื้อเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศจากพ่อค้าคนกลาง โดยทำการเพาะกล้าในถาดเพาะกล้า ก่อนแล้วค่อยย้ายกล้าลงในแปลงปลูก เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมเลือกปลูกมะเขือเทศในสภาพพื้นที่ดอนริมแม่น้ำ เกษตรกรมีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศเฉลี่ย 3.67 ไร่ มีผลผลิตมะเขือเทศที่ผลิตได้เฉลี่ย 3,359.68 กิโลกรัมต่อไร่ ราคารับซื้อผลผลิตมะเขือเทศเฉลี่ย 2.35 บาทต่อกิโลกรัม และเกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกมะเขือเทศ 1 รุ่นต่อปี โดยจำหน่ายผลสดและส่งโรงงานแปรรูปมะเขือเทศในพื้นที่

ปัญหาและอุปสรรคในการปลูกมะเขือเทศของเกษตรกร

ปัญหาและอุปสรรคที่ส่งผลต่อการปลูกมะเขือเทศของเกษตรกรสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเด็น ได้แก่ 1) ปัญหาด้านเชื้อโรคในดินที่ก่อให้เกิดโรคมะเขือเทศ ได้แก่ โรคเหี่ยวเหลือง โรครากเน่าโคนเน่า ซึ่งมีสาเหตุจากการปลูกมะเขือเทศในพื้นที่เดิมของเกษตรกร และปัญหาค่าต้นทุนมะเขือเทศทำให้เกษตรกรต้องใช้สารเคมี

ป้องกันและกำจัดศัตรูพืชมาก 2) ปัญหาด้านดินเสื่อมคุณภาพ เนื่องจากเกษตรกรไม่มีการพิกดินในแปลงปลูก หลังจากทำนาปีก็ปลูกมะเขือเทศต่อเนื่อง ประกอบกับเกษตรกรไม่มีการปรับปรุงสภาพดินที่ใช้ในการเพาะปลูกพืช 3) ปัญหาด้านแหล่งน้ำไม่เพียงพอ และ 4) ปัญหาด้านราคาซื้อผลผลิตมะเขือเทศต่ำ

พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร

พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช โดยภาพรวมนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่ปฏิบัติตามหลักการที่กำหนดไว้ แต่ยังมีบางประเด็นที่เกษตรกรยังมีพฤติกรรมที่ยังไม่ปฏิบัติตามตามหลักการที่กำหนดไว้ได้แก่

1) พฤติกรรมก่อนการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ในประเด็นการสำรวจความเสียหายจากโรคและแมลงก่อนการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (ค่าเฉลี่ย 1.69 ระดับการปฏิบัติปานกลาง) ประเด็นการผสมสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชให้ถูกต้องตามอัตราส่วนที่ระบุในฉลาก (ค่าเฉลี่ย 2.20 ระดับการปฏิบัติปานกลาง) และประเด็นการหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่สงสัยว่าเสื่อมคุณภาพ (ค่าเฉลี่ย 2.24 ระดับปานกลาง) ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

2) พฤติกรรมขณะการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ประเด็นขณะฉีดพ่นสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชควรกันเด็กและสัตว์เลี้ยงออกจากบริเวณนั้น (ค่าเฉลี่ย 2.00 ระดับการปฏิบัติปานกลาง) และประเด็นฉีดพ่นสารเคมีตามความถี่ที่ฉลากกำหนดไว้ (ค่าเฉลี่ย 2.02 ระดับการปฏิบัติปานกลาง) ดังตารางที่ 2

3) พฤติกรรมหลังการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ประเด็นการออกจากบริเวณนั้นทันทีหลังฉีดพ่นสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชเสร็จ (ค่าเฉลี่ย 2.28 ระดับการปฏิบัติปานกลาง) ประเด็นการเก็บสารเคมีไม่ให้ปะปนกับอุปกรณ์ชนิดอื่น (ค่าเฉลี่ย 2.16 ระดับการปฏิบัติปานกลาง) ประเด็นการหลีกเลี่ยงการเข้าไปในบริเวณที่พ่นสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในระยะเวลาไม่ปลอดภัย (ค่าเฉลี่ย 1.84 ระดับการปฏิบัติปานกลาง) ประเด็นแจ้งให้ผู้อื่นทราบว่าพื้นที่ที่พ่นสารเคมี

(ค่าเฉลี่ย 1.65 ระดับการปฏิบัติต่ำ) และประเด็นทำลายภาชนะบรรจุสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชโดยการฝังเท่านั้น (ค่าเฉลี่ย 1.60 ระดับการปฏิบัติต่ำ) ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร

การวิจัยครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน (stepwise multiple regression analysis) เพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพล หรือร่วมกันอธิบาย หรือทำนายความผันแปรของตัวแปรตาม (พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร) ว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวมีอิทธิพลในทิศทางใด หรือมีอิทธิพลมากน้อยเพียงใดกับตัวแปรตาม ซึ่งในการวิเคราะห์ครั้งนี้ประกอบด้วยตัวแปรอิสระทั้งหมด 20 ตัว ได้แก่

- X_1 = เพศ (หญิง, ชาย)
- X_2 = อายุ (ปี)
- X_3 = ระดับการศึกษา (ชั้น)
- X_4 = จำนวนสมาชิกที่เป็นแรงงานในครัวเรือน (คน)
- X_5 = พื้นที่ถือครองในการทำเกษตร (ไร่)
- X_6 = รายได้เฉลี่ยในครัวเรือน (บาท)
- X_7 = รายจ่ายเฉลี่ยในครัวเรือน (บาท)
- X_8 = หนี้สินคงค้าง (บาท)
- X_9 = การเป็นสมาชิกสถานบันเกษตร (ไม่เป็น, เป็น)
- X_{10} = การดำรงตำแหน่งในสถาบันเกษตร (ไม่มีตำแหน่ง, มีตำแหน่ง)
- X_{11} = การดำรงตำแหน่งทางสังคม (ไม่มีตำแหน่ง, มีตำแหน่ง)
- X_{12} = การมีส่วนร่วมในกิจกรรมและการเข้าร่วมฝึกอบรมทางการเกษตร (ไม่เคยเข้าร่วม, เคยเข้าร่วม)
- X_{13} = การได้รับข่าวสารด้านการเกษตรจากสื่อต่าง ๆ (ไม่เคย, เคย)
- X_{14} = การติดต่อสื่อสารกับเจ้าหน้าที่ (ไม่เคย, เคย)
- X_{15} = ประสบการณ์ในการปลูกมะเขือเทศ (ปี)
- X_{16} = พันธุ์มะเขือเทศที่ใช้ปลูก (จำนวนพันธุ์มะเขือเทศที่ใช้ปลูกจริง)
- X_{17} = พื้นที่ปลูกมะเขือเทศ (ไร่)

X_{18} = ผลผลิตที่ได้โดยเฉลี่ยต่อไร่ (กิโลกรัม)

 X_{20} = จำนวนรุ่นที่ปลูกมะเขือเทศในปีที่ผ่านมา (รุ่นต่อปี)

 X_{19} = ราคาซื้อผลผลิตมะเขือเทศ (บาท)

Table 1. The behavior before pesticide usage to farmers

Farmers practices in pesticide	Mean (n=186)	S.D.	Level of Practice
1. Wear gloves when measure or pour chemicals	2.78	0.495	High
2. Wear protective clothing and equipment while mixing chemicals	2.77	0.525	High
3. Avoid directly skin contact with chemicals	2.73	0.545	High
4. Always check equipments before spraying	2.73	0.471	High
5. Avoid mixing chemical by using bare hands	2.70	0.593	High
6. Do not eat, drink or smoke while mixing chemicals	2.70	0.544	High
7. Alternate the chemical to match with the insects and pesticides	2.65	0.609	High
8. Always read the label operating strictly	2.52	0.634	High
9. Mixing chemicals where no one else	2.49	0.668	High
10. Avoid using chemicals suspected to deteriorate	2.24	0.799	Medium
11. Mixing chemicals in the correct ratio	2.20	0.784	Medium
12. Survey of damage from insects and diseases	1.69	0.863	Medium

Note: The level of pesticide application behaviors in tomato production of farmers in Sakon Nakhon

1.00 - 1.66 : low level of practice

1.67 - 2.33 : medium level of practice

2.34 - 3.00 : high level of practice

Table 2. The behavior during pesticide usage to farmers

Farmers practices in pesticide	Mean (n=186)	S.D.	Level of Practice
1. Wear boots entirely	2.81	0.504	High
2. When got pesticide on skin, wash with clean water immediately	2.78	0.484	High
3. The sprayer always stand upwind	2.77	0.456	High
4. Avoid spraying in the daytime	2.72	0.615	High
5. Wear enclosed protective clothes	2.71	0.590	High
6. Do not use the device as a leakage spray	2.70	0.524	High
7. If you have clogged nozzles. Do not use a suction nozzle or mouthpiece	2.69	0.615	High
8. Do not eat, drink or smoke while spraying chemicals	2.66	0.550	High
9. If any symptom occurred to sprayer, stop spraying immediately	2.58	0.613	High
10. Use up chemicals in once time	2.51	0.692	High
11. Follow instruction stated in the label	2.20	0.802	Medium
12. Keep children and pets out of the area	2.00	0.900	Medium

Note: The level of pesticide application behaviors in tomato production of farmers in Sakon Nakhon

1.00 - 1.66 : low level of practice

1.67 - 2.33 : medium level of practice

2.34 - 3.00 : high level of practice

Table 3. The behavior after pesticide usage to farmers

Farmers practices in pesticide	Mean (n=186)	S.D.	Level of Practice
1. The clothes should be washed separately from spraying clothing	2.83	0.415	High
2. When got pesticide on skin, wash with clean water immediately	2.77	0.479	High
3. If any chemical residues from the session should not be poured into the water	2.55	0.743	High
4. Cleaning chemical containers after use	2.50	0.668	High
5. Avoid harvesting vegetables prematurely	2.49	0.684	High
6. Avoid keeping pesticide in the sunlight	2.35	0.773	High
7. Store chemical containers far from children and pets	2.34	0.818	High
8. Leave area immediately after pesticides usage	2.28	0.857	Medium
9. The chemical does not mingle with other devices	2.16	0.853	Medium
10. Keep chemical containers away from children and pets	1.84	0.823	Medium
11. Inform others to avoid spraying area	1.65	0.883	Low
12. Destroy chemical containers by burying	1.60	0.808	Low

Note: The level of pesticide application behaviors in tomato production of farmers in Sakon Nakhon

1.00 - 1.66 : low level of practice

1.67 - 2.33 : medium level of practice

2.34 - 3.00 : high level of practice

ส่วนตัวแปรตาม (y) ได้แก่ พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนคร ในประเด็นการปฏิบัติก่อนฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช การปฏิบัติระหว่างการฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช และการปฏิบัติหลังการฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช วัดโดยใช้ค่าเฉลี่ยจากการแสดงความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสัมภาษณ์ 3 ระดับ คือ ไม่เคยปฏิบัติ ปฏิบัติเป็นบางครั้ง ปฏิบัติทุกครั้ง โดยประยุกต์ใช้วิธีการของ Likert scale (กัลยา, 2553) การวิจัยครั้งนี้มีแบบจำลองดังนี้

$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_{20}x_{20}$ สัญลักษณ์ของตัวแปร

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรอิสระด้วยกัน โดยใช้ค่าสถิติสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson product moment correlation; r) พบว่า ตัวแปรอิสระส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในระดับต่ำ ตามเกณฑ์การวัดระดับความสัมพันธ์ ยกเว้นตัวแปรอิสระบางตัวที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในระดับสูง คือ

รายได้เฉลี่ยในครัวเรือน (X_6) กับรายจ่ายเฉลี่ยในครัวเรือน (X_7) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระเท่ากับ 0.699 ดังนั้น ตัวแปรอิสระที่กล่าวมาข้างต้นมีความสัมพันธ์กันสูง จึงเลือกใช้เพียงตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้ตัวแปรรายได้เฉลี่ยในครัวเรือน (X_6) (บุญผา, ม.ป.ป.)

จากผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยส่วนบุคคล เศรษฐกิจ สังคมและสภาพการผลิตมะเขือเทศที่มีต่อพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร (Y) โดยใช้การวิเคราะห์ (multiple regression analysis) โดยวิธี stepwise แสดงให้เห็นว่ามีตัวแปรจำนวน 3 ตัว ได้แก่ 1) การมีส่วนร่วมในกิจกรรมและการเข้าร่วมฝึกอบรมทางการเกษตรมีอิทธิพลเชิงบวกต่อพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 2) พื้นที่ปลูกมะเขือเทศมีอิทธิพลเชิงลบต่อพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ 3) จำนวนรุ่นที่ปลูก

มะเขือเทศมีอิทธิพลซึ่งบวกต่อพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ตามลำดับ และสามารถอธิบายการผันแปรของตัวแปรตาม (พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนคร) ได้ร้อยละ 9.50 ดังตารางที่ 4 โดยสามารถเขียนสมการถดถอยพหุ ได้ดังนี้

$$Y = 81.230 + 0.170 (\text{การมีส่วนร่วมในกิจกรรมและการเข้าร่วมฝึกอบรมทางการเกษตร}) + (-0.144) (\text{ขนาดพื้นที่ปลูกมะเขือเทศ}) + 0.234 (\text{จำนวนรุ่นที่ปลูกมะเขือเทศ})$$

ผลการวิเคราะห์ข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า

1) เกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศที่มีส่วนร่วมในกิจกรรมและการเข้าร่วมฝึกอบรมทางการเกษตรจะมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชตามหลักการมากกว่าเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศที่ไม่เคยมีส่วนร่วมในกิจกรรมและการเข้าร่วมฝึกอบรมทางการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับสุวรรณ และอัจฉรี (2543) พบว่า เกษตรกรผู้ปลูกข้าวภายใต้โรงเรียนเกษตรกรถึงแม้จะผ่านการฝึกอบรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูข้าวแล้ว จำนวนครั้งที่เกษตรกรฉีดพ่นสารเคมีมีน้อยกว่าก่อนฝึกอบรมเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเกษตรกรยังขาดความมั่นใจในการใช้สารเคมี และเกษตรกรต้องการให้มีการฝึกอบรมเพิ่มเติมอีก

2) พื้นที่ปลูกมะเขือเทศทั้งหมด ซึ่งสามารถอธิบายการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้ดังนี้ เกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศน้อยจะมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชตามหลักการมากกว่าเกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศมาก ซึ่งสอดคล้องกับอุดร (2551)

ได้ศึกษาเกษตรกรผู้ปลูกพริกในจังหวัดอุบลราชธานี พบว่า เกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกพริกมากใช้ปริมาณสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพริกในปริมาณที่มาก ใช้เวลาในการพ่นสารเคมีที่นาน และในขณะที่พ่นสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพริกจะสัมผัสสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพริกมากกว่าเกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกพริกน้อย และเกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกพริกมากจะใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพริกมากกว่าหนึ่งชนิดในการพ่น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกษตรกรผู้ปลูกพริกที่มีพื้นที่ปลูกมากมีพฤติกรรมที่มีความเสี่ยงในการเข้าสู่ร่างกายของสารเคมีมาก

3) เกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศที่มีจำนวนรุ่นที่ปลูกมะเขือเทศมากในปีที่ผ่านมาจะมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชตามหลักการมากกว่าเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศที่มีจำนวนรุ่นที่ปลูกมะเขือเทศน้อยในปีที่ผ่านมา

สรุป

จากการศึกษาพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนคร พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ยังคงมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชถูกต้องตามที่หลักการกำหนดไว้ แต่ยังมีบางพฤติกรรมที่เกษตรกรไม่ปฏิบัติตามหลักการที่กำหนดไว้ และยังมีปัจจัยบางประการที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนคร ได้แก่

1) การมีส่วนร่วมในกิจกรรมและการฝึกอบรมทางการเกษตร จะเห็นได้ว่า เกษตรกรถึงแม้จะเคยเข้าร่วมการฝึกอบรมแต่ยังมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีบางประเด็น

Table 4. Stepwise multiple regression analysis of the pesticide application behaviors in tomato production of farmers in Sakon Nakhon

Variables	R	R ²	R ² change	B	Beta	T
Attending training				3.301	0.170	2.389*
Total tomato planted area	0.309	0.095	0.080	-0.688	-0.144	-1.955*
The number of growing generations				7.088	0.234	3.270**
constant				81.230		30.613**

F = 6.391**

** Means the statistical significance at 0.01

* Means the statistical significance at 0.05

ที่ไม่ถูกต้องตามหลักการ และเกษตรกรยังขาดการฝึกอบรมเกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช

2) ขนาดพื้นที่ปลูกมะเขือเทศ เกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศน้อยจะใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในปริมาณน้อย ใช้เวลาพ่นสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชไม่นาน ทำให้มีพฤติกรรมในการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชตามหลักการที่กำหนดมากกว่าเกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศมาก

3) จำนวนรุ่นที่ปลูกมะเขือเทศเกษตรกรที่ปลูกมะเขือเทศจำนวนรุ่นมากกว่าจะมีประสบการณ์ ความชำนาญ ในการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชมาก ทำให้เกษตรกรมีพฤติกรรมในการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชตามหลักการที่กำหนดมากกว่าเกษตรกรที่ปลูกมะเขือเทศจำนวนรุ่นที่น้อยกว่า

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้สามารถอธิบายการผันแปรของตัวแปรตาม (พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนคร) ได้ร้อยละ 9.50 ทำให้อาจมีปัจจัยอื่นที่มีผลกับพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชแทรกแซงอยู่ภายในซึ่งอาจไม่ปรากฏในงานวิจัยครั้งนี้

ข้อเสนอแนะ

ผลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า แนวทางที่ต้องปฏิบัติเร่งด่วนเพื่อส่งเสริมและพัฒนาเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศให้มีพฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องและปลอดภัย คือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีรูปแบบการส่งเสริมที่หลากหลายมากขึ้น เช่น ฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการหรือการอบรมหน้างาน เพื่อให้เกษตรกรได้รับความรู้เกี่ยวกับพิษภัยและตระหนักถึงอันตรายของสารเคมี ตลอดจนการปฏิบัติการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้อง และปลอดภัยในแปลงของเกษตรกรจริง โดยมีเจ้าหน้าที่คอยแนะนำอย่างใกล้ชิด โดยเน้นไปที่เกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศจำนวนมาก และเกษตรกรที่ปลูกมะเขือเทศหลายรุ่นในรอบปี ตลอดจนเปิดโอกาสให้เกษตรกรเข้ามามีส่วนร่วมในกิจกรรมดังกล่าวให้ทั่วถึง เพื่อให้เกษตรกรได้ร่วมคิด ร่วมทำ และร่วมนำไปใช้ ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานในการ

พัฒนาชุมชน เพื่อช่วยให้เกษตรกรช่วยเหลือตนเองได้ ซึ่งสอดคล้องกับนภาพร และวรทัศน์ (2558) กล่าวว่า การพัฒนาเกษตรกรพื้นที่สูงให้ประสบความสำเร็จ เกษตรกรจะต้องได้รับการส่งเสริมให้ความรู้ในปริมาณที่เพียงพอ และเจ้าหน้าที่ที่จะเข้าไปปฏิบัติงานจะต้องมีความรู้ ความเชี่ยวชาญ ทำงานร่วมกับเกษตรกรในพื้นที่ ทำงานแบบต่อเนื่อง และสม่ำเสมอ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาการส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร ภาควิชาส่งเสริมการเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนงบประมาณวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศในจังหวัดสกลนคร ที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ และผู้ประสานงานทุกท่านที่ทำงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2553. พัฒนาการงานส่งเสริมการเกษตรของประเทศไทย. กองวิจัยและพัฒนาการส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ. 52 หน้า.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2553. สถิติสำหรับงานวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 317 หน้า.
- นภาพร ทางทิศ และวรทัศน์ อินทร์คัมพร. 2558. ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง. วารสารเกษตร 31(1): 59-68
- บุญชม ศรีสะอาด. 2545. การวิจัยเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 7. สุวีริยาสาส์น, กรุงเทพฯ. 171 หน้า.
- บุบผา อนันต์สุชาติกุล. ม.ป.ป. สถิติเบื้องต้นทางการศึกษา. ภาควิชาประเมินผลและวิจัยทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สมาคมอารักขาพืชไทย. 2552. การใช้สารป้องกันศัตรูพืชอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ. สมาคมอารักขาพืชไทย, กรุงเทพฯ. 38 หน้า.

สำนักงานเกษตรจังหวัดสกลนคร. 2557. รายงานข้อมูลภาวะการผลิตพืช แบบรายปี กลุ่มพืชผัก ชนิดพืชมะเขือเทศโรงงาน ประจำปี 2557. สำนักงานเกษตรจังหวัดสกลนคร, สกลนคร

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. สถิติการเกษตรของประเทศไทย. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กรุงเทพฯ. 174 หน้า.

สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนคร. 2556. ผลการตรวจเลือดเกษตรกรกลุ่มเสี่ยงโดยตรวจหาระดับเอนไซม์โคลินเอสเตอเรส. สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสกลนคร, สกลนคร.

สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 จังหวัดขอนแก่น. 2555. สถานการณ์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักและผลไม้ในระบบการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับพืช (GAP) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 จังหวัดขอนแก่น, ขอนแก่น

สุวรรณา ประณีตวาทกุล และอัจฉรี ศัสตรศาสตร์. 2543. ทางเลือกการลดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช: กรณีศึกษาโรงเรียนเกษตรกร. เอกสารการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 38 สาขาเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรสา ดิสถาพร. 2540. การปลูกมะเขือเทศ. กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ. 26 หน้า.

อุดร ชมาฤกษ์. 2551. พฤติกรรมการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช: กรณีศึกษาเกษตรกรอำเภอเขมราฐ จังหวัดอุบลราชธานี. [วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ฉบับที่ 2: 311-321] วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.

Yamane, T. 1967. Elementary Sampling Theory. Prentice Hall, Michigan. 405 p.

Comparison of Quality and Immunity between Thai Native and Crossbred Pigs in Colostrum and Milk

การเปรียบเทียบคุณภาพและภูมิคุ้มกันของน้ำนมเหลืองและน้ำนมของสุกรพื้นเมืองไทยและลูกผสม

Chanhmany Souphannavong and Korawan Sringarm*

จันทร์มณี สุพรรณวงษ์ และ กรวรรณ ศรีงาม*

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

ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

*Corresponding author: Email: korawan.s@cmu.ac.th

(Received: 23 September 2016; Accepted: 12 January 2017)

บทคัดย่อ: สารอาหารในน้ำนมเหลืองและน้ำนมมีผลต่อการเจริญเติบโตและการมีชีวิตรอดของลูกสุกรในระยะดูดนม วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อประเมินคุณค่าทางอาหารและภูมิคุ้มกันของนมน้ำเหลืองและน้ำนมของแม่สุกรพันธุ์พื้นเมืองไทยและสุกรลูกผสม โดยทำการเก็บตัวอย่างจากแม่สุกรพันธุ์พื้นเมืองไทย 18 ตัว และแม่สุกรลูกผสม 17 ตัว (ลาร์จไวท์xแลนด์เรซ) ซึ่งมีลูกสุกรพันธุ์พื้นเมือง 184 ตัว และลูกสุกรพันธุ์ผสม 229 ตัว ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการตายในช่วงระยะดูดนม ทำการชั่งลูกสุกรที่อายุ 7, 14 และ 21 วัน การเก็บตัวอย่างนมน้ำเหลืองและน้ำนมจากแม่สุกรโดยการรีดจากเต้านมในเวลา 0, 6, 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมงหลังคลอด นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ปริมาณของแข็งทั้งหมด โปรตีนรวม เถ้า ปริมาณแลคโตส ไขมันรวม และอิมมูโนโกลบูลินชนิดจี (IgG) การตรวจวัดปริมาณ IgG ในนมน้ำเหลืองโดยใช้เทคนิค ELISA จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตและอัตราการเจริญเติบโตต่อวันของลูกสุกรพันธุ์พื้นเมืองไทย (69.33 ก./วัน) ต่ำกว่าลูกสุกรพันธุ์ลูกผสม (167.67 ก./วัน) ($P<0.01$) อัตราการตายในช่วง 0 ถึง 24 ชั่วโมงหลังคลอดของลูกสุกรพันธุ์ลูกผสมต่ำกว่าลูกสุกรพันธุ์พื้นเมืองไทย (3.38% และ 5.70%) แต่อัตราการตายในช่วง 24 ชั่วโมงถึง 3 วัน กลับพบว่าลูกสุกรพันธุ์ลูกผสม (6.51%) มีค่าสูงกว่าลูกสุกรพันธุ์พื้นเมืองไทย (1.11%) ส่วนคุณภาพและส่วนประกอบของทั้งสองสายพันธุ์พบว่าปริมาณโปรตีนรวม ปริมาณของแข็งรวม และปริมาณเถ้า ในนมน้ำเหลืองของแม่สุกรพันธุ์พื้นเมืองไทยและสุกรพันธุ์ลูกผสมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันรวมและปริมาณแลคโตสมีความแตกต่างกันตามระยะเวลา ($P<0.001$) โดยปริมาณไขมันรวมของพันธุ์ลูกผสมมีปริมาณสูงกว่าพันธุ์พื้นเมืองไทยอย่างมีนัยสำคัญที่เวลา 48 และ 72 ชั่วโมง ($P<0.05$) และ มีความแตกต่างในสายพันธุ์เดียวกันเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ($P<0.001$) ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำนมสุกรพันธุ์ลูกผสม (26.83%) มีค่าสูงกว่าน้ำนมของสุกรพันธุ์พื้นเมือง (23.91%) ที่ 0 ชั่วโมง ($P<0.001$) ส่วนปริมาณ IgG ในนมน้ำเหลืองของสุกรพันธุ์พื้นเมืองสูงกว่าสุกรพันธุ์ลูกผสมที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง (95.75, 66.97 และ 70.79, 32.96 มก./มล ตามลำดับ) ($P<0.001$) และพันธุ์พื้นเมืองมีปริมาณสูงกว่าพันธุ์ลูกผสมที่เวลา 72 ชั่วโมง ($P<0.05$) ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตในช่วง 7 วันหลังคลอดกับส่วนประกอบและคุณภาพของน้ำนมไม่พบความสัมพันธ์กัน กล่าวโดยสรุปอัตราการเจริญเติบโตของลูกสุกรมีผลมาจากสายพันธุ์ และคุณภาพของน้ำนมของทั้งสองสายพันธุ์แตกต่างกันตามระยะเวลาหลังจากการคลอด

คำสำคัญ: นมน้ำเหลือง สายพันธุ์ ภูมิคุ้มกัน โภชนา

Abstract: Nutrition content in colostrum and milk are affected to the growth performance and survival of the piglets during lactation. The objective of this study was to evaluated quality and immunity of colostrum and milk between Thai native (TN) compared with crossbred (CB) pigs. The colostrum and milk from 18 TN and 17 CB (Large White x Landrace) pigs were determined to quality and immunity, and their piglets (184 piglets of TN and 229 piglets of CB) were estimated the growth performance, ADG, and mortality during sucking period. Piglets were weighed at birth and 7 days of age. Colostrum and milk from sows were collected manually across all teats at 0, 6, 12, 24, 48, and 72 hours, and were used to analysis for total solids, crude protein (CP), ash, lactose, crude fat (CF), and IgG concentration. IgG concentration in colostrum was measured by ELISA technique. Results showed that the growth performance and ADG of TN (69.33 g/day) piglets was lower than CB (167.67 g/day) piglets ($P<0.001$). The mortality rate during 0 to 24 hours after farrowing of CB piglets was lower than TN (3.38% and 5.70%), but the mortality rate during 24 hours to 3 days after farrowing of CB (6.51%) piglets was significantly higher than TN (1.11%) piglets ($P<0.001$). For the composition and quality of all two breeds: CP, lactose, and ash concentration were not significantly different by breed ($P>0.05$). However, CP and lactose concentration were significantly different by over time within the breed ($P<0.001$). The CF concentration of CB was significantly higher than TN at 48 and 72 hours ($P<0.05$), it was also significantly different within the same breed when the over time ($P<0.001$). The CF concentration of TN was significantly different within the same breed as the CB when the overtime ($P<0.001$). The total solids of CB (26.83%) was significant higher than TN (23.91%) at 0 hour ($P<0.001$), but the IgG concentration of TN was significantly higher than CB at 24 and 48 hours (95.75, 66.97 and 70.79, 32.96 mg/ml, respectively) ($P<0.001$), and TN (32.50 mg/ml) was also significantly higher than CB (20.56 mg/ml) at 72 hours ($P<0.05$). For the correlation between growth performance of piglets during 7 days after farrowing and composition and quality of colostrum and milk was not significantly different. These results showed that the growth performance of the piglets was affected by breed. For the composition and quality of colostrum and milk of TN and CB had significantly different within over time after farrowing.

Keywords: Colostrum, breed, immunity, nutrition

Introduction

The number of piglet production at weaning per year is defined to be efficiency of sow productivity (Kikuchi *et al.*, 2002). In 2014, there were 9,504,921 pigs in Thailand, and 8,000,244 pigs were crossbred and 580,881 pigs were Thai native (Swine Producers and Processors for Exporting association, 2014). Thai native pigs can adapt well to hot and humid climates, tolerate low quality feed, and disease resistant (Rattanonchart, 1994).

Certain Thai native pig breeds offer promise for improvement of their performance for economically important traits with European commercial breeds (e.g. Duroc; DR, Large White; LW, Pietrain), and disease resistance and environment improvement to reduce mortality rate (Chaiwatanasin *et al.*, 2002). Survival and satisfactory growth of piglets are highly dependent on colostrum intake from the sows (Quesnel *et al.*, 2012). At the birth, new-born piglets have low energy reserves and devoid of immune protection

(Le Dividich *et al.*, 2005; Farmer *et al.*, 2006), and the first feed in the first life day of piglets is colostrum from sows (Milon *et al.*, 1983). Colostrum from the sow was provided energy, nutrition, and immunoglobulin source which essential crude protein for the growth factor, energy balance, productive maternal antibodies, other disease resistance factors during lactation to after weaning, and protection from the infection of newborn piglets until their own immune system was mature, but among of colostrum yield and IgG concentration in sows were varied greatly (Ferrari *et al.*, 2014; Klobasa *et al.*, 1987). The yield of colostrum were averaged 3.22 ± 0.34 kg per sow and 11.7 to 101.4 g/L of IgG in colostrum at the first day (Foisnet *et al.*, 2010). Amount 200 g of colostrum ingestion provides passive immunity to piglets, reducing their risk of death before weaning and affording them increase weight gain (Ferrari *et al.*, 2014), inadequate of colostrum intake of piglets is a major cause of low hypothermia and hypoglycemia, and inadequate of colostrum intake is insufficient intake maternally derived immunoglobulin, particularly immunoglobulin G (IgG) which is available in large quantities in colostrum during the first 3 day after farrowing (Foisnet *et al.*, 2010), and its effected to morbidity, mortality, growth, and future productivity of piglets (Rooke and Bland, 2002; Le Dividich *et al.*, 2005).

Previously, there were many studies had been undertaken analyzing the effects of breed on swine colostrum quality and immunity in piglets. However, there had been limited research on native pig breed in the northern Thailand. Thus, the major aim of this study was to determine quality and immunity of colostrum between Thai native and crossbred pigs in northern Thailand.

Materials and Methods

This experiment was conducted at the Demonstrative and Training Swine Farm, Department of Animal and Aquatic Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. A total of 18 Thai native (TN), and 17 Large white x Landrace (crossbred, CB) sows and their piglets (184 piglets of TN and 229 piglets of CB) were used to this experiment. The first 12 weeks of gestation, sows were fed 2 kg/day, and during the last 4 weeks 3 kg/day (contain 14% CP; 0.53% Lysine, 3,190 kcal ME/kg). A farrowing, sows were fed as the same feed formulate, but among of feed intake were according to the number of litter size. Sows had free access to fresh water. The farrowing process was induced on day 114 of gestation with 1 ml of prostaglandins (Cloprostenol Sodium) received 2 ml of oxytocin (2 ml of a 10 IU/ml solution; General Drugs House Co., Ltd) by intramuscular route. Piglets were weighted at birth after onset farrowing and 7 days of age to estimate the difference of growth performance, average daily gain (ADG), and mortality between Thai native and crossbred piglets during three days after birth. For the mortality was collected at birth after onset (0 hour) to 24 hours and 24 hours to 3 days.

The sample of colostrum and milk were collected manually across all teats 5-12 ml at 0, 6, 12, 24, 48 and 72 hours (date of birth was defined as day 0 of age) and storage at -20 °C. Colostrum and milk samples were analyzed for total solid, ash, crude protein (CP) and crude fat (CF) by AOAC 2006. Total solid was determinate by drying overnight at 60 °C, ash was by incineration and determining the weight of the ash remaining, CP by the Kjeldahl method, and CF by Soxhlet apparatus and the milk lactose content was determined by

high-performance liquid chromatography coupled to reflective index defector (RID). The milk sample preparation modified by Chavez-Servin *et al.* (2004) for analysis sugar was added approximately 1.0 ml ethanol-water (1:1, v/v) into 2.5 ml of raw colostrum or milk and stirred. After mixing completely then added 250 μ l Carrez I solution and followed with 250 μ l Carrez II solution. After that added 5 ml of acetonitrile (HPLC-grade; RCI Labscan, Thailand) for precipitate the CP and non-sugar fraction and left 1-2 hours until complete precipitation of CP clot. Filtered through filter paper (Whatman), passed through a C18 Sep-Pak. Then, filtered again by 0.45 μ m nylon filters and injected into the HPLC system (Shimadzu, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan). This was equipped with a LC-10AD pump, CBM-10A system controller and RID-10A refractive index detector coupled to a computer with class LC10 controller software. An Inersil NH₂ column (5 μ m, 250x4.6 mm) (GL Science Inc., Japan) was used, mobile phase was 85:15 of acetonitrile:water (RCI Labscan, Thailand), flow rate 1 ml/min, with an oven temperature of 40 °C (Chuttong *et al.*, 2016).

For immunoglobulin G (IgG) determination, colostrum and milk were centrifuged for 10 min at 14,000 rpm, and then diluted to 1:10,000 in PBS. IgG concentration in colostrum and milk was evaluated by enzyme linked immunosorbent assay (ELISA) and modify method from Devillers *et al.* (2004). The 96-wells plates were coated with 100 μ l of rabbit anti-pig IgG (whole molecule) 7.8 ng in 0.05M sodium bicarbonate solution (pH 9.6) and incubated overnight at 4 °C. The plate was washed 3 times with washing buffer. Afterward add 200 μ l PBS containing 1% BSA and incubated for 1 hour at room temperature (RT). Thereafter, the plate washed by washing buffer 3 times. Adding 50 μ l with diluted samples and standard (pig IgG) into duplicate wells

and incubated for 1 hour at RT. And then the plate was washed 3 times with washing buffer. Each well was add with rabbit anti-pig labeled peroxidase 20 μ l and incubated for 1 h at RT. After that, the plate washed again with 3 times washing buffer. Then, add the substrate OPD 50 μ l and the colored reaction was stopped by 50 μ l 4 M H₂SO₄ and read absorbency at 492 nm. Finally, the standard curve calculated for the sample. Intra-assay in this determination was 8.9% and Inter-assay was 12.2%.

In term of the statistical method, data were analyzed using the procedure of SPSS Windows. All statistical tests were performed with SPSS Statistics 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). For the analysis of growth performance, piglets were weighed from birth to weaning and the average daily gain (ADG), mortality, composition and IgG in colostrum and milk were calculated. The observed mean between breeds was used Student's *t*-test comparisons. For the observed mean on in multiple comparisons was based on the Duncan Post Hoc test.

Results and Discussion

Growth performance and mortality rate

Thai native (TN) and Crossbred (CB) pigs were difference on growth performance, average daily gain, and mortality in pre-weaning period presented in Table 1. The body weights of all treatments at the first week of age were increased, but body weight and ADG of TN piglets was significantly lower than CB ($P < 0.001$). In our study, birth weight of TN piglets were lower than CB piglets (0.65 ± 0.15 and 1.43 ± 0.20 kg, respectively), and TN piglets were also lower growth potential than CB piglets similar as the report of Skok *et al.* (2008). Their results showed that heavy piglets on birth weight were still heavier at the end of lactation in

Table 1. Body weight and average daily gain (ADG) of piglets in suckling period

Item	Thai native	Crossbred
Number, sows	18	17
Number, piglets	184	229
Litter size at birth, heads	10.22	13.47
Litter weight at birth, kg	6.64	19.26
Feed intake of sows during gestation period, kg	258	258
Feed intake of sows during suckling period, kg	63-147	94.5-178.5
Body weight, kg		
Birth weight	0.65 ± 0.15	1.43 ± 0.26**
7 days	1.12 ± 0.15	2.66 ± 0.26**
ADG (g/day)		
7 days	69.33 ± 23.05	167.67 ± 34.8**
Mortality, %		
During 0 to 24 hours	5.70 ± 8.51	3.38 ± 5.12
During 24 hours to 3 days	1.11 ± 4.71**	6.51 ± 5.8

Value correspond to means ± SE of two breeds

Student's *t*-test comparisons at the same time between breeds are shown by asterisks:

** $P < 0.001$

comparison to light piglets. Vaclavkova *et al.* (2012) showed that the low birth weight piglets were growth lower than piglets with higher birth weight, also low birth weight piglets had gain less all period of production and less longissimus muscle (Glinoubol *et al.*, 2016). In this research the ADG of CB (167.67 ± 34.81 g/day) piglets at the first week of age, it was found to be significantly higher than TN (69.33 ± 23.05 g/day) piglets ($P < 0.001$). These finding were similar the reported by Decaluwe *et al.* (2014). Their research found the piglet's daily weight gain of crossbred at 3 and 7 days after birth and until weaning was 104 ± 3 ; 154 ± 3 ; and 205 ± 3 g/d, respectively, 150 to 160 g/day during lactation (McLaren *et al.*, 1987), 163.5 g/day in pre-weaning period (Woon *et al.*, 2014). However, our data was different as reported by Gondret *et al.* (2005) found that ADG in suckling was 208 to 301 g/d, and 216 g/day from birth to weaning (Škorjanc *et al.*, 2007).

The mortality rate of TN piglets was higher than CB during 0 to 24 hours ($5.70 \pm 8.51\%$ and $3.38 \pm 5.12\%$, respectively). In contrast, during 24 hours to 3 days of CB piglets were higher than TN piglets ($6.51 \pm 5.83\%$ and $1.11 \pm 4.71\%$, respectively). The mortality rate of CB in this research was lower than reported of Decaluwe *et al.* (2014). Their study showed that the first 3 days after birth, the mortality rate of crossbred piglets was high to 85% and 11.6% of total pre-weaning period. The mainly cause of mortality was low birth weight than 1 kg and low colostrum intake less than 160 g/kg body weight. For the mortality rate of TN piglets was high at the first day of birth and less down after 3 days of age. Our data was not agreed with Nakai (2008) who studied the reproductive performance of native pig in the hillside of northern Thailand. The results showed that the pre-weaning mortality ratio was 16.4% and maximum was 44%.

Quality of colostrum and milk in sucking period

The colostrum and milk composition were observed between TN and CB sows throughout first 72 hours after farrowing of sucking period. The result was reported the amount of Ash, total solid, crude protein, crude fat, and lactose as show in Table 2.

The crude fat (CF) concentration in colostrum and milk of all breeds at beginning (0 hour) were increased from 4.56% to 8.26% of TN, and 4.20% to 11.39% of CB at 72 hours. Crude fat of CB at 48 and 72 hours (8.94 and 11.39%, respectively) were significantly higher than TN (6.47 and 8.26%; respectively) ($P<0.05$). The CF in first colostrum of TN and CB in this study were lower than another breeds, which were founded by Csapo *et al.* (1996). They reported that CF in first colostrum of Danish Large White, Danish Duroc, and Norwegian Landrace sows was 5.32%, 7.36% in Yorkshire and Meishan sow (Zou *et al.*, 1992), 6.9% in Landrace x Large White (Foisnet *et al.*, 2010), and 8.9% in PIC (an imported five-way crossbred) sows (Decaluwé *et al.*, 2013).

The ash of colostrum and milk concentration was not significantly different by breeds ($P>0.05$). It was also not significantly different within the same breed. The percentage of ash during 0 to 72 hours of TN was 0.58 to 0.63%, and 0.59 to 0.62% of CB. In our study was agreed with reported by Loisel *et al.* (2013) who investigated the effect of fiber intake during late pregnancy of sows on colostrum composition from the first piglet (0 hour) to 21 days of lactation, they reported the ash percentage value in colostrum and in milk was not influenced by treatments. Although the ash percentage value of TN and CB in here were lower than Dutch Landrace from 2 to 12 days after parturition 0.74% (Klaver *et al.*, 1981), and lower than Yorkshire, Landrace, Lacombe, Duroc, Hampshire, Berkshire, and Large Black from 1 to 35 days of lactation period were 1.04% (Fahmy, 1972).

The total solids (TS) in colostrum and milk of CB (26.83%) was significantly higher than TN (23.91%) at 0 hour ($P<0.01$). For another times of two breeds were not significantly different ($P>0.05$).

Table 2. Composition of colostrum and milk in Thai native and crossbred

Item	0 hour	6 hours	12 hours	24 hours	48 hours	72 hours
Thai native						
Total Solids,%	23.91 ± 0.52	22.73 ± 0.52	22.95 ± 0.48	22.71 ± 0.48	22.00 ± 0.91	21.90 ± 0.45
Ash,%	0.63 ± 0.12	0.61 ± 0.14	0.53 ± 0.18	0.57 ± 0.15	0.47 ± 0.14	0.58 ± 0.20
Crude fat,%	4.56 ± 0.28 ^{bc}	4.01 ± 0.29 ^c	5.80 ± 0.54 ^{bc}	5.33 ± 0.35 ^{bc}	6.47 ± 0.68 ^{ab}	8.26 ± 0.85
Crude protein,%	18.47 ± 0.44 ^a	14.51 ± 0.38 ^b	14.49 ± 0.62 ^b	12.78 ± 0.37 ^b	9.69 ± 0.36 ^c	7.49 ± 0.46 ^d
Lactose, %	3.50 ± 0.32	3.67 ± 0.27	3.80 ± 0.36	4.03 ± 0.42	4.47 ± 0.7	4.52 ± 0.64
Crossbred						
Total Solids,%	26.83 ± 0.57**	23.83 ± 0.75	22.76 ± 0.66	22.35 ± 0.77	22.70 ± 0.75	22.91 ± 0.83
Ash,%	0.59 ± 0.06	0.56 ± 0.09	0.56 ± 0.13	0.55 ± 0.17	0.62 ± 0.12	0.53 ± 0.09
Crude fat,%	4.20 ± 0.82 ^c	4.21 ± 0.38 ^c	5.06 ± 0.87 ^c	6.39 ± 0.55 ^c	8.94 ± 0.54 ^{a and b}	11.39 ± 1.49 ^{a and a}
Crude protein,%	18.39 ± 0.41 ^a	14.95 ± 0.76 ^b	14.02 ± 0.36 ^b	13.13 ± 0.29 ^b	9.34 ± 0.16 ^c	6.99 ± 0.09 ^c
Lactose, %	3.22 ± 0.16 ^d	3.51 ± 0.23 ^d	4.05 ± 0.23 ^{cd}	4.19 ± 0.29 ^{bc}	5.82 ± 0.89 ^{ab}	6.25 ± 0.92 ^a

Value correspond to means ± SE of two breeds

Student's *t*-test comparisons at the column between breeds are shown by asterisks: * $P<0.05$; ** $P<0.001$

Means on the row carrying different superscript are shown significantly different between times in the same breed: ^{a, b, c, and d} $P<0.001$

The TS of CB and TN were high at 0 hour (26.83% and 25.16%, respectively), and then decreased until 72 hours (21.90% and 22.91%, respectively) after farrowing. Indeed, this result was agreed with the report by Klobasa *et al.* (1987). They studied the composition of colostrum and milk in German landrace sows during lactation and found that the TS was the highest at 0 hour (25.6%) after farrowing, and their concentration decreased approximately 30% during 24 hours (17.3%) after farrowing. But their result was higher than the result by Klaver *et al.* (1981). The milk composition and daily yield of different milk components as affected by sow condition and lactation. They found the TS in Dutch Landrace sows during 2 to 12 days after parturition was only 19.19%, and 19% of Yorkshire, Landrace, Lacombe, Duroc, Hampshire, Berkshire, and Large Black (Fahmy, 1972).

For lactose concentration in colostrum and milk during lactation between TN and CB sows was not significantly different by breed ($P>0.05$), but lactose of CB was significantly different with time during lactation period ($P<0.01$). The lactose of TN and CB sows were increased at each consecutive collection time during 0 hour after farrowing to 72 hours of lactation. The highest lactose in colostrum and milk of TN and CB sows was at 72 hours (4.52 and 6.25%, respectively), and the lowest lactose in colostrum and milk of TN and CB sows was at 0 hour (3.50 and 3.22%, respectively). This present experiment is agreed with report by Klobasa *et al.* (1987). They studied to the composition of colostrum and milk in German landrace sows during lactation. Their result found that the lactose concentration of milk sows was increased from 0 hour to 14 days (3.1 to 5.9%), and Yorkshire genotype was greater lactose than Belgian Landrace/Petrain and Duroc sire lines from 0 to 18 days (Farmer *et al.*, 2006).

Devillers *et al.* (2004) found lactose concentration changes around parturition in colostrum of multiparous sows. They showed that the ratios of lactose concentration in colostrum varied with time. Colostrum was lower lactose concentration than milk. The characteristic of colostrum composition was rapidly changed to milk during 24-30 hours after farrowing (Le Dividich *et al.*, 2005).

Total crude protein (CP) in colostrum and milk during lactation between TN and CB sows was not significantly different by breed ($P>0.05$), but it was significantly different with time during lactation period ($P<0.01$). The CP of TN and CB sows were decreased at each consecutive collection time during 0 hour after farrowing to 72 hours of lactation. The highest CP in colostrum and milk of TN and CB sows was at 0 hour (18.47 and 18.39%, respectively), and the lowest CP in colostrum and milk of TN and CB sows was at 72 hours (7.49 and 6.99%, respectively). This result was similar with the report by Fahmy (1972) and Zou *et al.* (1992), which observed in seven breeds (Yorkshire, Landrace, Lacombe, Duroc, Hampshire, Berkshire, and Large Black), the percentage of CP from colostrum to milk was dropped sharply from 17.3% to 5.47%. However, total CP in colostrum of TN and CB in here was higher than seven breeds (17.3%), Landrace x Large White (16%) by Foisnet *et al.* (2010), German Landrace (15.7%) by Klobasa *et al.* (1987), and lower than PIC sow (25.2%) by Decaluwé *et al.* (2014). Bourne and Curtis (1973) studied to the immunoglobulin system of the suckling pig. Their result showed that the high CP concentration in colostrum was high concentration of immunoglobulin which mothers transferred of passive immunity to their neonatal (Milon *et al.*, 1983). Quesnel *et al.* (2012) and Devillers *et al.* (2007) reported that the consumption of 200 g of colostrum per piglet during

the first day after birth significantly reduced the risk of mortality before weaning, while the consumption of 250 g of colostrum was an indicator of good health and pre-weaning and post-weaning growth among piglets.

Immunoglobulin of colostrum and milk during lactation

IgG concentration contained in colostrum and milk of TN and CB were difference during pre-weaning period presented in Table 3. The IgG concentration in colostrum of TN and CB was the highest at 0 h (after onset of farrowing was located as 0 hour) (284.95 ± 30.10 and 316.15 ± 36.62 mg/ml, respectively), and their level was decreased

rapidly by the time over (Figure 1). But the decreasing of IgG concentration in colostrum during lactation of TN was slow, when compared with IgG concentration in colostrum of CB. These observation partially were agreed with the results of Klobsa *et al.* (1987) in which the highest IgG concentration in colostrum at the onset of farrowing, and then decreased rapidly by the time over (Rooke and Bland, 2002), but our data of all two breeds was higher than the result by Klobsa *et al.* (1987) (95.6 mg/ml in German landrace sows), and higher than the result by Foistnet *et al.* (2010). Their research showed that the IgG concentration in colostrum was averaged 74.2 ± 6.1 mg/ml at the onset of farrowing.

Table 3. Concentration of immunoglobulin G in colostrum and milk during lactation period

Items, hours	Immunoglobulin G, mg/ml	
	Thai native	Crossbred
0	284.95 ± 8.05	316.15 ± 14.95
6	207.70 ± 9.01	196.75 ± 12.32
12	141.40 ± 5.23	137.22 ± 4.12
24	$95.75 \pm 1.65^{**}$	70.79 ± 4.95
48	$66.97 \pm 2.08^{**}$	32.96 ± 1.67
72	$32.50 \pm 6.34^{*}$	20.56 ± 0.86

Value correspond to means $\pm$ SE of two breeds

Mean between breeds are shown by asterisks: * $P < 0.05$; ** $P < 0.001$

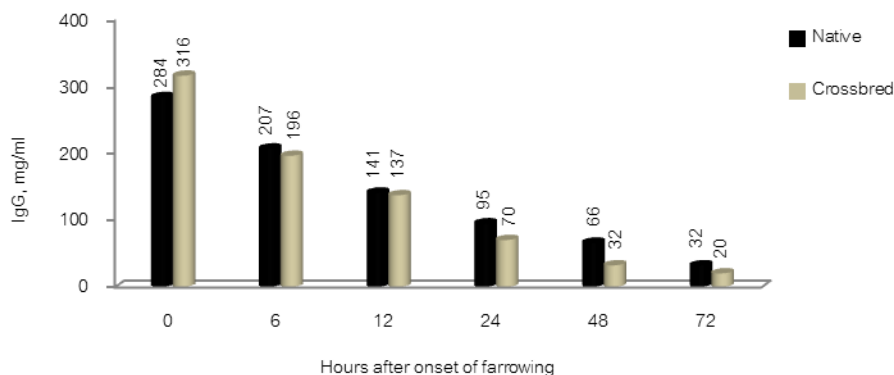


Figure 1. Colostrum and milk concentration of IgG after onset of farrowing between Thai native and crossbred sows (mean)

The IgG concentration in colostrum between TN and CB sow was significantly different by breeds. The IgG of TN was significantly higher than CB at 24 and 48 hours (95.75 ± 1.65 and 70.79 ± 4.95 , and 66.97 ± 2.08 and 32.96 ± 1.67 mg/ml, respectively) ($P < 0.001$), and the IgG of TN (32.50 ± 6.34 mg/ml) was also significantly higher than CB (20.56 ± 0.86 mg/ml) at 72 hours ($P < 0.05$). This result was similar with the report by Farmer *et al.* (2006) and Simmen *et al.* (1990) studied the influence of genotype on colostrum and the milk composition of primiparous sows (Belgian Landrace, Duroc, Landrace and Yorkshire). They found that colostrum and at day 2 milk from Duroc sows contained more protein and lesser amounts of lactose than sows of other genotypes. The first colostrum samples contained 16.65% total protein, and during the first 6 h after farrowing the IgG accounted for nearly all the protein in the colostrum (Klobasa *et al.*, 1987). The high protein content in colostrum was largely produced by the immunoglobulin G (Csapo *et al.*,

1996). Devillers *et al.* (2007) and Quesnel *et al.* (2012) reported that the consumption of 200 g of colostrum per piglet during the first day after birth significantly reduced the risk of mortality before weaning, while the consumption of 250 g of colostrum was an indicator of good health and pre-weaning and post-weaning growth among piglets.

Correlation between composition and quality of colostrum and milk and the growth performance of piglets

The correlation between composition and quality of colostrum and milk and the growth performance of TN and CB piglets was shown in Table 4. The correlation between growth performance of all two breeds and composition and quality of colostrum and milk were not significantly different ($P > 0.05$). The percentage correlation between growth performance of TN piglets to CP and lactose were very low (-0.25%), but it was high with IgG (0.63%). For the percentage correlation

Table 4. Correlations between growth performance of piglet and composition and quality of colostrum and milk

Item	Crude protein, %	Total solid, %	Ash, %	Crude fat, %	Lactose, %	IgG, %
Thai native						
Growth performance, g	-0.025	0.160	0.211	0.066	-0.084	0.630
Crude protein, %		0.247	0.150	0.117	-0.041	0.163
Total solid, %			0.248	0.040	0.241	0.131
Ash, %				-0.467	0.147	0.328
Crude fat, %					-0.153	-0.266
Lactose, %						-0.318
Crossbred						
Growth performance, g	0.075	0.106	-0.105	-0.018	0.072	-0.212
Crude protein, %		-0.076	-0.398	-0.069	-0.354	-0.398
Total solid, %			-0.531	-0.063	-0.283	0.438
Ash, %				0.164	0.274	-0.172
Crude fat, %					-0.272	-0.670
Lactose, %						0.225

between growth performances of CB piglets to Ash and IgG were very low (-202%), but it was high with total solid (0.106%). This result was different with the report by Lewis *et al.* (1978) determined the relationship between composition of sows' milk and weight gains of nursing pigs. They found that the mean efficiency of conversion of milk to gain was found to be 4.5 g of milk per 1 g of pig gain.

Conclusion

The growth performance and survival of TN and CB piglets during sucking period were affected by breed. The composition and quality of colostrum and milk between TN and CB can be concluded that the CP, lactose, and ash concentration were not significantly different by breed ($P>0.05$). However, CP and lactose concentration were significantly different by over time within the breed ($P<0.001$). The CF, total solids, and IgG were significantly different by breed. The CF concentration of CB was significantly higher than TN at 48 and 72 hours ($P<0.05$), it was also significantly different within the same breed when the over time ($P<0.001$). The CF concentration of TN was significantly different within the same breed when the overtime as the CB ($P<0.001$). The total solids of CB was significant higher than TN at 0 hour ($P<0.001$), but the IgG concentration of TN was significantly higher than CB at 24 and 48 hours ($P<0.001$), and was significantly higher than CB at 72 hours ($P<0.05$). For the correlation between growth performance of piglets during 7 days after farrowing and composition and quality of colostrum and milk was not significantly different ($P>0.05$). These results showed that the composition and quality of colostrum and milk of TN and CB had significantly different within over time after farrowing.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge IDRC-SEARCA for providing the financial support. Special thanks the Department of Animal and Aquatic Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University for helpful during this research.

Reference

- AOAC. 2006. Official method of analysis. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Bourne, F. and J. Curtis. 1973. The transfer of immunoglobulins IgG, IgA and IgM from serum to colostrum and milk in the sow. *Immunology* 24(1): 157-162.
- Chaiwatanasin, W., S. Chantsavang and S. Tabchareon. 2002. Genetic diversity of four pig breeds in Thailand based on Microsatellite Analysis. *Journal of Kasetsart (Natural Sciences)* 36: 133-137.
- Chávez-Servín, J.L., A.I. Castellote and M.C. López-Sabater. 2004. Analysis of mono- and disaccharides in milk-based formulae by high-performance liquid chromatography with refractive index detection. *Journal of Chromatography A* 1043(2): 211-215.
- Chuttong, B., Y. Chanbang, K. Sringarm and M. Burgett. 2016. Physiochemical profiles of stingless bee (Apidae: Meliponini) honey from South East Asia (Thailand). *Food Chemistry* 192: 149-155.
- Csapo, J., T. Martin, Z. Csapo-Kiss and Z. Hazas. 1996. Crude protein, crude fats, vitamin and mineral concentrations in porcine colostrum and milk from parturition to 60 days. *International Dairy Journal* 6(8): 881-902.

- Decaluwé, R., D. Maes, I. Declerck, A. Cools, B. Wuyts, S. De Smet and G. Janssens. 2013. Changes in back fat thickness during late gestation predict colostrum yield in sows. *Animal* 7(12): 1999-2007.
- Decaluwé, R., D. Maes, B. Wuyts, A. Cools, S. Piepers and G. Janssens. 2014. Piglets' colostrum intake associates with daily weight gain and survival until weaning. *Livestock Science* 162: 185-192.
- Devillers, N., C. Farmer, A.M. Mounier, J. Le Dividich and A. Prunier. 2004. Hormones, IgG and lactose changes around parturition in plasma, and colostrum or saliva of multiparous sows. *Reproduction Nutrition Development* 44(4): 381-396.
- Devillers, N., C. Farmer, J. Le Dividich and A. Prunier. 2007. Variability of colostrum yield and colostrum intake in pigs. *Animal* 1(7): 1033-1041.
- Farmer, C., N. Devillers, J.A. Rooke and J. Le Dividich. 2006. Colostrum production in swine: from the mammary glands to the piglets. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 3: 1-16.
- Fahmy, M. 1972. Comparative study of colostrum and milk composition of seven breeds of swine. *Canadian Journal of Animal Science* 52(4): 621-627.
- Ferrari, C., P. Sbardella, M. Bernardi, M. Coutinho, I. Vaz, I. Wentz and F. Bortolozzo. 2014. Effect of birth weight and colostrum intake on mortality and performance of piglets after cross-fostering in sows of different parities. *Preventive Veterinary Medicine* 114(3): 259-266.
- Foisnet, A., C. Farmer, C. David and H. Quesnel. 2010. Relationships between colostrum production by primiparous sows and sow physiology around parturition. *Journal of Animal Science* 88(5): 1672-1683.
- Glinoubol, J., P. Mahinchai and S. Jaturasitha. 2016. Comparison of carcass characteristics and meat quality between Pietrain × Thai Native and Duroc × Meishan Crossbred Pigs. *Journal of Agriculture* 32(special): 63-70.
- Gondret, F., L. Lefaucheur, I. Louveau, B. Lebret, X. Pichodo and Y. Le Cozler. 2005. Influence of piglet birth weight on postnatal growth performance, tissue lipogenic capacity and muscle histological traits at market weight. *Livestock Production Science* 93(2): 137-146.
- Kikuchi, K., A. Onishi, N. Kashiwazaki, M. Iwamoto, J. Noguchi, H. Kaneko and T. Nagai. 2002. Successful piglet production after transfer of blastocysts produced by a modified in vitro system. *Biology of Reproduction* 66(4): 1033-1041.
- Klaver, J., G. Van Kempen, P. De Lange, M. Verstegen and H. Boer. 1981. Milk composition and daily yield of different milk components as affected by sow condition and lactation/feeding regimen. *Journal of Animal Science* 52(5): 939-944.
- Klobasa, F., E. Werhahn and J.E. Butler. 1987. Composition of sow milk during lactation. *Journal of Animal Science* 64(5): 1458-1466.
- Le Dividich, J., J.A. Rooke and P. Herpin. 2005. Nutritional and immunological importance of colostrum for the new-born pig. *The Journal of Agricultural Science* 143(6): 469-485.

- Lewis, A., V. Speer and D. Haught. 1978. Relationship between yield and composition of sows' milk and weight gains of nursing pigs. *Journal of Animal Science* 47(3): 634-638.
- Loisel, F., C. Farmer, P. Ramaekers and H. Quesnel. 2013. Effects of high fiber intake during late pregnancy on sow physiology, colostrum production, and piglet performance. *Journal of Animal Science* 91(11): 5269-5279.
- McLaren, D., D. Buchanan and R. Johnson. 1987. Growth performance for four breeds of swine: crossbred females and purebred and crossbred boars. *Journal of Animal Science* 64(1): 99-108.
- Milon, A., A. Aumaitre, J. Le Dividich, J. Franz and J. Metzger. 1983. Influence of birth prematurity on colostrum composition and subsequent immunity of piglets. *Annales de Recherches Veterinaires* 14(4): 375-381.
- Nakai, S. 2008. Reproductive performance analysis of native pig smallholders in the hillside of northern Thailand. *Tropical Animal Health and Production* 40(7): 561-566.
- Quesnel, H., C. Farmer and N. Devillers. 2012. Colostrum intake: Influence on piglet performance and factors of variation. *Livestock Science* 146(2): 105-114.
- Rattanonchart, S. 1994. Present situation of Thai native pigs: Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Chiangmai University. (Online). Available: www.angelfire.com/mi/fafontwin/thaipigf.pdf (June 10, 2016).
- Rooke, J. and I.M. Bland. 2002. The acquisition of passive immunity in the new-born piglet. *Livestock Production Science* 78(1): 13-23.
- Simmen, F.A., K.Y. Whang, R.C.M. Simmen, G.A. Peterson, M.D. Bishop and K.M. Irvin. 1990. Lactational variation and relationship to postnatal growth of insulin-like growth factor-I in mammary secretions from genetically diverse sows. *Domestic Animal Endocrinology* 7(2): 199-206.
- Skok, J., M. Brus and D. Skorjanc. 2008. Growth of piglets in relation to milk intake and anatomical location of mammary glands. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A—Animal Science* 57: 129-135.
- Skorjanc, D., M. Brus and M.C Potokar. 2007. Effect of birth weight and sex on pre-weaning growth rate of piglets. *Archives Animal Breeding* 50: 476-486.
- SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). 2007. Spss Inc., Chicago, Illinois.
- Swine Producers and Processors for Exporting Association. 2014. (Online). Available: <http://www.thaiswine.org/tabid/234/Default.aspx> (June 7, 2016).
- Vaclavkova, E., P. Danek and M. Rozkof. 2012. The influence of piglet birth weight on growth performance. *Research. Pig Breeding* 6(1): 1-3.
- Woon, S.Y., M.D. Barton and T. Vanniasinkam. 2014. Effect of plasma transfer on survival rates of low-birth-weight neonatal piglets. *Journal of Swine Health and Production* 22(4):197-200.
- Zou, S., D.G. McLaren and W.L. Hurley. 1992. Pig colostrum and milk composition: comparisons between Chinese Meishan and US breeds. *Livestock Production Science* 30(1): 115-127.

ผลของวัสดุหลบซ่อนต่ออัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกราม

Effect of Shelter Materials on Survival Rate in Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man)

เมธาวี รอดมั่งคณดี* วัฒนะ ลีลาภัทร และ นันทพร สุทธิ

Methawee Rodmongkoldee*, Wattana Leelapat and Nantaporn Sutthi

สาขาประมง ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จ.มหาสารคาม 44150
Division Fisheries, Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University,
Maha Sarakham 44150, Thailand

*Corresponding author: Email: tal_wai@yahoo.co.th

(Received: 9 September 2016; Accepted: 16 January 2017)

Abstract: This study was conducted to evaluate the effect of shelter materials on growth rate and survival rate of giant freshwater prawns reared in fiberglass tanks. The experiment was divided into 5 randomized treatment trials. Each treatment had 3 replications. The effect of five types of shelters materials, without shelter materials (control group), plastic rope, PVC blue net, ceramic tiles and plastic bottle were reared for 120 days. The result at the end of experiment show that, giant freshwater prawns reared in ceramic tiles had the highest survival rate ($P<0.05$). Giant freshwater prawns reared in plastic rope showed the highest final weight, weight gain, ADG and SGR and significantly difference ($P<0.05$). The final length was not significantly different ($P>0.05$) among treatments. For water quality, parameters such as temperature, pH, dissolve oxygen and alkalinity in all treatments were not significantly different ($P>0.05$). This study showed that, the use of ceramic tiles as a shelter material for rearing freshwater prawn achieve the maximum survival rate.

Keywords: Giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, shelter material, survival rate

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของการใช้วัสดุหีบซ้อนต่ออัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกราม วางแผนการทดลองแบบสุ่มทดลอง โดยเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบรวมเพศในถังที่ใส่วัสดุหีบซ้อนแตกต่างกัน 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ คือ ไม่ใส่ วัสดุหีบซ้อน (ชุดควบคุม) ใส่วัสดุหีบซ้อนรังเทียมทำด้วยเชือกฟาง ใส่วัสดุหีบซ้อนตาข่าย PVC ใส่วัสดุหีบซ้อน กระเบื้องทำเป็นจั่วหลังคา และใส่วัสดุหีบซ้อนขวดพลาสติกทึบแสง ใช้ระยะเวลา 120 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า กุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในถังใส่กระเบื้องทำเป็นจั่วหลังคามีอัตราการรอดตายสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในถังที่ใส่รังเทียมทำด้วยเชือกฟางมีน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ความยาวสุดท้ายของกุ้งก้ามกรามแต่ละชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และผลของคุณภาพน้ำ ระหว่างการเลี้ยง พบว่า อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง ออกซิเจนละลาย และความเป็นด่างในน้ำทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) จากการศึกษาครั้งนี้แนะนำให้เลี้ยงกุ้งก้ามกรามโดยใช้วัสดุหีบซ้อนกระเบื้องทำเป็นจั่วหลังคาเพื่อให้ได้อัตราการรอดตายสูงสุด

คำสำคัญ: กุ้งก้ามกราม *Macrobrachium rosenbergii* วัสดุหีบซ้อน อัตราการรอดตาย

คำนำ

กุ้งก้ามกราม *Macrobrachium rosenbergii* de Man เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ (วีร์ และฐากร, 2555) โดยในปี พ.ศ. 2556 มีปริมาณการผลิตกุ้งก้ามกรามในประเทศถึง 18,168 ตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 4,474.64 ล้านบาท ซึ่งสูงเป็นอันดับที่ 3 ของมูลค่าผลผลิตสัตว์น้ำจืดที่สำคัญทางเศรษฐกิจของ ไทย (กรมประมง, 2558) โดยกุ้งก้ามกรามเป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่ เนื้อมีรสชาติดี และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ทำให้มีราคาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์น้ำจืดหลายชนิด เกษตรกรจึงนิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย สามารถสร้างรายได้ และสร้างผลกำไรให้แก่ผู้เลี้ยงเป็นอย่างมาก (ณตยา และวชิรภรณ์, 2542)

กุ้งก้ามกรามเป็นสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชียนมี โครงสร้างที่เป็นเปลือกแข็ง (exoskeleton) ปกคลุม ภายนอกลำตัว เพื่อป้องกันอันตรายให้กับลำตัวและ อวัยวะภายใน เมื่อกุ้งเจริญเติบโตมีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีการ ลอกคราบสลัดเปลือกเก่าทิ้ง และสร้างเปลือกใหม่ทดแทน เพื่อขยายขนาดของร่างกาย (ยนต์, 2529; Ashby, 2003; Mariappan et al., 2009) ช่วงเวลานี้จะเป็นช่วงที่กุ้ง

อ่อนแอไม่แข็งแรง ทำให้ศัตรูหรือกุ้งตัวอื่นเข้ามาทำ อันตรายได้ง่าย (ยนต์, 2529; วีร์ และฐากร, 2555) เพราะ โดยธรรมชาติกุ้งก้ามกรามมีนิสัยดุร้าย กินกันเอง และมี พฤติกรรมหวนอาณาเขต เช่นเดียวกับสัตว์ในกลุ่มครัสเต เชียนอื่น ๆ เช่น ปูม้าที่มีพฤติกรรมชูก้ามต่อสู้กัน เมื่ออยู่ ในลอบที่มีปูอยู่หนาแน่น (วุฒิชัย และคณะ, 2555) ทำให้ มีอัตราการรอดต่ำ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้การเลี้ยง กุ้งก้ามกรามได้ผลผลิตไม่ดีเท่าที่ควร (Cohen et al., 1981; Mariappan and Balasundaram, 2004)

ปัจจุบันมีเกษตรกรนิยมเลี้ยงกุ้งก้ามกรามโดยใช้ พื้นที่น้อยลงหรือที่เรียกว่ากุ้งคอนโด แต่เป็นการเลี้ยงเดี่ยว ซึ่งมีความยุ่งยากในการจัดการระหว่างการเลี้ยง จึงมี แนวคิดในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามให้อยู่รวมกันในพื้นที่จำกัด เพื่อลดความยุ่งยากในการจัดการ แต่ด้วยนิสัยของกุ้ง ก้ามกรามที่มีพฤติกรรมก้าวร้าว หวงถิ่น และกินกันเอง เวลาลอกคราบทำให้มีอัตราการรอดตายต่ำ การเลี้ยงกุ้ง ก้ามกรามจึงจำเป็นต้องมีวัสดุหีบซ้อน เพื่อลดพฤติกรรม การกินกันเอง เพิ่มอัตราการรอดตาย และเพิ่มผลผลิตให้ สูงขึ้น (ประจวบ, 2532; Avault, 1986; Murthy et al., 2012) เนื่องจากมีรายงานว่าการใช้วัสดุหีบซ้อนสามารถ เพิ่มผลผลิต (Cohen et al., 1983; Tidwell et al., 2000; Tidwell and Coyle, 2008; Murthy et al., 2012; Tuly

et al., 2014) นำหนักเฉลี่ย (Cohen et al., 1983; Tidwell et al., 1999; Tidwell et al., 2000; Tidwell and Coyle, 2008) และอัตราการรอดตาย (Murthy et al., 2012; Tuly et al., 2014; สุพัทธ์ และนิพนธ์, 2547) ของกิ้งก่ามรกตได้

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้วัสดุหลบซ่อนต่ออัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตของกิ้งก่ามรกต โดยใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีราคาถูกมาทำวัสดุหลบซ่อน เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ในการเลี้ยงกิ้งก่ามรกตแบบหนาแน่นในเชิงพาณิชย์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมสัตว์ทดลอง

ซื้อกิ้งก่ามรกต (คละเทศ) ขนาด 6-7 เซนติเมตร จากฟาร์มเอกชนมาเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาส ก่อนเริ่มการทดลอง เพื่อฝึกให้กิ้งก่าคุ้นเคยกับการกินอาหารและสภาพแวดล้อม โดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแบบจม (โปรตีนไม่ต่ำกว่า 32 เปอร์เซ็นต์) จนอิ่มวันละ 2 ครั้ง เวลา 9.00 น. และ 15.00 น. เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นคัดกิ้งก่าที่แข็งแรงและมีขนาดใกล้เคียงกัน (น้ำหนักเฉลี่ย 4.89 กรัม ความยาวเฉลี่ย 7.79 เซนติเมตร) มาชั่งน้ำหนักและปล่อยลงเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาส ปริมาตรความจุ 500 ลิตร พื้นที่ก้นถัง 0.8 ตารางเมตร เติมน้ำประปาที่ผ่านการพักไว้ 7 วันจนไม่มีคลอรีนปริมาตร 300 ลิตร และปรับคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ อุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 25 - 32 °C ค่าความเป็นกรดต่างอยู่ระหว่าง 6 - 9 และค่าออกซิเจนละลายในน้ำมากกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร (Boyd, 1998) ให้อากาศตลอดเวลา ปล่อยกิ้งก่าความหนาแน่น 10 ตัว/ตารางเมตร (วีร์ และฐากร, 2555; Siddiqui et al., 1995) หรือ 8 ตัว/ถัง

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design, CRD) แบ่งออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ทุกชุดการทดลองจัดเรียง

พื้นที่หลบซ่อนให้ได้ 16 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ก้นถัง (วีร์ และฐากร, 2555) คือ

- ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน (ชุดควบคุม)
- ชุดการทดลองที่ 2 ใส่รังเทียมทำด้วยเชือกฟาง จำนวน 4 ชุด แต่ละชุดใช้เชือกฟางยาว 20 เซนติเมตร จำนวน 30 เส้นมัดรวมกัน จิกเป็นฝอย
- ชุดการทดลองที่ 3 ใส่ตาข่าย PVC ขนาดช่องตา 2 เซนติเมตร ขดให้เป็นท่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร จำนวน 8 ชุด
- ชุดการทดลองที่ 4 ใส่กระเบื้องทำเป็นจั่วหลังคาฐานกว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร จำนวน 8 ชุด
- ชุดการทดลองที่ 5 ใช้ขวดพลาสติกสี่เหลี่ยมทึบแสง ตัดหัว ทำย ความกว้างด้านละ 8 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร จำนวน 8 ชุด

การจัดการระหว่างการเลี้ยง

ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแบบจม โปรตีนไม่น้อยกว่า 32 เปอร์เซ็นต์ วันละ 2 ครั้ง เข้า-เย็น เวลา 9.00 น. และ 15.00 น. โดย 90 วันแรก ให้อาหาร 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และวันที่ 91-120 ให้อาหาร 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว (ยุพินท์ และรัชนิบูลย์, ม.ป.ป.) เปลี่ยนถ่ายน้ำและดูดตะกอนกันถึงทุก 7 วัน โดยแต่ละครั้งเปลี่ยนถ่ายน้ำ 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรน้ำในถังตลอดการทดลอง 120 วัน และตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนการเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยวัดอุณหภูมิ (temperature) ความเป็นกรดต่าง (pH) และออกซิเจนละลายในน้ำ (dissolved oxygen; DO) ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำ EUTECH Instruments PCD650 และวัดค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ตามวิธีการของ สุชลัคณ์ (2550) ดำเนินการทดลองระหว่างเดือนกันยายน 2558 ถึงเดือนมกราคม 2559

การเก็บบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์ทางสถิติ

นำกุ้งก้ามกรามแต่ละถังมาวัดความยาวและชั่งน้ำหนักทุก 30 วัน เพื่อหาอัตราการเจริญเติบโต เมื่อสิ้นสุดการทดลองชั่งน้ำหนักและวัดความยาวกุ้งทั้งหมด แล้วคำนวณน้ำหนักสุดท้าย (final weight) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain) ความยาวสุดท้าย (final length) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain; ADG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; SGR) และนับจำนวนกุ้งที่เหลือเพื่อหาอัตราการรอดตาย (survival rate) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล การเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และคุณภาพน้ำ ระหว่างการเลี้ยงด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการทดลองและวิจารณ์

อัตราการรอดของกุ้งก้ามกราม

ผลการศึกษาอัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาส โดยใช้วัสดุหลบซ่อนที่แตกต่างกัน 5 ชุดการทดลอง เป็นระยะเวลา 120 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า กุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในถังที่ใส่วัสดุหลบซ่อนกระบือ่งทำเป็นจั่วหลังคามีอัตราการรอดตายสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในถังที่ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อนมีอัตราการรอดตายต่ำที่สุด (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Murthy *et al.* (2012) ที่ศึกษาพบว่า กุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในบ่อที่ใส่วัสดุหลบซ่อน (ท่อ PVC ยางรถยนต์ และผักตบชวา) มีอัตราการรอดตายดีกว่าบ่อที่ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อนซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Sandifer *et al.* (1987) รายงานว่าการอนุบาลลูกกุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) ในบ่อที่มีการใช้วัสดุหลบซ่อนมีอัตราการรอดตายดีกว่าไม่ใช้วัสดุหลบซ่อน อัมพร และคณะ (2553) ศึกษาการใช้ท่อพีวีซีและกล่องพลาสติกเป็นวัสดุหลบซ่อนต่ออัตราการรอดตายของปูม้าที่เลี้ยงในบ่อ

ดิน พบว่าในบ่อดินที่ไม่มีวัสดุหลบซ่อนมีอัตราการรอดตายต่ำกว่าบ่อที่มีวัสดุหลบซ่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สุพัฒน์ และคณะ (2555) ทดลองอนุบาลลูกกุ้งตักแตนหางจุด *Harpiosquilla raphidea* โดยใช้วิธีการต่างกัน พบว่า การใช้สาหร่ายเทียมเป็นวัสดุหลบซ่อนสาหร่ายเทียมจะมีลักษณะคล้ายกับที่หลบซ่อนในธรรมชาติ และมีช่องว่างภายในพงสาหร่ายเทียมซึ่งลูกกุ้งสามารถว่ายน้ำผ่านเข้าออกได้อย่างปลอดภัย ทำให้อัตราการรอดตายสูงกว่าไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการสังเกตการตายของกุ้งก้ามกรามในชุดทดลองที่มีวัสดุหลบซ่อนพบว่า ในช่วง 30 วันแรกของการทดลอง การกินกันเองของกุ้งก้ามกรามขณะลอกคราบมีอัตราสูง และลดลงหลังจาก 60 วันของการทดลอง แต่ในชุดควบคุม (ไม่ใส่วัสดุหลบซ่อน) ยังคงมีอัตราการตายอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 1) เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งที่ไม่ได้ใส่วัสดุหลบซ่อนช่วงที่มีการลอกคราบใหม่ ๆ กุ้งจะมีสภาพอ่อนแอ เมื่อไม่มีวัสดุหลบซ่อนเพื่อพรางตัว จึงมีโอกาสที่จะถูกกุ้งตัวที่แข็งแรงกว่ากินได้มากกว่าชุดการทดลองที่มีวัสดุหลบซ่อน (วิเชียร, 2518; ปัญญา, 2536) วัสดุหลบซ่อนช่วยให้กุ้งมีการกินกันน้อยลง ทำให้ผลผลิตและอัตราการรอดตายมากขึ้น (Cohen *et al.*, 1983; Tuly *et al.*, 2014; สุพัทธ์ และนิพนธ์, 2547) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสี ขนาด รูปแบบ จำนวน และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำวัสดุหลบซ่อน (Sandifer and Smith, 1977; Du Boulay *et al.*, 1993; Mariappan *et al.*, 2009)

จากการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่ใส่วัสดุหลบซ่อนกระบือ่งทำเป็นจั่วหลังคามีอัตราการรอดตายสูงสุด อาจเนื่องมาจากวัสดุหลบซ่อนที่ทำจากกระบือ่งมีความมั่นคง แข็งแรง กุ้งจึงสามารถเข้าไปหลบได้ง่ายกว่าวัสดุหลบซ่อนที่มีน้ำหนักเบา นอกจากนี้กระบือ่งมีลักษณะปิดทึบ กุ้งจึงสามารถหลบซ่อนได้อย่างปลอดภัย ซึ่งแตกต่างจากวัสดุหลบซ่อนรังเทียมทำด้วยเชือกฟางและตาข่าย PVC ซึ่งมีลักษณะโปร่ง จึงมีโอกาสเกิดการกินกันเองสูง ทำให้อัตราการรอดต่ำกว่าวัสดุหลบซ่อนที่ทำจากกระบือ่ง

Table 1. Growth performance and survival rate of *Macrobrachium rosenbergii* reared in fiberglass tank with different shelter materials over 120 days

Parameter	Shelter materials				
	Without shelter materials	Plastic rope	PVC blue net	Ceramic tiles	Plastic bottle
Initial weight (g/ind.)	4.94 ± 0.34	4.79 ± 0.14	4.96 ± 0.28	4.98 ± 0.38	4.80 ± 0.29
Final weight (g/ind.)	21.32 ± 0.73 ^b	30.75 ± 2.25 ^a	20.50 ± 2.23 ^b	19.23 ± 1.23 ^b	18.96 ± 1.66 ^b
Weight gain	16.39 ± 0.87 ^b	25.96 ± 2.14 ^a	15.55 ± 2.01 ^b	14.24 ± 1.09 ^b	14.16 ± 1.70 ^b
Initial length (cm)	7.62 ± 0.09	8.11 ± 0.43	7.58 ± 0.21	8.04 ± 0.40	7.59 ± 0.39
Final length (cm)	12.09 ± 0.37	13.23 ± 0.46	11.93 ± 0.64	11.60 ± 0.95	11.59 ± 0.89
ADG (g/day)	0.14 ± 0.01 ^b	0.22 ± 0.02 ^a	0.13 ± 0.02 ^b	0.12 ± 0.01 ^b	0.12 ± 0.04 ^b
SGR (%/day)	1.22 ± 0.07 ^b	1.55 ± 0.05 ^a	1.18 ± 0.06 ^b	1.13 ± 0.06 ^b	1.14 ± 0.09 ^b
Survival rate (%)	25.00 ± 12.50 ^c	50.00 ± 12.50 ^b	41.67 ± 7.21 ^{bc}	79.17 ± 7.21 ^a	37.50 ± 0.00 ^{bc}

Values in the same row having different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

Mean ± SD

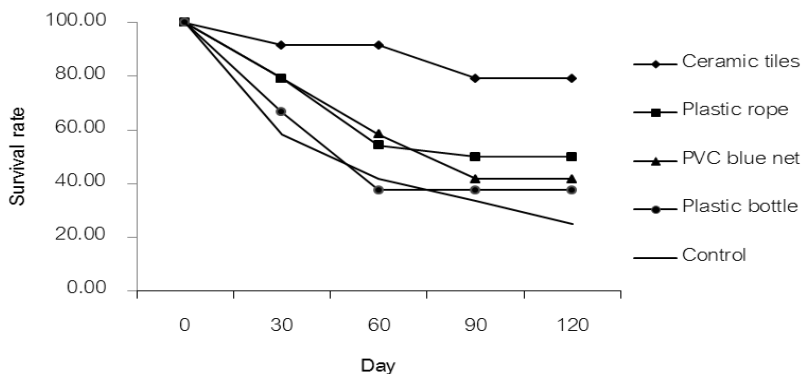


Figure 1. Survival rate of *Macrobrachium rosenbergii* reared in fiberglass tank with different shelter materials over 120 days

การเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสโดยใช้วัสดุหลบซ่อนที่แตกต่างกันพบว่า กุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในถังที่ใช้วัสดุหลบซ่อนรังเทียมทำด้วยเชือกฟางมีน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 1) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ชนิดของวัสดุหลบซ่อนมีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกรามในด้านน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Murthy *et al.* (2012) ได้ศึกษาผลของชนิดสิ่งหลบซ่อนต่อ

การเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม พบว่า กุ้งก้ามกรามมีการเจริญเติบโตดีที่สุดที่สุดในวัสดุหลบซ่อนท่อพีวีซี และต่ำสุดคือชุดการทดลองที่ไม่ใช้วัสดุหลบซ่อน ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และ วรศิริ และคณะ (2549) ที่ศึกษาพบว่า การใช้วัสดุหลบซ่อนกระเบื้องทำให้กุ้งก้ามกรามมีน้ำหนักสุดท้ายสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่แตกต่างกับการศึกษาของ วีร์ และสุภากร (2555) และ สุพัทธ์ และนิพนธ์ (2547) ที่ศึกษาพบว่า การใช้วัสดุหลบซ่อนไม่มีผลต่อน้ำหนักตัวสุดท้ายของกุ้งก้ามกราม

การศึกษาความยาวสุดท้ายของกุ้งก้ามกรามพบว่า แต่ละชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับการศึกษาของ สุพัตร และนิพนธ์ (2547) และ วรศิริ และคณะ (2549) ที่ศึกษาพบว่า วัสดุหีบซ่อนไม่มีผลต่อความยาวสุดท้ายของกุ้งก้ามกราม และ สุพัฒน์ และคณะ (2555) ศึกษาการอนุบาลลูกกุ้งที่ตกแต่งทางจุด โดยใช้วัสดุหีบซ่อนสำหรับเทียมทำด้วยเชือกไนลอนคล้ายเกลียว อวนไนลอนที่ทำเป็นก้อนกลม และไม่ใช้วัสดุหีบซ่อน พบว่า ความยาวสุดท้ายของลูกกุ้งที่ตกแต่งทางจุดในแต่ละชุดการทดลองมีความยาวเฉลี่ยใกล้เคียงกัน และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

การเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกรามขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น การกินอาหาร ความถี่ในการลอกคราบ และเพศ โดยกุ้งก้ามกรามเพศผู้จะมีอัตราการเจริญเติบโตเร็วกว่ากุ้งก้ามกรามเพศเมีย ซึ่งการทดลองครั้งนี้เป็นการเลี้ยงแบบคละเพศโดยสุ่มกุ้งลงในแต่ละถัง สัดส่วนเพศจึงอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตในแต่ละชุดการทดลอง สัตว์ในกลุ่มครัสเตเชีย เช่น กุ้ง กั้ง ปู ต้องอาศัยการลอกคราบเพื่อการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงขนาด และเพิ่มน้ำหนัก ดังนั้นกระบวนการลอกคราบจึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต (ยุทธนา และคณะ, 2555) พฤติกรรมการหลบซ่อนอาจเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งก้ามกรามเพิ่มขึ้น เนื่องจากกุ้งก้ามกรามเมื่อกินอาหารแล้วจะหลบซ่อนอยู่กับที่ การใส่วัสดุหีบซ่อนช่วยให้กุ้งถูกรบกวนน้อยลง ส่งผลให้การสร้างกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อมีประสิทธิภาพ (วรศิริ และคณะ, 2549)

คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามในถังไฟเบอร์กลาส โดยใช้วัสดุหีบซ่อนที่แตกต่างกัน เป็นเวลา 120 วัน พบว่า คุณภาพน้ำในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 คุณภาพน้ำโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งก้ามกราม

สรุป

การศึกษามูลของวัสดุหีบซ่อนต่ออัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกราม เป็นเวลา 120 วัน พบว่า วัสดุหีบซ่อนมีผลต่ออัตราการรอดตายของกุ้งก้ามกราม ดังนั้นควรเลี้ยงกุ้งก้ามกรามโดยใช้วัสดุหีบซ่อนกระเบื้องทำเป็นजूหลังคาเพื่อให้ได้อัตราการรอดตายสูงสุด

อย่างไรก็ตามควรมีการทดลองโดยใช้กุ้งเฉพาะเพศใดเพศหนึ่งและทดลองเพิ่มพื้นที่หลบซ่อนให้มากขึ้นเพื่อดูผลของการใช้วัสดุหีบซ่อนต่อการเจริญเติบโตและนำไปประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงกุ้งก้ามกรามแบบหนาแน่นในพื้นที่จำกัดต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณคุณพีรญา ฝ่ายจำปา และคุณศิรินาถ ชุมแวงวาปี ที่ช่วยให้การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

Table 2. Water quality parameters during 120 days of experiment

Parameter	Shelters materials				
	Without shelters materials	Plastic rope	PVC blue net	Ceramic tiles	Plastic bottle
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	25.45 $\pm$ 1.90	25.14 $\pm$ 2.36	24.87 $\pm$ 2.08	25.45 $\pm$ 1.92	24.82 $\pm$ 2.23
pH	7.42 $\pm$ 0.20	7.39 $\pm$ 0.21	7.35 $\pm$ 0.24	7.26 $\pm$ 0.21	7.36 $\pm$ 0.26
DO (mg/l)	8.6 $\pm$ 1.21	7.7 $\pm$ 0.64	8.5 $\pm$ 0.89	8.3 $\pm$ 1.49	9.5 $\pm$ 2.65
Alkalinity (mg/l as CaCO_3)	57.31 $\pm$ 4.92	56.68 $\pm$ 5.85	59.48 $\pm$ 4.56	57.53 $\pm$ 5.25	58.02 $\pm$ 3.87

Mean $\pm$ SD

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. 2558. สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ประจำปี 2556. เอกสารฉบับที่ 5/2558. กรมประมง, กรุงเทพฯ. 65 หน้า.
- ณาดยา ศรีจันทิก และวชิราภรณ์ ไกรอ่ำ. 2542. ความเคลื่อนไหวราคาสัตว์น้ำ ณ สะพานปลา กรุงเทพฯ ในช่วงไตรมาสที่ 4 ปี 2542. จุลสารเศรษฐกิจการประมง 5(1): 25-34.
- ประจวบ หล้าอุบล. 2532. กุ้ง. ฝ่ายสื่อการศึกษาสำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 237 หน้า.
- ปัญญา สุวรรณสมุทร. 2536. กุ้งก้ามกราม. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 119 หน้า.
- ยนต์ มุสิก. 2529. การเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกราม. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 146 หน้า.
- ยุทธนา อีร์ศคาน ณรงค์ พลวารี วิทยา หะวานนท์ มณฑกานติ ทำมตัน และ สุพิศ ทองรอด. 2555. ผลของอาหารต่อการลอกคราบ การเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของปูทะเล (*Scylla olivacea*, Herbst 1796) ในการผลิตปูนิ่ม. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 7/2555. กรมประมง, กรุงเทพฯ. 22 หน้า.
- ยุพินท์ วิวัฒน์ชัยเศรษฐ์ และ รัชนิบูลย์ ทัพย์เนตร. ม.ป.ป. การเลี้ยงกุ้งก้ามกราม. สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการประมง กรมประมง, กรุงเทพฯ. 25 หน้า.
- วรศิริ จอมรวงศ์ ไสว พูลเกษ และ ชัยสงคราม ภูกิจเงิน. 2549. การศึกษาเทคนิคการขุนกุ้งก้ามกรามเพศผู้โดยสร้างที่หลบซ่อนแตกต่างกัน. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตกาฬสินธุ์, กาฬสินธุ์. 35 หน้า.
- วิเชียร มากตุ่น. 2518. การศึกษาชนิดที่หลบซ่อนของกุ้งก้ามกรามที่เลี้ยงในบ่ออนุบาล. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 48 หน้า.
- วีร์ กิจนา และ สุภากร ทัพย์สุนทรศักดิ์. 2555. การเลี้ยงกุ้งก้ามกรามโดยใช้วัสดุหลบซ่อนจำนวนต่างกัน. หน้า 43-62. ใน: รายงานประจำปี 2555. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดอ่างทอง, อ่างทอง.
- วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม วาสนา อากรรธน์ และ เทพบุตร เวชกามา. 2555. การประเมินอัตราการกินอาหาร และการรอดตายของปูม้า (*Portunus pelagicus*) ที่เลี้ยงในบ่อดิน. วารสารเกษตร 28(1): 83-91.
- สุชลันต์ นานะกรังสรรค์. 2550. คู่มือการปฏิบัติงาน การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กลุ่มงานเคมี ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์. สำนักวิจัยและพัฒนากรมชลประทาน, กรุงเทพฯ. 125 หน้า.
- สุพัฒน์ กำลังเชื้อ ปราณี อ่อนแก้ว และ อติเทพ บุญเจริญ. 2555. การอนุบาลลูกกุ้งตักแตนหางจุด *Harpiosquilla raphidea* โดยใช้วิธีการต่างกัน. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 38/2555. กรมประมง, กรุงเทพฯ. 26 หน้า.
- สุพัทธ์ ศรีพัฒน์ และ นิพนธ์ จันทรประพัทธ์. 2547. การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามระยะ postlarva โดยใช้พื้นที่วัสดุหลบซ่อนขนาดต่างกัน. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 81/2547. กรมประมง, กรุงเทพฯ. 18 หน้า.
- อัมพร บัวที่ ลิขิต ชูจิต และ เทพบุตร เวชกามา. 2553. ผลของการใช้ท่อพีวีซี และกล่องพลาสติกเป็นวัสดุหลบซ่อนต่ออัตราการรอดตาย และอัตราการเติบโตของปูม้า (*Portunus pelagicus*) ที่เลี้ยงในบ่อดิน. หน้า 229-234. ใน: ประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 (สาขาประมง). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Ashby, A.A. 2003. The effects of stocking density, amount of substrate, frequency of feeding, and waste removal on nursery production and the effects of substrate height on pond production of freshwater prawn

- Macrobrachium rosenbergii*. M.S. Thesis. University of Tennessee, Knoxville. 54 p.
- Avault, J.W. 1986. Seven years of pond research with the prawn *Macrobrachium rosenbergii* in Louisiana. *Aquaculture Magazine* 12(4): 51-55.
- Boyd, C.E. 1998. *Water Quality for Pond Aquaculture*. Auburn University, Alabama. 37 p.
- Cohen, D., Z. Ra'anan and T. Brody. 1981. Population profile development and morphotypic differentiation in the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Journal of World Mariculture Society* 2: 213-234.
- Cohen, D., Z. Ra'anan, U. Rappaport and Y. Arieli. 1983. The production of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* in Israel: Improved conditions for intensive monoculture. *Bamidgeh* 35: 31-37.
- Du Boulay, A.J., M.D. Sayer and D.M. Holdich. 1993. Investigations into intensive culture of the Australian redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Freshwater Crayfish* 9: 70-78.
- Mariappan, P. and C. Balasundaram. 2004. Effect of shelters and weight groups on survival growth and limb loss in the fresh water prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Journal of Applied Aquaculture* 15(3-4): 51-62.
- Mariappan, P., C. Balasundaram and B. Schmitz. 2009. Decapod crustacean chelipeds: an overview. *Journal of Biosciences* 25(3): 301-313.
- Murthy, H.S., R. Kumarswamy, K.J. Palaksha, H.R. Sujatha and R. Shankar. 2012. Effect of different types of shelters on survival and growth of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Journal of Marine Science and Technology* 20(2): 153-157.
- Sandifer, P.A. and T.I.J. Smith. 1977. Intensive rearing of postlarval Malaysian prawns (*Macrobrachium rosenbergii*) in a closed cycle nursery system. *Proceedings of the World Mariculture Society* 8: 225-235.
- Sandifer, P.A., J.S. Hopkins and A.O. Stokes. 1987. Intensive culture potential of *Penaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 18: 94-100.
- Siddiqui, A.Q., H.M. Alhinty and S.A. Ali. 1995. Effects of harvesting methods on population structure, growth and yield of freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, cultured at two densities. *Journal of Applied Aquaculture* 5(3): 9-19.
- Tidwell, J. and S. Coyle. 2008. Impact of substrate physical characteristics on grow out of freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, in ponds and pond microcosm tanks. *Journal of The World Aquaculture Society* 39(3): 406-453.
- Tidwell, J.H., S. Coyle, A. Van Arnum and C. Weibel. 2000. Production response of freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, to increasing amounts of artificial substrate in ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 31: 452-458.
- Tidwell, J.H., S. Coyle, C. Weibel and J. Evans. 1999. Effects and interactions of stocking density and added substrate on production and population structure of freshwater prawns *Macrobrachium rosenbergii*. *Journal of the World Aquaculture Society* 30(2): 174-179.
- Tuly, D.M., M.S. Islam, M. Hasnahena, M.R. Hasan and M.T. Hasan. 2014. Use of artificial

substrate in pond culture of freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*): a new approach regarding growth performance and economic return. Journal of Fisheries 2(1): 53-58.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไก่รสกะเพรา

Product Development of Holy-basil Flavored Chicken Jerky

ศิริลดา ไกรลอมสม *

Sirilada Kailomsom *

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จ. ลพบุรี 15000

Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology Thepsatri Rajabhat University, Lopburi 15000, Thailand

*Corresponding author: Email: siriladakai@gmail.com

(Received: 14 September 2016; Accepted: 19 January 2017)

Abstract: The objectives of this research are 1) to study the process of chicken jerky product holy-basil flavor, 2) to study the drying optimum temperature and time of chicken jerky product holy-basil flavor, 3) to study the quality characteristics of product during 28 days storage at room temperature and 4) to study the consumer acceptance of chicken jerky product holy-basil flavor. The optimization of a formula for the product was studied. It was shown that chicken breast was used as a main ingredient and holy-basil, chili, garlic, seasoning sauce, fish sauce, sugar, water, prague powder, sodium erythorbate and monosodium glutamate were added as minor ingredients. The optimum amounts of minor ingredients were 4.61, 7.73, 10.73, 1.10, 3.74, 4.27, 6.00, 0.20, 0.20 and 0.20. percents of main ingredient, respectively. The best condition for drying product was 70 degree Celsius for 17 hours. The results presented that the sensory evaluation of brown color, holy-basil odor, saltiness, spicy flavor, stickiness, hardness and over all acceptance were 0.99 ± 0.13 , 0.90 ± 0.25 , 0.95 ± 0.18 , 1.00 ± 0.09 , 0.96 ± 0.13 , 1.03 ± 0.16 and 0.78 ± 0.03 , respectively. The product was stored at room temperature and its quality characteristics were monitored during 28 days. The results showed that the water activity and shear force significantly increased ($P \leq 0.05$). The TBA value increased but not significantly ($P > 0.05$). The total plate count was less than Thai community product standard 297/2549. The consumer acceptance was evaluated by consumer aged between 15 and 50 years old using 9-point hedonics scales. It was found that the brown color, holy-basil odor, saltiness, spicy flavor, stickiness, hardness and over all acceptance were 7.08 ± 0.87 , 7.11 ± 0.69 , 7.44 ± 0.89 , 7.24 ± 0.81 , 7.06 ± 0.90 , 7.36 ± 0.92 and 8.23 ± 0.62 , respectively. The consumer accepted at moderately like to very like.

Keywords: Jerky, chicken product, dried product, holy-basil flavor, snack

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์เจอร์รี่ไก่รสกะเพราที่เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค 2) ให้ทราบอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์เจอร์รี่ไก่รสกะเพรา 3) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เจอร์รี่ไก่รสกะเพราในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 28 วัน 4) ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เจอร์รี่ไก่รสกะเพรา โดยพบว่าสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เจอร์รี่ไก่รสกะเพรา คือการใช้เนื้ออกไก่เป็นส่วนผสมหลักในอัตราส่วนร้อยละ 100 และใช้ส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ กะเพรา พริกจินดา กระเทียม ซอสปรุงรส น้ำปลา น้ำตาล น้ำ ผงเพรก โซเดียมอิริทริเทรต และผงชูรส ในอัตราส่วนร้อยละ 4.61, 7.73, 10.73, 1.10, 3.74, 4.27, 6.00, 0.20, 0.20 และ 0.20 ของส่วนผสมหลักตามลำดับ การอบผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 ชั่วโมงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด โดยผลิตภัณฑ์มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยของค่าสังเกตทางประสาทสัมผัสในด้าน สีน้ำตาล กลิ่นกะเพรา รสเค็ม ความเผ็ด ความเหนียว ความแข็ง และการยอมรับโดยรวม เท่ากับ 0.99 ± 0.13 , 0.90 ± 0.25 , 0.95 ± 0.18 , 1.00 ± 0.09 , 0.96 ± 0.13 , 1.03 ± 0.16 และ 0.78 ± 0.03 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์เจอร์รี่ไก่รสกะเพราในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางกายภาพด้านปริมาณน้ำอิสระ และค่าแรงเฉือนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คุณภาพทางเคมี ด้านค่าไทโอบาร์บิทูริกแอซิดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) คุณภาพทางด้านปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 297/2549 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ได้จากผู้บริโภคจำนวน 100 คน อายุระหว่าง 15-45 ปี พบว่ามีคะแนนด้านสีน้ำตาล กลิ่นกะเพรา รสเค็ม ความเผ็ด ความเหนียว ความแข็ง และการยอมรับโดยรวม เท่ากับ 7.08 ± 0.87 , 7.11 ± 0.69 , 7.44 ± 0.89 , 7.24 ± 0.81 , 7.06 ± 0.90 , 7.36 ± 0.92 และ 8.23 ± 0.62 คะแนนตามลำดับ โดยผู้บริโภคให้การยอมรับอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

คำสำคัญ: เจอร์รี่ ผลิตภัณฑ์จากเนื้อไก่ ผลิตภัณฑ์อบแห้ง รสกะเพรา อาหารทานเล่น

คำนำ

ผลิตภัณฑ์เจอร์รี่ (jerky product) คือ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อบแห้งรู้จักกันในนามอาหารทานเล่น โดยเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์บดหยาบที่ผ่านการปรุงรสและขึ้นรูปก่อนแล้วนำไปอบให้แห้ง ผลิตภัณฑ์เจอร์รี่เดิมเป็นอาหารดั้งเดิมของชาวอเมริกันพื้นเมืองทำขึ้นเพื่อใช้เป็นเสบียงอาหาร เนื่องจากเจอร์รี่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน พกพาสะดวก พร้อมรับประทาน และในปัจจุบันได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะกลุ่มผู้บริโภควัยรุ่นและเด็กในแถบตะวันตกและสหรัฐอเมริกา ส่วนในประเทศไทยผลิตภัณฑ์เจอร์รี่ถูกผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกภายใต้แบรนด์ไฮแลนด์สเจอร์รี่ ซึ่งเจอร์รี่จัดเป็นขนมขบเคี้ยวที่ดีต่อสุขภาพ มีปริมาณโปรตีนสูงเนื่องจากทำจากเนื้อสัตว์เป็นวัตถุดิบหลัก เหมาะสำหรับผู้ที่กำลังควบคุมน้ำหนัก และยังเป็นทางเลือกที่ดีต่อนักกีฬา ซึ่งต่อมากมีการนำผลิตภัณฑ์เจอร์รี่มาศึกษา และพัฒนารสชาติให้

ถูกปากคนไทยมากขึ้น เช่น รสลาบ (เสาวลักษณ์ และสุนิษา, 2553) รสเนื้อแดดเดียว (จุจริน และจุฑารัตน์, 2555) รสบาร์บีคิว (ประภาศรี และคณะ, 2554) เป็นต้น เนื้อสัตว์ที่นิยมนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เจอร์รี่ ได้แก่ เนื้อหมู เนื้อวัว และเนื้อไก่ ซึ่งเนื้อไก่สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลาย มีรสชาติดีและมีคุณค่าทางอาหารสูง เนื้อไก่จัดเป็นโปรตีนชั้นดี มีกรดอะมิโนหลายชนิด วิตามิน แร่ธาตุครบถ้วน รวมทั้งให้พลังงานต่ำ โดยในเนื้อไก่มีโปรตีนมากถึงร้อยละ 23-30 มีไขมันต่ำ เมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์ประเภทอื่น ๆ ในเนื้ออกไก่ 100 กรัม มีปริมาณความชื้นร้อยละ 75.5 โปรตีนร้อยละ 23.3 ไขมันร้อยละ 0.1 และแร่ธาตุต่าง ๆ (กองโภชนาการ กรมอนามัย, 2530) นอกจากนี้เนื้อไก่เป็นอาหารที่รับประทานได้ทุกชาติทุกชนชั้น เพราะไม่ขัดต่อหลักศาสนา (ลิขิต, 2534) และยังมีคุณสมบัติพิเศษ คือ ย่อยง่าย สามารถดูดซับเครื่องปรุงรสได้ดี ทำให้เนื้อไก่มีรสชาติที่เข้มข้นกว่าเนื้อจากสัตว์อื่น และมีราคาถูก จากการค้นคว้าจึงมีแนวคิด

ต้องการจะพัฒนาผลิตภัณฑ์เจอร์กี้จากเนื้อไก่ และทำให้มีรสชาติที่ถูกปากคนไทย โดยเลือกพัฒนาเป็นรสกระเพราไก่ ซึ่งเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมมากทั้งชาวไทย และชาวต่างชาติ มีรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ของคนไทย โดยงานวิจัยนี้จะทำการผลิตผลิตภัณฑ์เจอร์กี้จากเนื้ออกไก่ และมีการปรุงรสที่เป็นส่วนผสมของผักกระเพราลงไป เพื่อให้ได้เจอร์กี้ไกรสกะเพราที่เป็นการเพิ่มทางเลือกให้ผู้บริโภคที่นิยมอาหารที่มีรสจัด และผู้ที่นิยมบริโภคผลิตภัณฑ์เจอร์กี้

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพรา แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 สร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพรา

ก่อนที่จะมีการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นจำเป็นต้องมีการสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์เสียก่อน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค โดยใช้หลักการของ ideal ratio profile test (ไพโรจน์, 2547) ทำการผลิตผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพรา โดยใช้เนื้ออกไก่เป็นส่วนผสมหลัก 100 กรัม มีส่วนผสมอื่น ๆ คือ กระเพรา พริกจินดา กระเทียม ขอสปรุงรส น้ำปลา น้ำตาล น้ำส้ม ผงเพรก โซเดียมอซิโรเบท และผงชูรส ในอัตราส่วนร้อยละ 4.61, 7.73, 10.73, 1.10, 3.74, 4.27, 6.00, 0.20, 0.20 และ 0.20 ของส่วนผสมหลักตามลำดับ ผลิตโดยการหมักเนื้ออกไก่กับผงเพรก โดยใช้ผงเพรกร้อยละ 0.20 ของส่วนผสมหลัก หมักไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเนื้อไก่ไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเนื้อ บดพริกจินดา กระเทียม และใบกระเพราให้ละเอียด นำมาผสมกับเนื้อไก่บด ปรุงรสด้วยเครื่องปรุงอื่น ๆ ตามสูตรการผลิต ขึ้นรูปส่วนผสมที่ได้ด้วยการชั่งส่วนผสมใส่ลงในถุงพลาสติกไฮเดนซีดีโพลีเอทิลีน (HDPE) ขนาด 6x9 นิ้ว โดยบรรจุลงละ 130 กรัม รีดให้เป็นแผ่นหนา 0.5 เซนติเมตร หรือมีขนาด 6x4 นิ้ว หมักไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 1-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมงแล้วจึงนำมาตัดให้มีขนาด 1x4 นิ้ว โดย 1

ถุงตัดได้ 6 ชิ้น นำไปวางเรียงบนถาด อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 17 ชั่วโมง (เสาวลักษณ์ และสุณิษา, 2553) เก็บรักษาสผลิตภัณฑ์ระหว่างรอทดสอบด้วยการบรรจุในถุงเมทัลไลต์ปิดผนึกด้วยความร้อน ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปทำการตรวจสอบคุณภาพด้านต่าง ๆ ต่อไปนี้

คุณภาพด้านกายภาพ เนื้อสัมผัส (texture analyzer, TA.XT plus, England) เพื่อวัดหาค่า TPA (texture profile analysis) หาค่าแรงเค้น โดยใช้หัววัด HDP/BS ฐาน HDP/90, ปริมาณของน้ำอิสระ (a_w) โดยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (AQUALAB, USA)

คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ใช้วิธีการทดสอบแบบ Ideal ratio profile technique (ไพโรจน์, 2547)

คุณภาพด้านจุลินทรีย์ วิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000), ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000)

ตอนที่ 2 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพรา

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพราไก่ แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการอบที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ โดยการวางแผนการทดลองแบบ 3^2 factorial in completely randomized design (ไพโรจน์, 2547) ทำการศึกษา 2 ปัจจัยคือ ระยะเวลาในการอบ และอุณหภูมิในการอบดังนี้

ศึกษาระยะเวลาการอบ 3 ระดับ คือ 15, 17 และ 19 ชั่วโมง

ศึกษาอุณหภูมิการอบ 3 ระดับ คือ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส

ซึ่งสามารถแสดงได้ดัง ตารางที่ 1

คุณภาพด้านกายภาพ เนื้อสัมผัส (texture analyzer, TA.XT plus, England) เพื่อวัดหาค่า TPA (texture profile analysis) หาค่าแรงเค้น โดยใช้หัววัด HDP/BS ฐาน HDP/90, ปริมาณของน้ำอิสระ (a_w) โดยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (AQUALAB, USA)

คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ใช้วิธีการทดสอบแบบ Ideal ratio profile technique (ไพโรจน์, 2547)

Table 1. The study optimize temperature and time of drying chicken jerky product holy-basil flavor

Temperature (degree Celsius)	Time (hour)
60	15
60	17
60	19
70	15
70	17
70	19
80	15
80	17
80	19

คุณภาพด้านจุลินทรีย์ วิเคราะห์หาปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000), ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000)

ตอนที่ 3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพรา

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพรา จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมที่ได้จาก ตอนที่ 2 นำผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพราที่ได้บรรจุลงในถุงเมทิลไลต์ ปิดผนึกให้สนิท เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 5 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา 28 วัน ทำการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ออกมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ในวันที่ 0, 7, 14, 21 และ 28 ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยทำการวิเคราะห์ด้านต่าง ๆ ดังนี้

คุณภาพด้านเคมี thiobarbituric acid (TBA) (Pearson, 1976)

คุณภาพด้านกายภาพ เนื้อสัมผัส (texture analyzer, TA.XT plus, England) เพื่อวัดหาค่า TPA (texture profile analysis) หาค่าแรงเคี้ยว โดยใช้หัววัด HDP/BS ฐาน HDP/90, ปริมาณของน้ำอิสระ (a_w) โดยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (AQUALAB, USA)

คุณภาพด้านประสาทสัมผัส ใช้วิธีการทดสอบแบบ Ideal ratio profile technique (ไพโรจน์, 2547)

คุณภาพด้านจุลินทรีย์ วิเคราะห์หาปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000), ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000)

ตอนที่ 4 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพรา

ผลิตผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพรา ตามสูตร และทำการอบที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้บริโภคทั่วไปที่มีอายุระหว่าง 15-45 ปี จำนวน 100 คน ทำการศึกษาที่จังหวัดลพบุรี โดยวิธีการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale (ไพโรจน์, 2547) ศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาเค้าโครงของผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพรา

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพรา จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธี ideal ratio profile test (ไพโรจน์, 2547) ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ มีผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน เพื่อหาคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากค่าคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคมีความเห็นตรงกันมากกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนผู้บริโภคทั้งหมด ซึ่งจากการทดลองนี้ คุณลักษณะที่ได้จากผู้บริโภค และถือเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ คือ สีน้ำตาล กลิ่นกะเพรา รสเค็ม ความเผ็ด ความเหนียว และความแข็ง โดยมีค่าเฉลี่ยของแต่ละคุณลักษณะแสดงดังตารางที่ 2

Table 2. Ratio score of sensory characteristics the chicken jerky product holy-basil flavor

characteristic	Ratio score	
	Ideal	Chicken jerky product holy-basil flavor
brown color ^{ns}	1.00 ± 0.01	0.92 ± 0.18
holy-basil flavor ^{ns}	1.00 ± 0.01	1.00 ± 0.22
saltiness ^{ns}	1.00 ± 0.01	0.89 ± 0.33
spicy	1.00 ^a ± 0.01	0.93 ^b ± 0.18
stickiness	1.00 ^a ± 0.01	0.86 ^b ± 0.33
hardness ^{ns}	1.00 ± 0.01	0.88 ± 0.28
overall	1.00 ^a ± 0.01	0.68 ^b ± 0.19

^{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 ($P > 0.05$)

จากตารางที่ 2 เห็นได้ว่าค่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไก่รสกะเพรา มีคุณลักษณะด้านสีน้ำตาล กลิ่นกะเพรา รสเค็ม และความแข็ง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) กับค่าในอุดมคติของผู้บริโภค

ส่วนค่าสังเกตด้านรสเค็ม ความเหนียว และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไก่รสกะเพรา พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่าในอุดมคติของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แสดงว่าผู้บริโภคต้องการให้เพิ่มคุณลักษณะด้านรสเค็ม ความเหนียว และการยอมรับโดยรวม

นอกจากนี้เมื่อนำผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไก่รสกะเพราไปทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมี พบว่าผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไก่รสกะเพรามีค่าแรงเค้นเท่ากับ $9,881 \pm 699.18$ กรัม/มิลลิเมตร ปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.69 ± 0.01 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยจากข้อกำหนดของ American Food Safety and Inspection Service (FSIS) (2012) โดยผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไก่รสกะเพราที่ได้จัดเป็นอาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture foods) เนื่องจากมีความชื้นต่ำกว่า 0.8 มีคุณภาพ ทางจุลินทรีย์ ด้านปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 1.8 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม โดยมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานการผลิตเนื้อแห้ง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2549) ที่กำหนดให้มียีสต์และราได้ไม่เกิน 500 โคโลนีต่อกรัม

ตอนที่ 2 ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไก่รสกะเพรา

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไก่รสกะเพรา แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการอบที่อุณหภูมิ และเวลาที่ต่างกันโดยการวางแผนการทดลองแบบ 3^2 factorial in completely randomized design (ไพโรจน์, 2547) โดยทำการศึกษา 2 ปัจจัยคือ ระยะเวลาในการอบ 3 ระดับ คือ 15, 17 และ 19 ชั่วโมง อุณหภูมิในการอบ 3 ระดับ คือ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ แสดงได้ดังนี้

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีระยะเวลา และอุณหภูมิการอบเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าแรงเค้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากโปรตีนกล้ามเนื้อ (myofibrillar proteins) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) เกิดการเสียสภาพจากความร้อนส่งผลให้องค์ประกอบภายในเส้นใยโปรตีนมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเกิดการหดตัว ทำให้เนื้อความเหนียวมากขึ้น (Christensen *et al.*, 2000) สอดคล้องกับ Konieczny *et al.* (2007) พบว่า ปริมาณน้ำในชิ้นเนื้อที่ลดลงทำให้เนื้อเกิดการหดตัว ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสของเจอร์กี้เนื้อวัวโดยตรง ส่วนค่าปริมาณน้ำอิสระพบว่า การอบผลิตภัณฑ์ที่ระยะเวลา และอุณหภูมิการอบเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

Table 3. Physical quality of the study optimize temperature and time of drying chicken jerky product holy-basil flavor

Treatment	Shear force (g/mm)	Free water (a_w)
1	7,450.4 ^a ± 820.14	0.84 ^g ± 0.01
2	8,453.5 ^a ± 779.01	0.76 ^f ± 0.03
3	8,491.9 ^a ± 863.45	0.72 ^e ± 0.02
4	8,470.8 ^a ± 928.96	0.71 ^e ± 0.01
5	10,092.0 ^b ± 776.69	0.68 ^d ± 0.01
6	11,230.3 ^{bc} ± 592.77	0.63 ^c ± 0.01
7	11,454.6 ^{bc} ± 1,530.16	0.61 ^b ± 0.01
8	12,377.4 ^c ± 1,572.18	0.57 ^a ± 0.00
9	12,652.6 ^c ± 992.58	0.56 ^a ± 0.01

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

ทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทำให้ทุกสิ่งทดลองมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยด้านเชื้อจุลินทรีย์ (FSIS, 2012) ซึ่งควรมีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.85

นอกจากนี้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่าทุกสิ่งทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราที่ไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ใกล้เคียง ได้แก่ กุนเชียงไก่ (สำนักมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2555ก) และกุนเชียงหมู (สำนักมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2555ข) ที่กำหนดว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) ต้องไม่เกิน 1×10^5 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์รา (yeast/mold) ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพราโดยดูจากค่าทางประสาทสัมผัสที่ใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติของผู้บริโภคมากที่สุดคือ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง

โดยผลิตภัณฑ์ที่อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 ชั่วโมงจะมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสในด้าน สีน้ำตาล กลิ่นกะเพรา รสเค็ม ความเผ็ด ความเหนียว ความแข็ง และการยอมรับโดยรวม เท่ากับ 0.99 ± 0.12 , 1.00 ± 0.32 , 0.95 ± 0.18 , 0.96 ± 0.09 , 0.95 ± 0.13 , 1.03 ± 0.22 และ 0.78 ± 0.03 ตามลำดับและมีคุณภาพทาง

กายภาพ ค่าแรงเคียนเท่ากับ $8,470.8 \pm 928.96$ กรัมต่อมิลลิเมตร และปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.71 ± 0.01 และมีปริมาณจุลินทรีย์ไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้

ตอนที่ 3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพราเป็นเวลา 28 วัน

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพรา อบผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 ชั่วโมง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพราที่ได้บรรจุในถุงฟรอยด์เมทัลไลต์ ถุงละ 40 กรัม ปิดผนึกด้วยความร้อน แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 28 วัน ทำการสุ่มตัวอย่างออกมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ได้แก่ คุณภาพด้านกายภาพ คุณภาพด้านเคมี คุณภาพด้านจุลินทรีย์ และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสโดยสุ่มตัวอย่างมาทดสอบในวันที่ 0, 7, 14, 21 และ 28 ทำซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า

คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ไกรสกะเพรา พบว่า ค่าแรงเคียนของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มคงที่ ส่วนปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อครบ 28 วัน ผลิตภัณฑ์มีค่าแรงเคียน เท่ากับ $9,338.92 \pm 1,211.762$ กรัมต่อมิลลิเมตร และปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.74 ± 0.01 ซึ่งยังคงเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยด้านเชื้อจุลินทรีย์ (FSIS, 2012)

คุณภาพด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ พบว่าปริมาณกรดไทโอบาร์บิทรูริก (TBA values) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อครบ 28 วัน ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณกรดไทโอบาร์บิทรูริก เท่ากับ 0.20 ± 0.085 มิลลิกรัมมาลอนัลดีไฮด์ต่อกรัมไขมัน โดยปริมาณกรดไทโอบาร์บิทรูริก เป็นค่าที่บ่งบอกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ว่าเกิดการเหม็นหืนมากน้อยเพียงใด (Allen and Hamilton, 1994) ทางประสาทสัมผัสจะเริ่มรู้สึกถึงกลิ่นแปลกปลอมในอาหารได้เมื่อปริมาณกรดไทโอบาร์บิทรูริก มากกว่า 3.00 มก.มาลอนัลดีไฮด์/กก.ไขมัน (Tanikawa, 1985) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริลดา (2558) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไล้กรอกกะเพราไก่ที่เก็บรักษาไว้นาน 28 วัน โดยผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณกรดไทโอบาร์บิทรูริกอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และผู้ทดสอบชิมไม่สามารถตรวจสอบกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ได้ อาจมีผลมาจากกลิ่นของเครื่องเทศที่เป็นส่วนผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาครบ 28 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีปริมาณ 1.2×10^4 โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม สำหรับปริมาณยีสต์และราพบน้อยกว่า 10 โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขุนเชียงปลา (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2555ค) ที่กำหนดให้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^5 โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม และปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม

คุณภาพทางทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะด้านสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น โดยผลิตภัณฑ์เริ่มมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์มากกว่าค่าในอุดมคติของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 21 วัน โดยผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning) ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากกรดอะมิโน หรือโปรตีน ทำปฏิกิริยากับสารพวกน้ำตาล อัลดีไฮด์ (aldehyde) หรือคีโตน (ketone) ในขณะที่ที่อาหารผ่านความร้อนหรือเก็บเอาไว้เวลานาน ๆ ทำ

ให้ได้สารเมลานอยดิน (melanoidin) ที่ให้สีน้ำตาล (Labuza et al., 1994)

คุณลักษณะด้านกลิ่นกะเพราลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อไก่แห้งพร้อมรับประทานจากเนื้อที่มีลักษณะเหนียวเพื่อเพิ่มมูลค่าและการนำไปใช้ประโยชน์ที่พบว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้นค่าสัดส่วนเฉลี่ยด้านกลิ่นเครื่องเทศมีแนวโน้มลดลง (คมแขและคณะ, 2558)

นอกจากนี้ในขณะเก็บรักษา พบว่าคุณลักษณะด้านรสเค็ม ความเผ็ด และการยอมรับโดยรวม มีแนวโน้มลดลง ส่วนคุณลักษณะด้านความเหนียว และความแข็ง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ตอนที่ 4 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เจอร์เก้ไกรสะกะเพรา

จากการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปที่มีอายุระหว่าง 15-50 ปี จำนวน 100 คน โดยใช้แบบทดสอบแบบสเกลความชอบ 9 คะแนน (9 points hedonic scale) ผลการทดลองพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์ กลิ่นกะเพรา รสเค็ม ความเผ็ด ความเหนียว ความแข็ง และการยอมรับโดยรวม เท่ากับ 7.08 ± 0.87 , 7.11 ± 0.69 , 7.44 ± 0.89 , 7.24 ± 0.81 , 7.06 ± 0.90 , 7.36 ± 0.92 และ 8.23 ± 0.62 คะแนนตามลำดับ โดยผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เจอร์เก้ไกรสะกะเพราอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

สรุป

คุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เจอร์เก้ไกรสะกะเพราที่ได้จากผู้บริโภคได้แก่ สีน้ำตาล กลิ่นกะเพรา รสเค็ม ความเผ็ด ความเหนียว ความแข็ง และการยอมรับโดยรวม ผลิตภัณฑ์อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมงมีคุณภาพดีที่สุด โดยผลิตภัณฑ์มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยแต่ละด้านเท่ากับ 0.99 ± 0.13 , 1.00 ± 0.32 , 0.95 ± 0.18 , 0.96 ± 0.09 , 0.96 ± 0.13 , 1.03 ± 0.16 และ 0.78 ± 0.03 ตามลำดับ มีคุณภาพทางกายภาพด้านค่าแรงเฉือนเท่ากับ $8,470.8 \pm$

928.96 กรัมต่อมิลลิเมตร และด้านปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.71 ± 0.01 และมีปริมาณจุลินทรีย์เท่ากับ 4.0×10^4 โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม ปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 10 โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม ในขณะที่เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในถุงพรอยด์เมทัลไลต์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วัน พบว่าคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้านสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คุณลักษณะด้านกลิ่นกะเพราลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คุณลักษณะด้านรสเค็ม ความเผ็ด และการยอมรับโดยรวมมีแนวโน้มลดลง คุณลักษณะด้านความเหนียว และความแข็ง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คุณภาพทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส และค่าปริมาณน้ำอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา คุณภาพทางเคมีพบว่าปริมาณ กรดไทโอบาร์บิทรिकมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณยีสต์ และรา และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนด การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ ไกรสกะเพราที่ใช้ผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คน อายุระหว่าง 15-45 ปี พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในด้านสีน้ำตาล กลิ่นกะเพรา รสเค็ม ความเผ็ด ความเหนียว ความแข็ง และการยอมรับโดยรวมเท่ากับ 7.08 ± 0.87 , 7.11 ± 0.69 , 7.44 ± 0.89 , 7.24 ± 0.81 , 7.06 ± 0.90 , 7.36 ± 0.92 และ 8.23 ± 0.62 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก

เอกสารอ้างอิง

- กองโภชนาการ กรมอนามัย. 2530. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม. กรมอนามัย, กรุงเทพฯ. 48 หน้า.
- คมแห พิลาสสมบัติ ศุภลักษณ์ สรภักดี และ รุจริน ลิ้มศุภวานิช. 2558. โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อกึ่งแห้งพร้อมรับประทานจากเนื้อที่มีลักษณะเหนียวเพื่อเพิ่มมูลค่าและการนำไปใช้ประโยชน์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สวก.), กรุงเทพฯ. 132 หน้า.
- ประภาศรี เทพรักษา ตริยรัตน์ แก้วสะอาด และ สุนทรีย์ สุวรรณดิษณณ์. 2554. การพัฒนากระบวนการผลิตและยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้ออบแห้งปรุงรส. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 19(2): 40-50.
- ไพโรจน์ วิริยจริย์. 2547. การวางแผนและการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 275 หน้า.
- รุจริน ลิ้มศุภวานิช และ จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2555. ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://extension.dld.go.th/th1> (10 กรกฎาคม 2558).
- ลิขิต เขียดแก้ว. 2534. ธุรกิจไก่เนื้อ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักเกษตรกรรม, กรุงเทพฯ. 119 หน้า.
- ศิริลดา ไกรลสมม. 2558. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกกะเพราไก่ลดไขมันโดยใช้แป้งบุกร่วมกับแซนแทนกัม. วารสารเกษตร 31(1): 77-87.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2549. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเนื้อแดดเดียว มผช.297/2549. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, กรุงเทพฯ. 5 หน้า.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2555ก. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกุ้งแช่แข็งไก่ มผช.105/2555. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, กรุงเทพฯ. 5 หน้า.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2555ข. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกุ้งแช่แข็งหมู มผช.103/2555. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, กรุงเทพฯ. 5 หน้า.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2555ค. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกุ้งแช่แข็งปลา มผช. 104/2555. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, กรุงเทพฯ. 5 หน้า.
- เสาวลักษณ์ วงศ์มณี และสุนิษา นุชพิเรนทร์. 2553. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เจอร์กี้รสลาบ. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี, ลพบุรี. 112 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. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland.
- Christensen, M., P.P. Purslow and L.M. Larsen. 2000. The effect of cooking temperature on mechanical properties of whole meat, single muscle fibres and perimysial connective tissue. Meat Science 55: 301-307.
- FSIS. 2012. FSIS compliance guideline for meat and poultry jerky produce by small and very small establishment. USDA, Washington, D.C. 54 p.
- Konieczny, P., J. Stangierski and J. Kijowski. 2007. Physical and chemical characteristics and acceptability of home style beef jerky. Meat Science 76: 253-257.
- Labuza, T.P., G.A. Reineccius, J. Baynes and N. Monnier. 2008. The Maillard Reaction in Food, Nutrition and Health. Woodhead Publishing Limited, London. 455 p.
- Pearson, D. 1976. The chemical analysis of food. Churchill living stine. London. England. 498 p.
- Tanikawa, E. 1985. Marine Product in Japan. 2nd ed. Koseisha-Koseikaku, Co., Ltd., Tokyo. 533 p.
-

คุณสมบัติพรีไบโอติกเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์หมูยอเสริมฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ สกัดจากหัวหอมแขกและรากชิโครี

Primary Prebiotic Properties of Thai White Pork Sausage (Moo-yor) Supplemented
with Fructooligosaccharide Extracted from Onion (*Allium cepa* L.) and Chicory Root

สุทธิพร นันตี¹ ไพโรจน์ วงศ์พุทธิสิน^{1*} นีอร โจนศรี² สมคิด ดีจริง¹ และ ปิยะนุช เนียมทรัพย์¹
Suttiporn Nanti¹, Pairote Wongputtisiri^{1*}, Ni-orn Chomsri², Somkid Deejing¹ and Piyanuch Niamsup¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

¹Program in Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

²สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง จ. ลำปาง 52000

²Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang, Lampang 52000, Thailand

*Corresponding author: Email: pairotewong@gmail.com

(Received: 6 July 2016; Accepted: 29 December 2016)

Abstract: Fructooligosaccharide sugar (FOS) is a prebiotic substance that possesses the excellent property of probiotic growth stimulation and also has been popular and widely accepted. This research aimed to investigate the production of prebiotic Thai white pork sausage (Moo-yor) with the supplementation of FOS and test for the primary prebiotic properties of products. The FOS powder (Frutafit® IQ) prepared from chicory root (*Cichorium intybus* L.) and FOS extracted from onion (*Allium cepa* L.) were used as ingredient in prebiotic Thai white pork sausage (Moo-yor) production. It was found that the degree of polymerization (DP) of sugar from both sources were 12.55 and 6.95, respectively. The amount of FOS, i.e. kestose and nystose, in these samples slightly changed ($P>0.05$) after heat treatment at 80 °C for 30 min. FOS was formulated in four prebiotic white pork sausage (Moo-yor) formula; i.e. Thai white pork sausage (Moo-yor) mixed with 5 and 10% (w/w) of chicory FOS and white pork sausage (Moo-yor) mixed with 5 and 10% (w/w) of onion (*Allium cepa* L.) FOS. Moreover, standard formula of Moo-yor was also studied. The results showed that the growth of every tested probiotic strains could be stimulated by all white pork sausage (Moo-yor)(s), but *Escherichia coli* and *Salmonella enterica* subspecies *enterica* serovar Typhimurium growths were also stimulated ($P<0.05$). Nevertheless, when the growth promotion study of human gastrointestinal tract mixed cultures by fecal slurry test was conducted, it was found that the growth of total lactic acid bacteria was promoted by all prebiotic Thai white pork sausage (Moo-yor)(s), subsequently; the growth of *Salmonella-Shigella* group were suppressed. It might be concluded that prebiotic Thai white pork sausage (Moo-yor) supplemented by FOS sugar from these two plant sources had a potential to be further developed as a functional food product for consumers.

Keywords: Prebiotic, Thai white pork sausage, functional food, fructooligosaccharide, onion, chicory

บทคัดย่อ: น้ำตาลกลุ่มฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructooligosaccharide; FOS) เป็นสารพรีไบโอติก (prebiotic) ที่มีคุณสมบัติกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียโปรไบโอติกได้ดี อีกทั้งได้รับความนิยมและถูกยอมรับอย่างกว้างขวางขวางตั้งนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองผลิตผลิตภัณฑ์หมุยพรีไบโอติกที่มีส่วนผสมของน้ำตาล FOS และทดสอบคุณสมบัติพรีไบโอติกเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ ผงน้ำตาล FOS (Frutafit® IQ) ที่เตรียมจากรากชิโครี (*Cichorium intybus* L.) และน้ำตาล FOS ที่สกัดจากหัวหอมแขก (*Allium cepa* L.) ได้นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตหมุยพรีไบโอติกครั้งนี้ โดยพบว่าโมเลกุลของน้ำตาลทั้งสองแหล่งมีค่า Degree of polymerization (DP) เท่ากับ 12.55 และ 6.95 ตามลำดับ ปริมาณ FOS ได้แก่ น้ำตาลคิสโตสและนีสโตสในตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ($P>0.05$) เมื่อได้รับความร้อนที่ระดับ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที น้ำตาล FOS ได้นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตหมุยทั้งสิ้น 4 สูตร ได้แก่ สูตรผสมน้ำตาล FOS จากรากชิโครีปริมาณ 5 และ 10% (w/w) และสูตรผสมน้ำตาล FOS จากหัวหอมแขกปริมาณ 5 และ 10% (w/w) นอกจากนี้ยังมีหมุยสูตรมาตรฐานที่นำมาศึกษาาร่วมด้วย ผลการทดลองพบว่าหมุยทุกสูตรสามารถกระตุ้นการเจริญของเชื้อโปรไบโอติกทุกสายพันธุ์ที่นำมาศึกษาครั้งนี้ได้เป็นอย่างดีแต่การเจริญของ *Escherichia coli* และ *Salmonella enterica* subspecies *enterica* serovar Typhimurium ก็ถูกกระตุ้นด้วยเช่นกัน ($P<0.05$) แต่เมื่อทดสอบการกระตุ้นการเจริญของประชากรจุลินทรีย์ผสมจากทางเดินอาหารคนด้วยเทคนิค fecal slurry test ก็พบว่าหมุยพรีไบโอติกทุกสูตรสามารถส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติกโดยรวมได้ดี ส่งผลให้ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียกลุ่ม *Salmonella-Shigella* ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหมุยพรีไบโอติกที่เสริมด้วยน้ำตาล FOS จากพืชทั้งสองแหล่งนี้ มีศักยภาพที่จะพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันเพื่อผู้บริโภคต่อไปได้

คำสำคัญ: พรีไบโอติก หมุย อาหารฟังก์ชัน ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ หัวหอม ชิโครี

คำนำ

วิถีการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ทำให้มีภาวะเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะกลุ่มโรค NCDs (non-communicable diseases) หรือกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง ผู้บริโภคส่วนใหญ่จึงหันมานิยมรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารฟังก์ชัน (functional foods) หรือที่อาจเรียกว่าอาหารเชิงหน้าที่ ซึ่งอาหารที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นอาหารฟังก์ชันได้ ต้องเป็นอาหารที่มนุษย์บริโภคเข้าไปแล้วให้ประโยชน์หรือคุณสมบัติอื่น ๆ ต่อสุขภาพนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการพื้นฐาน และเป็นการช่วยลดอัตราเสี่ยงในการเกิดโรคด้วย (Sander, 1998) และอาหารฟังก์ชันที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากคือ กลุ่มสารพรีไบโอติก (prebiotics) ซึ่งถูกนำเสนอขึ้นครั้งแรกโดย Gibson and Roberfroid (1995) โดยให้นิยามว่าพรีไบโอติก คือ “ส่วนประกอบของอาหารที่ไม่สามารถถูกย่อยในทางเดิน

อาหาร แต่ก่อให้เกิดประโยชน์แก่เจ้าบ้าน (host) โดยการกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์บางกลุ่มในลำไส้อย่างเฉพาะเจาะจงแล้วยังช่วยส่งเสริมสุขภาพได้” และต่อมา Gibson *et al.* (2004) ก็ได้มีการปรับปรุงนิยามของคำว่าพรีไบโอติกเสียใหม่เป็น “สารอาหารที่สามารถถูกหมักได้อย่างเฉพาะเจาะจงที่ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่จำเพาะต่อทั้งจำนวนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร อันเป็นผลให้เจ้าบ้านมีสุขภาพที่ดีได้” ดังนั้นสารพรีไบโอติกที่ดีต้องไม่ถูกย่อยหรือดูดซึมในทางเดินอาหารของเจ้าบ้านแล้วไหลผ่านไปยังลำไส้เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางกลุ่มที่ก่อประโยชน์แก่ร่างกายได้และนอกจากนี้สารพรีไบโอติกยังต้องมีความคงตัวต่อสภาวะที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารอีกด้วย (Roberfroid, 2007; Wang, 2009)

น้ำตาลฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructooligosaccharide; FOS) เป็นน้ำตาลกลุ่มฟรุคแทน (fructan) สายสั้น ที่มีแคลอรีต่ำ (Aachary and Prapulla, 2009) สามารถผลิตได้ทั้งจากการสกัดจากแหล่งพืชชนิดที่มีการสะสมน้ำตาล FOS เช่น หัวหอม กระเทียม อาร์ติโชค

และชิโครี เป็นต้น และการสังเคราะห์โดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ (Yun, 1996) น้ำตาล FOS ได้รับการยอมรับว่าเป็นสารพรีไบโอติกที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากสามารถกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์บางชนิดในลำไส้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรีย bifidobacteria และ lactobacilli (มนัสนันท์ และคณะ, 2558; Wang and Gibson, 1993; Gibson *et al.*, 1995; Li *et al.*, 2015; Mueller *et al.*, 2016) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าน้ำตาล FOS ช่วยลดระดับน้ำตาลกลูโคสไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) และคอเลสเตอรอลทั้งหมด (total cholesterol) ในเลือดได้ด้วย (Kaur and Gupta, 2002; Bharti *et al.*, 2013)

ปัจจุบันในหลายประเทศได้มีผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดที่ใช้น้ำตาล FOS เป็นส่วนประกอบเพื่อเสริมสร้างประโยชน์ในเชิงสุขภาพให้กับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ รวมทั้งสร้างจุดเด่นและมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ด้วย ยกตัวอย่างเช่น น้ำผลไม้ (Renuka *et al.*, 2009) ช็อกโกแลต (Valencia *et al.*, 2016; Konar *et al.*, 2016) ขนมอบ (Morris and Morris, 2012; Ishwarya and Prabhasankar, 2013) และไส้กรอก (Cáceres *et al.*, 2004) เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาจากปริมาณของผลิตภัณฑ์อาหารของไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารพื้นบ้าน ก็พบว่ามีการวิจัยและพัฒนาเพิ่มมูลค่าให้เป็นอาหารฟังก์ชันกันน้อยมาก ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ หมयोที่ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากเนื้อสัตว์และได้รับความนิยมบริโภคอย่างแพร่หลายได้ถูกคัดเลือกนำมาใช้เป็นตัวอย่งการศึกษา โดยได้มีการเสริมน้ำตาล FOS จากพืชสองชนิดลงไป ได้แก่ หอมแขก (*Allium cepa* L.) และรากชิโครี (*Cichorium intybus* L.) จากนั้นทำการศึกษาคูสมบัติเชิงหน้าที่ในการเป็นสารพรีไบโอติกของผลิตภัณฑ์หมयोที่เสริมน้ำตาล FOS นี้

ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยในครั้งนี้ จึงได้เน้นการผลิตและศึกษาคูสมบัติพรีไบโอติกเบื้องต้นในระดับ *in vitro* ของผลิตภัณฑ์หมयोที่เสริมน้ำตาล FOS จากรากชิโครีและหอมแขก ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าผลจากการศึกษานี้ จะเป็นแนวทางที่มีประโยชน์อย่างมาก สำหรับการศึกษาเพื่อพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพจากอาหารพื้นบ้านของประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองและการเตรียมหัวเชื้อ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ได้แก่ แบคทีเรียโปรไบโอติกสามสายพันธุ์ (*Lactobacillus acidophilus* TISTR1338, *Lactobacillus lactis* TISTR1464 และ *Lactobacillus plantarum* TISTR541) แบคทีเรียก่อโรคหนึ่งสายพันธุ์ (*Salmonella enterica* subspecies *enterica* serovar Typhimurium TISTR292) และแบคทีเรียเจ้าบ้านหนึ่งสายพันธุ์ (*Escherichia coli* TISTR887) โดยแบคทีเรียโปรไบโอติกนั้นถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส บนอาหารแข็งสูตร de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) agar (Himedia®) ส่วน S. Typhimurium และ E. coli เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร nutrient agar (NA)

ในขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อนั้น ทำได้โดยถ่ายเชื้อที่เจริญบนอาหารแข็งไปยังอาหารเหลวแต่ละสูตรที่ปลอดเชื้อปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นแบบตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การเตรียมน้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

น้ำตาล FOS ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากสองแหล่ง ได้แก่ หัวหอมแขก และรากชิโครี โดย FOS จากรากชิโครีนั่น เป็นน้ำตาลทางการค้าชื่อ Frutafit® IQ ในขณะที่ FOS จากหัวหอมแขกนั้นได้จากการสกัดด้วยน้ำกลั่น และมีวิธีการดังนี้ นำหัวหอมแขกจำนวน 1 กิโลกรัม มาหั่นให้เป็นชิ้นขนาดเล็ก จากนั้นนำไปสกัดน้ำตาลด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ (HEALTHY SLOW JUICER รุ่น JT-2010) กรองสองครั้งด้วยผ้าขาวบางและกระดาษกรอง Whatman® เบอร์ 1 นำสารละลายน้ำตาลที่ได้มาทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (BUCHI® รุ่น R-205) และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ส่วนผง FOS จากรากชิโครีนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง

การวิเคราะห์น้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในตัวอย่าง

ตัวอย่าง FOS ทั้งสองถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ด้วยวิธี phenol-sulfuric acid และ DNS method ตามลำดับ (Wongputtisint *et al.*, 2014) จากนั้นคำนวณจำนวนหน่วยเฉลี่ยของน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ในรูปของค่า Degree of Polymerization (DP) ด้วยสูตรดังนี้

$$DP = \frac{\text{Total sugar (mg/ml)}}{\text{Reducing sugar (mg/ml)}}$$

นอกจากนี้ ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณน้ำตาล FOS แต่ละชนิดโดยเทคนิค thin layer chromatography (TLC) และ high performance liquid chromatography (HPLC) โดยใช้น้ำตาลมาตรฐานจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส (Sigma-Aldrich®) ฟรุกโตส (Merck) ซูโครส (Sigma-Aldrich®) คีโตส (GF₂) (Sigma-Aldrich®) และนิสโตส (GF₃) (Sigma-Aldrich®) ความบริสุทธิ์ระดับ HPLC grade การวิเคราะห์น้ำตาลด้วยเทคนิค TLC นั้นใช้สารละลายบิวทานอล: เอทานอล: น้ำ ในอัตราส่วน 5 : 3 : 2 เป็น mobile phase และแผ่นอลูมิเนียมที่เคลือบด้วยซิลิกาเจล (Merck รุ่น 60 F254) เป็น stationary phase จากนั้นทำให้แถบน้ำตาลปรากฏขึ้นด้วยการจุ่มในสารละลายกรดซัลฟริกความเข้มข้น 5% (v/v) ที่เตรียมในเมทานอล และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสจนกระทั่งปรากฏแถบน้ำตาล ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC นั้น ทำการปั่นเหวี่ยงตัวอย่างน้ำตาลที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที แล้วกรองผ่าน nylon membrane (Whatman®, maidstone, England) ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ 5 µm Aminex HPX-87H (HPLC organic acid analysis column) 300x7.8 mm ใช้กรดซัลฟริกความเข้มข้น 5 mM ที่เตรียมในน้ำปราศจากไอออนเป็น mobile phase ด้วยอัตราการไหล 0.75 มิลลิลิตรต่อนาที โดยควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ที่ 40 องศาเซลเซียส อุปกรณ์ตรวจวัด (detector) ที่ใช้คือ refractive index detector (RID-10A)

การศึกษาผลของความร้อนที่มีต่อน้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

นำตัวอย่างน้ำตาล FOS ทั้งสองแหล่งมาผ่านความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 10, 20 และ 30 นาที แล้ววิเคราะห์ชนิดและองค์ประกอบของน้ำตาลในตัวอย่างด้วยวิธี TLC และปริมาณน้ำตาล FOS แต่ละชนิดด้วยเครื่อง HPLC

การผลิตหมอยอเสริมน้ำตาลฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

ทำการผลิตหมอยอจำนวน 5 สูตร ได้แก่ สูตรมาตรฐาน สูตรเติม FOS จากหอมแขก 5% (w/w) และ 10% (w/w) และ FOS จากซีโครี 5% (w/w) และ 10% (w/w) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 ปั่นส่วนผสมให้ละเอียดและเข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร (Philips blender 600 W, 2 L, HR2118) บรรจุในถุงพลาสติก polypropylene หนึ่งให้สูงที่อุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอศึกษาในขั้นตอนต่อไป

การทดสอบคุณสมบัติฟิโอบิติกของหมอยอเสริมฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

นำตัวอย่างหมอยอในแต่ละสูตรมาบดด้วยเครื่องบด (Philips blender 600 W, 2 L, HR2118) เป็นเวลาประมาณ 2 นาที ก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติการกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์ในลำไส้ การทดลองแรกได้ทำการทดสอบเพาะเลี้ยงแบบเชื้อเดี่ยว (single culture test) ด้วยวิธีการที่อ้างอิงจาก Wongputtisint *et al.* (2015) และ Wongputtisint and Khanongnuch (2015) โดยการเพาะเลี้ยงแยกแบคทีเรีย *L. acidophilus* TISTR1338, *L. lactis* TISTR1464, *L. plantarum* TISTR541, *S. Typhimurium* TISTR292 และ *E. coli* TISTR887 ลงในอาหารเหลวสูตร basal medium (กรัม/ลิตร: MgSO₄ 0.2 กรัม KH₂PO₄ 1.0 กรัม K₂HPO₄ 1.0 กรัม CaCl₂ 0.02 กรัม และ FeCl₂ 0.05 กรัม และปรับค่า pH เป็น 7.0) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่มีการเสริมหมอยอลงไปในปริมาณ 5 กรัม จากนั้นถ่ายหัวเชื้อแต่ละชนิดปริมาณ 10⁷-10⁸ CFU ลงไปในอาหารแต่ละสูตร เพาะเลี้ยงโดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ

Table 1. Ingredients of five different Thai white pork sausage (Moo-yor) formulas produced in this study

Ingredients	Composition (g) in formula				
	Standard	5% chicory	10% chicory	5% onion	10% onion
Pork	1000	1000	1000	1000	1000
Salt	12	12	12	12	12
Lard	400	400	400	400	400
Crushed ice	400	400	400	-	-
Pepper	15	15	15	15	15
Granulated sugar	20	20	20	20	20
Garlic	30	30	30	30	30
Phosphate	6	6	6	6	6
Wheat flour	40	40	40	40	40
Frutafit® IQ	-	102	214	-	-
Onion extract (freeze and crushed)	-	-	-	400*	400**

* total sugar content was equal to 96 gram

** total sugar content was equal to 192 gram

37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างอาหารเลี้ยงเชื้อในชั่วโมงที่ 0 และ 24 เพื่อบันทึกจำนวนเชื้อแบคทีเรียด้วยเทคนิค total plate count ทำการนับจำนวนแบคทีเรีย *Lactobacillus*, *E. coli* และ *S. Typhimurium* บนอาหารแข็งสูตร MRS สูตร EMB (eosin methylene blue agar) และสูตร SS (*Salmonella-Shigella*) agar ตามลำดับ

ส่วนการทดลองที่สอง ได้ทำการทดสอบการกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียในลำไส้ด้วยเทคนิค fecal slurry test (Wang and Gibson, 1993) โดยผสมอุจจาระของทารกที่มีสุขภาพแข็งแรงปริมาณ 3.5 กรัม ลงในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 M pH 7.0 ปริมาตร 200 มิลลิลิตรจากนั้นเติมตัวอย่างหมูยอในแต่ละสูตรในปริมาณ 10 กรัม บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างที่เวลา 0 และ 12 ชั่วโมง เพื่อบันทึกจำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกโดยรวม *E. coli* และกลุ่ม *Salmonella-Shigella* โดยแบคทีเรียแลกติกได้ทำการนับบนอาหาร MRS agar ส่วนแบคทีเรีย *E. Coli* และแบคทีเรียกลุ่ม *Salmonella-Shigella* จะทำการนับบนอาหาร EMB agar และ SS agar ตามลำดับ

การประมวลผลทางสถิติ

ทำการทดลองสามซ้ำ จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ STATISTIX®

ผลการทดลอง

ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ในผงชิโครีทางการค้าและหัวหอมแขกแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่าผงน้ำตาล FOS ทางการค้าจากชิโครีที่นำมาศึกษาครั้งนี้มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบเพียงประมาณ 41% (w/w) ส่วนหัวหอมแขกมีน้ำตาลที่ละลายได้ (soluble sugar) เป็นองค์ประกอบประมาณ 2.9% (w/w fresh bulb) อย่างไรก็ตามน้ำตาลจากทั้งสองแหล่งนี้มีขนาดโมเลกุลเฉลี่ยที่แสดงโดยค่า DP เท่ากับ 12.55 และ 6.95 ตามลำดับ ซึ่งอาจจัดได้ว่าเป็นน้ำตาลกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์

องค์ประกอบน้ำตาลและผลของความร้อนที่มีต่อองค์ประกอบน้ำตาลในตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำตาลในตัวอย่างทั้งสองชนิดด้วยเทคนิค TLC ผลการทดลองพบว่า น้ำตาลแต่ละแหล่งประกอบไปด้วยน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส คีโตส นีสโตส และน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ อีกหลายชนิดที่ยังไม่สามารถระบุชนิดได้ ซึ่งมีขนาดโมเลกุลแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังคาดว่าน่าจะมีโพลีแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างผงชีโครี่ด้วย เนื่องจากปรากฏแถบน้ำตาลที่จุดเริ่มต้น ดังแสดงในภาพที่ 1a และ b (lane 2) จากภาพที่ 1 นี้ ยังแสดงให้เห็นอีกว่า การให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาต่าง ๆ กันซึ่งเป็นสภาวะที่ใช้ในการผลิตหมูยอนั้น แทบจะไม่ส่งผลต่อน้ำตาลฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (ภาพที่ 1a และ b (lane 3-5)) ทั้งนี้ได้มีการยืนยันผลการวิจัยโดยการวิเคราะห์

น้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC ผลการทดลองได้แสดงดังตารางที่ 3 ผลการทดลองพบว่าภายหลังการให้ความร้อนแก่น้ำตาลที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปริมาณน้ำตาลบางชนิดได้มีการเปลี่ยนแปลงแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การทดสอบคุณสมบัติพรีไบโอติกของหมูยอเสริมฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์

หลังจากเพาะเลี้ยงแบคทีเรียแต่ละชนิดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อสูตร basal medium ที่มีการผสมหมูยอบดแต่ละสูตรแล้วเปรียบเทียบจำนวนเชื้อที่มีชีวิตระหว่างชั่วโมงที่ 0 และ 24 ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 2 โดยพบว่าหมูยอทุกสูตรสามารถกระตุ้นการเจริญของทุกเชื้อได้ดี โดยเฉพาะ *L. acidophilus*, *L. plantarum* และ *L. lactis* ซึ่งจัดเป็นแบคทีเรียโปรไบโอติกเมื่อเปรียบเทียบ

Table 2. Total sugar, reducing sugar and degree of polymerization (DP) of *Cichorium intybus* L. and *Allium cepa* L. sugar extract

Samples	Content $\pm$ SD		
	Total sugar	Reducing sugar	DP
Chicory (<i>Cichorium intybus</i> L.)	0.41 $\pm$ 0.03 *	0.03 $\pm$ 0.01 *	12.55
Onion (<i>Allium cepa</i> L.)	29.59 $\pm$ 1.00 **	4.26 $\pm$ 0.24 **	6.95

* g/g powder

** g/kg fresh bulb

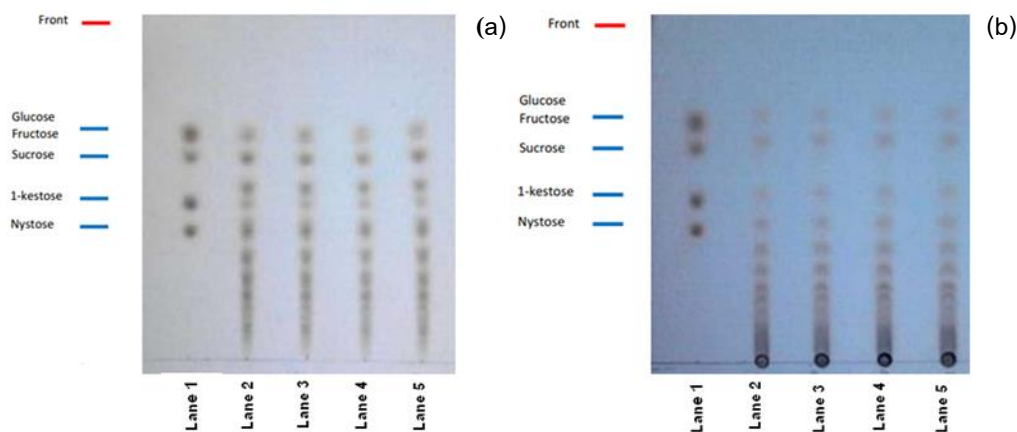


Figure 1. TLC analysis of soluble sugars containing in *Allium cepa* L. (a) and *Cichorium intybus* L. (b)
 Note: Lane 1 = standard sugars, Lane 2 = fresh samples, Lane 3 = heated for 10 min, Lane 4 = heated for 20 min and Lane 5 = heated for 30 min
 G = glucose, F = fructose, S = sucrose, K = 1-kestose and N = nystose

Table 3. Comparison of FOS content of *Allium cepa* L. and *Cichorium intybus* L. after heat treatment at 80 °C for 30 min

Sample	Treatment	Content $\pm$ SD				
		Fructose	Glucose	Sucrose	1-kestose	Nystose
Chicory *	no heat	19.80 $\pm$ 0.14	3.00 $\pm$ 0.02	31.6 $\pm$ 0.10	8.00 $\pm$ 0.08	114.4 $\pm$ 1.51
	30 min heated	21.20 $\pm$ 0.00	3.80 $\pm$ 0.00	32.4 $\pm$ 0.13	1.80 $\pm$ 0.71	117.0 $\pm$ 2.36
Onion **	no heat	10.44 $\pm$ 0.15	11.20 $\pm$ 0.13	17.58 $\pm$ 1.76	19.31 $\pm$ 0.00	117.0 $\pm$ 0.83
	30 min heated	10.31 $\pm$ 0.45	11.12 $\pm$ 0.13	20.44 $\pm$ 0.30	20.70 $\pm$ 0.00	124.0 $\pm$ 1.70

* The contents were presented as mg/g powder

** The contents were presented as g/kg fresh bulb

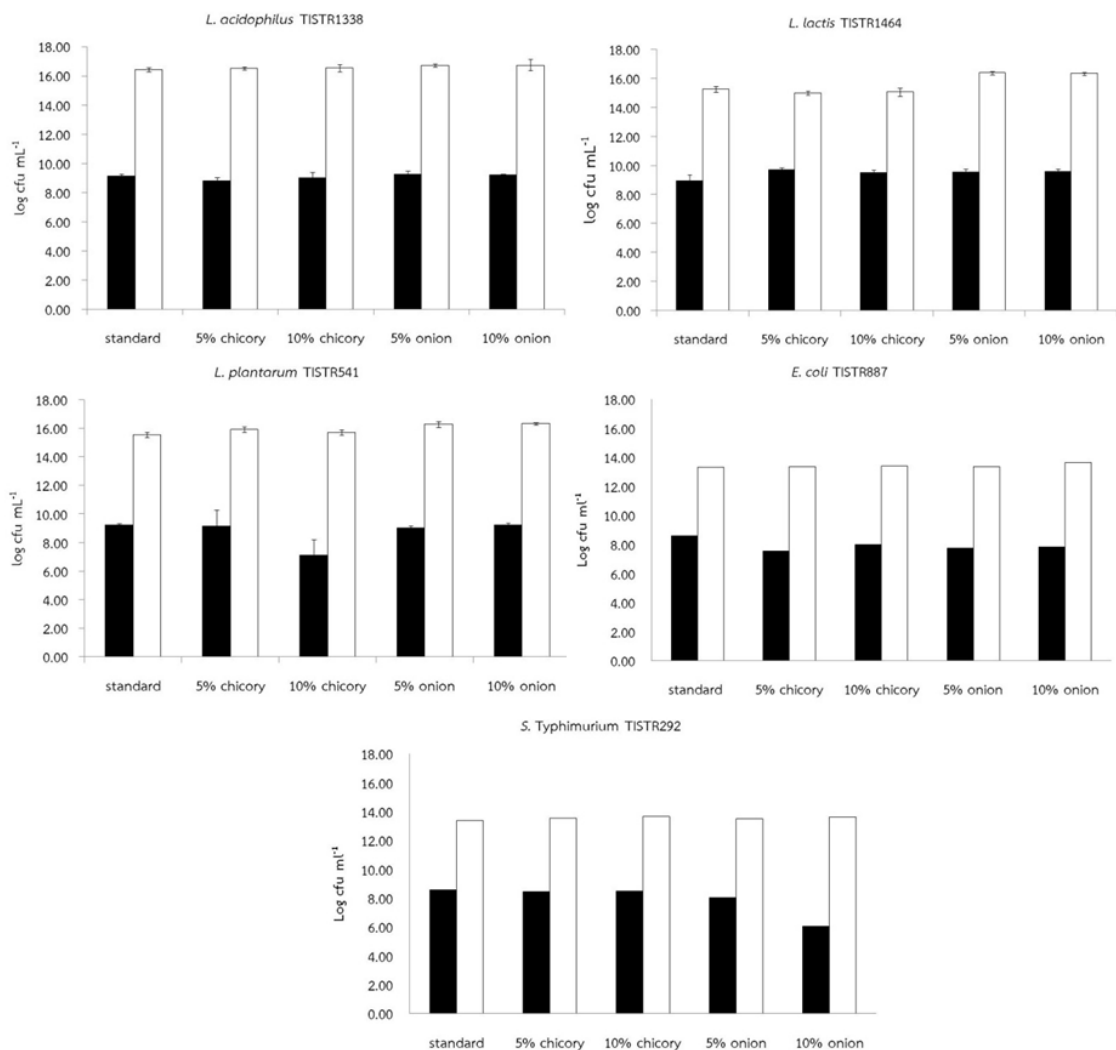


Figure 2. Growth of individual tested bacteria in basal medium supplemented with different Thai white pork sausage (Moo-yor) (s), viable cell count at 0 h (■) and 24 h (□)

กับเชื้อ *E. coli* และ *S. Typhimurium* ที่มีอัตราการเจริญที่ต่ำกว่าปริมาณน้ำตาลจากพืชแต่ละแหล่งที่เพิ่มขึ้นในสูตรหมयो ก็พบว่าไม่แตกต่างในการกระตุ้นการเจริญของเชื้อ

นอกจากนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารจำนวนสามกลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรียกรดแลคติก เชื้อ *E. coli* และกลุ่ม *Salmonella-Shigella* ในระดับ *in vitro* เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีการเสริมหมयोแต่ละสูตรลงไป ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งพบว่าหมयोทุกสูตรรวมทั้งสูตรไม่เสริมน้ำตาล

จากแหล่งพืชสามารถกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติกและ *E. coli* ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในขณะที่เชื้อกลุ่ม *Salmonella-Shigella* นั้นเพิ่มจำนวนขึ้นเล็กน้อยในชุดทดลองที่เสริมหมयोสูตรไม่มีน้ำตาลจากแหล่งพืช และผลการทดลองที่น่าสนใจเป็นอย่างมากคือ ไม่พบการเจริญที่เพิ่มขึ้นของเชื้อกลุ่ม *Salmonella-Shigella* ในชุดทดลองที่เสริมหมयोสูตรที่มีน้ำตาลจากแหล่งพืชทุกสูตร

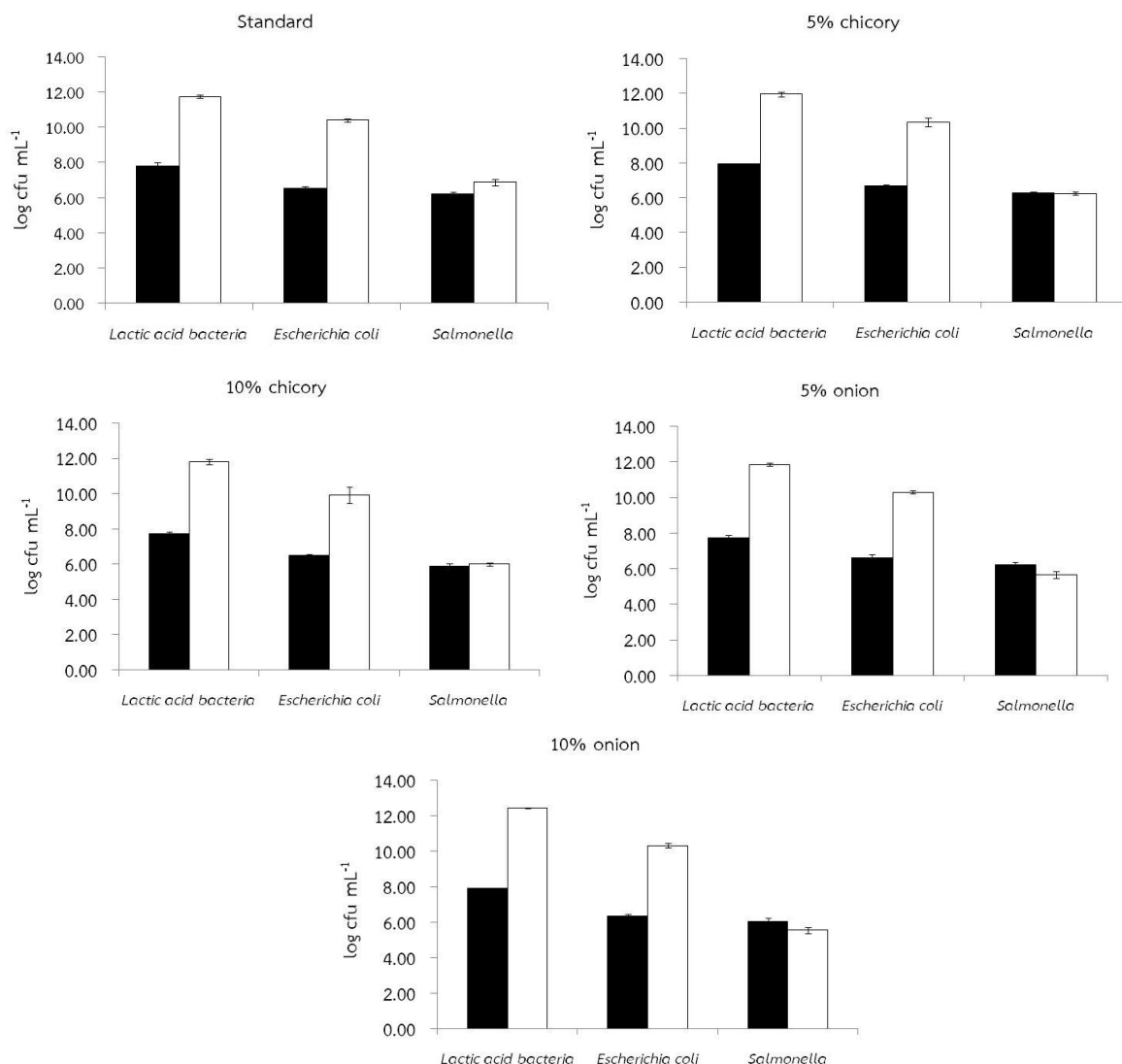


Figure 3. Growth of total lactic acid bacteria (LAB), *E. coli* and *Salmonella-Shigella* group in human gastrointestinal tract mixed cultures by fecal slurry test, viable cell count at 0 h (■) and 12 h (□)

วิจารณ์

หมุยอเป็นผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของไทย ได้รับความนิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง ดังนั้นการพัฒนาหมุยอให้เป็นอาหารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (functional property) จึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการยกระดับคุณภาพของอาหารพื้นบ้านไทย น้ำตาล FOS ที่นำมาเสริมในหมุยอครั้งนี้ มาจากรากชิโครีและหัวหอมแขกซึ่งจัดว่าเป็นพืชที่มีการสะสมน้ำตาล FOS ในปริมาณมาก โดยน้ำตาล FOS ที่ผลิตวางขายในท้องตลาด ส่วนใหญ่ก็ผลิตได้มารากรากชิโครีแทบทั้งสิ้น Yun *et al.* (2000) รายงานว่ารากชิโครีมีน้ำตาลกลุ่มฟรุกแทนสะสมอยู่ในรูปของอินนูลินสูงถึง 68% และโอลิโกแซคคาไรด์ 28.5% ส่วน Roberfroid *et al.* (1997) ได้รายงานว่าน้ำตาลที่สกัดจากรากชิโครีมีขนาดโมเลกุลที่อยู่ในรูปของค่า DP ในช่วงประมาณ 2 ถึงมากกว่า 60 ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยครั้งนี้ที่พบว่าผง Frutafit® IQ มีค่า DP เฉลี่ยประมาณ 12.55 อย่างไรก็ตามฟรุกแทนที่สกัดได้จากชิโครีนี้ต้องผ่านกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์ endoinulinase (EC 3.2.1.7) ให้มี DP อยู่ในช่วง 2-10 ก่อนนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Roberfroid, 2000) ในส่วนหัวหอมนั้น นับได้ว่าเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่เป็นแหล่งของน้ำตาล FOS เช่นกัน (Galdón *et al.*, 2009) ถึงแม้ไม่ได้มีการสกัดน้ำตาล FOS เพื่อการค้าดังเช่นรากชิโครีก็ตาม ซึ่ง Jaime *et al.* (2001) ได้ศึกษาปริมาณฟรุกแทนและ FOS ในหัวหอม 5 สายพันธุ์ (*Allium cepa* L. cv. Sturon, Hysam, Durco, Grano de Oro และ Caribo) พบว่าปริมาณน้ำตาล FOS รวม ($GF_2 + GF_3 + GF_4$) อยู่ในช่วงระหว่าง 23-140 กรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตาม ทีมผู้วิจัยยังพบว่าหัวหอมที่ถูกเก็บไว้เป็นเวลานานจะมีปริมาณของ FOS ที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งอาจมีปริมาณที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นขึ้นกับสายพันธุ์ ดังนั้นการเตรียมน้ำตาล FOS จากหัวหอมแขกเพื่อใช้ผลิตหมุยอนั้นอาจต้องคำนึงถึงสภาวะและอายุการเก็บรักษาหัวหอมด้วย น้ำตาลจากหอมแขกที่สกัดได้ครั้งนี้มีค่า DP เท่ากับ 6.95 ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Wongputtisarn (2003) ที่รายงานว่าน้ำตาลสกัดจากหอมแขกมีค่า DP เฉลี่ยประมาณ 9 และน้ำตาลที่สกัดได้นี้

สามารถกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียโอบิโอดิกได้เป็นอย่างดี รวมถึงสามารถส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติกในทางเดินอาหารของหนูทดลองสายพันธุ์ Wistar rat ได้เช่นกัน ความยาวและลักษณะของสายโซ่โพลีเมอร์น้ำตาลก็มีผลต่อการกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียโอบิโอดิก โดยน้ำตาล FOS สายสั้นสามารถกระตุ้นการเจริญได้ดีกว่าอินนูลินและน้ำตาล FOS ที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้าน (Gibson and Wang, 1994; Biedrzycka and Bielecka, 2004)

คุณสมบัติของสารฟิโอบิติกที่ดีและเหมาะต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ควรต้องมีความคงตัวต่อกระบวนการผลิตและแปรรูปด้วย (Wang, 2009) ซึ่งกระบวนการผลิตหมุยอนั้นต้องมีการนึ่งด้วยความร้อนเป็นเวลาประมาณ 30 นาที แต่จากผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าความร้อนที่สภาวะของการผลิตหมุยอนั้นมีผลต่อปริมาณน้ำตาล FOS ในตัวอย่างทั้งสองเพียงเล็กน้อย ($P>0.05$) ยกเว้นน้ำตาลคีสโตสในน้ำตาลจากหอมแขกซึ่งลดลงค่อนข้างมาก ทั้งนี้ ความร้อนที่สูงและค่า pH ที่ต่ำส่งผลกระตุ้นให้พันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวแต่ละหน่วยเกิดการสลาย (Courtin *et al.*, 2009) โดย Antosova *et al.* (1999) ได้ระบุว่าความร้อนของคอลัมน์ในการวิเคราะห์น้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC ก็สามารถส่งผลให้น้ำตาลสลายตัวได้เช่นกัน แม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิของคอลัมน์จะทำให้ความหนืดของ mobile phase ลดลง สัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้นและการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยก (resolution) ของน้ำตาลดีขึ้น จึงได้แนะนำให้ใช้อุณหภูมิในช่วง 40-60 องศาเซลเซียสในการวิเคราะห์น้ำตาล FOS อย่างไรก็ตาม แม้การสลายของพันธะไกลโคซิดิกของน้ำตาล FOS จะทำให้ปริมาณน้ำตาลบางชนิด (GF_{2-4}) ลดลง แต่การสลายตัวของน้ำตาลฟรุกแทนที่โมเลกุลใหญ่กว่า ก็อาจทำให้ได้ผลผลิตเป็นน้ำตาล FOS สายสั้นด้วย (Jaime *et al.*, 2001) ดังนั้นกระบวนการแปรรูปอาหารที่มีความร้อนมาเกี่ยวข้อง จำเป็นต้องให้ความสำคัญในการคงอยู่ของสารสำคัญในวัตถุดิบด้วย

โดยปกติแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. Typhimurium* ไม่สามารถใช้ประโยชน์น้ำตาลกลุ่ม FOS เพื่อการ

เจริญเติบโตได้ (Naughton *et al.*, 2001) แต่จากการทดสอบคุณสมบัติฟรีไบโอติกของหมุยอในรูปแบบ single culture test ในระดับ *in vitro* กลับพบว่าทุกสูตรล้วนกระตุ้นการเจริญของทั้งโปรไบโอติก *E. coli* และ *S. Typhimurium* ได้ ทั้งนี้คาดว่า การเจริญของ *E. coli* และ *S. Typhimurium* น่าจะมาจากการใช้น้ำตาลซูโครสที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในสูตรหมุยอทุกสูตรมากกว่า รวมถึงการใช้ประโยชน์จากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (กลูโคสและฟรุคโตส) ที่พบปนอยู่ในตัวอย่างน้ำตาล FOS ที่เตรียมขึ้น ซึ่งเชื้อทั้งสองนี้มีถิ่นที่่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึมน้ำตาลเหล่านี้ (Cohen and Roth, 1953; Ferenci and Komberg 1973; Schmid *et al.*, 1982; Geerse *et al.*, 1989) ในทำนองเดียวกัน การเจริญของโปรไบโอติกทั้งสามสายพันธุ์ในชุดทดลองที่เติมหมุยอสูตรมาตรฐานก็น่าจะเกิดจากน้ำตาลซูโครส แต่อย่างไรก็ตามชุดทดลองที่เติมหมุยอเสริมน้ำตาล FOS ทุกสูตรสามารถกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียโปรไบโอติกได้ในอัตราที่สูงกว่าหมุยอสูตรมาตรฐาน ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากน้ำตาล FOS ที่เสริมลงไป

ประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของมนุษย์มีความหลากหลายเป็นอย่างมาก ทั้งในแง่ของสายพันธุ์และสัดส่วน ดังนั้นในการศึกษาผลของหมุยอฟรีไบโอติกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารจึงศึกษาโดยใช้เทคนิค fecal slurry test ซึ่งครั้งนี้ได้นำอุจจาระทารกมาใช้เป็นแหล่งของหัวเชื้อจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารมนุษย์ ผลการทดลองเป็นที่น่าสนใจมากคือพบการเจริญเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียกรดแลคติกโดยรวมในทุกชุดการทดลองแต่ไม่พบการเจริญเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียกลุ่ม *Salmonella-Shigella* ในชุดทดลองที่เติมหมุยอฟรีไบโอติกโดยเฉพาะอย่างยิ่งชุดทดลองที่เติมหมุยอเสริมน้ำตาล FOS จากหัวหอมแขกทั้งสองสูตรโดย Wang and Gibson (1993) ก็ได้รายงานเช่นกันว่าน้ำตาล FOS และอินนูลินที่เสริมใน fecal slurry สามารถเพิ่มจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม bifidobacteria และ lactobacilli ได้ ในขณะที่จำนวนประชากร *Clostridium* sp. และ *E. coli* ไม่เปลี่ยนแปลง กลไกในการยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคโดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียกลุ่ม *Salmonella-Shigella* สามารถเกิดได้จากปัจจัยร่วมหลายข้อทั้งจาก

กรดอินทรีย์กลุ่ม short chain fatty acid (SCFAs) ได้แก่ acetic acid, propionic acid และ butyric acid และสารกลุ่ม bacteriocins เช่น lactacin B, lactacin F, acidocin CH5 nisin และ lactocin S ที่แบคทีเรียกรดแลคติกผลิตขึ้น (อัจจรา, 2559; Barefoot and Klaenhammer, 1983; Wang and Gibson, 1993; Parada *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตาม มีรายงานบางฉบับที่ระบุถึงสารพิษเคมีกลุ่ม thiosulfates เช่น allicin ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น *E. coli* O157, *Staphylococcus aureus* และรวมถึง *Salmonella* sp. ด้วย (Kyung, 2012; Abdel-Salam *et al.*, 2014) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการยับยั้งการเจริญของกลุ่มเชื้อก่อโรคที่ทดสอบครั้งนี้ แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาเบื้องต้นด้วยการเพาะเลี้ยง *S. Typhimurium* และ *E. coli* ในอาหารเหลว basal medium ที่เสริมด้วยสารสกัดจากหัวหอมแขกลงไปก็ไม่พบการลดลงของแบคทีเรียทั้งสองชนิด (ผลการทดลองไม่ได้เผยแพร่) ดังนั้นมีความเป็นไปได้ว่า การลดลงของประชากรกลุ่ม *Salmonella-Shigella* ครั้งนี้ น่าจะมาจากปัจจัยอื่นดังที่กล่าวไว้

ในการผลิตหมุยอฟรีไบโอติกเพื่อการบริโภคนั้นปริมาณน้ำตาล FOS ที่เสริมลงไปในการอาหารต้องมีปริมาณที่เพียงพอต่อการกระตุ้นให้เกิดผลดีต่อสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ หรือที่เรียกกันว่า prebiotic effect หรือ bifidogenic effect โดยจากการศึกษาของ Bouhnik *et al.* (1998) พบว่าการให้อาสาสมัครบริโภคน้ำตาล FOS ปริมาณ 10-20 กรัมต่อวันแล้ว จะช่วยให้ประชากร bifidobacteria ในทางเดินอาหารเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างชัดเจน แต่ถ้าให้ในปริมาณเพียง 5 กรัมต่อวันแล้ว มีเพียง 75% ของอาสาสมัครที่มีการเพิ่มขึ้นของประชากร bifidobacteria ดังนั้นหากบริโภคหมุยอฟรีไบโอติกจากงานวิจัยนี้ในปริมาณ 100 กรัม ก็จะได้รับน้ำตาล FOS สูงสุดไม่เกิน 10 กรัม ซึ่งก็ใกล้เคียงกับระดับที่ทีมวิจัยรายงาน อย่างไรก็ตาม ในแต่ละวันผู้บริโภคก็อาจได้รับน้ำตาล FOS จากอาหารปกติที่รับประทานในแต่ละวันอยู่แล้ว เช่นผักและผลไม้ต่าง ๆ ก็จะช่วยเสริมให้ได้รับน้ำตาล FOS ในปริมาณที่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด bifidogenic effect ได้ โดยข้อมูลจาก Roberfroid (2000) ได้รายงานว่าการบริโภคชาวอเมริกันและยุโรปจะได้รับน้ำตาล FOS

จากอาหารทั่วไปในชีวิตประจำวันในปริมาณ 1-4 กรัมต่อวัน และ 3-11 กรัมต่อวัน ตามลำดับ แต่ข้อมูลลักษณะดังกล่าวนี้ยังไม่มีรายงานในกลุ่มผู้บริโภคคนไทย อย่างไรก็ตาม สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนเกี่ยวกับการบริโภคหมยอพรีไบโอติกคือ เป็นการยากที่จะรับประทานหมยอพรีไบโอติกทุกวันเพื่อหวังผล bifidogenic effect แก่ร่างกาย แต่ประโยชน์อย่างหนึ่งที่น่าจะได้จากงานวิจัยขึ้นนี้คือการเพิ่มมูลค่าและคุณค่าทางโภชนาการให้กับสินค้าผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านของไทย และเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคในยุคปัจจุบันได้

สรุป

ผลจากการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าน้ำตาล FOS จากทั้งรากชิโครีและหัวหอมแขกสามารถใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หมยอพรีไบโอติกได้ โดยน้ำตาลดังกล่าวได้รับผลกระทบจากความร้อนในกระบวนการผลิตหมยอเพียงเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์หมยอพรีไบโอติกที่ผลิตขึ้นทุกสูตรในครั้งนี้พบว่ามีความสามารถในการกระตุ้นการเจริญของเชื้อโปรไบโอติกทุกสายพันธุ์ที่นำมาทดสอบได้ดี แต่การเจริญของ *E. coli* และ *S. Typhimurium* ก็ถูกกระตุ้นด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบในกลุ่มประชากรจุลินทรีย์ผสมจากทางเดินอาหารคน ก็พบว่าหมยอพรีไบโอติกส่งเสริมให้แบคทีเรียกรดแลกติกเจริญมากขึ้น ส่งผลให้สามารถช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียกลุ่ม *Salmonella-Shigella* ได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์หมยอพรีไบโอติกที่เสริมน้ำตาล FOS จากรากชิโครีและหัวหอมแขกมีศักยภาพเป็นอย่างมากในการพัฒนาให้อาหารฟังก์ชันสำหรับผู้บริโภคต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และสถานที่ในการปฏิบัติงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี วรางคณา กิจพิพิธ ขวลิต ผึ้งปฐมภรณ์ ศราวุธ ม่วงเผือก เอกกมล กมลลาภวรกุล นาฎยา แบ่งลาม และ เสาวภา เขียนงาม. 2558. ผลของการเสริมซินไบโอติกส์ ต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ. วารสารเกษตร 31(3): 349-366.
- อัจฉรา นิยมเดชา. 2559. การใช้กรดอินทรีย์ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มก่อโรค (ซัลโมเนลล่า) ในทางเดินอาหารของสัตว์ปีก. วารสารเกษตร 32(1): 139-149.
- Aachary, A.A. and S.G. Prapulla. 2009. Value addition to spent osmotic sugar solution (SOS) by enzymatic conversion to fructooligosaccharides (FOS), a low calorie prebiotic. Innovative Food Science and Emerging Technologies 10: 284-288.
- Abdel-Salam, A.F., M.E. Shahenda and B.A. Jehan. 2014. Antimicrobial and antioxidant activities of red onion, garlic and leek in sausage. African Journal of Microbiology Research 8: 2574-2582.
- Antosava, M., M. Polakovic and V. Bales. 1999. Separation of fructooligosaccharides on cation-exchange HPLC column in silver form with refractometric detection. Biotechnology Techniques 13: 889-892.
- Barefoot, S.F. and T.R. Klaenhammer. 1983. Detection and activity of lactacin B, a bacteriocin produced by *Lactobacillus acidophilus*. Applied and Environmental Microbiology 45: 1808-1815.
- Bharti, S.K., S. Krishnan, A. Kumar, K.K. Rajak, K. Murari, B.K. Bharti and A.K. Gupta. 2013. Antidiabetic activity and molecular docking of fructooligosaccharides produced by *Aureobasidium pullulans* in poloxamer-407-

- p>induced T2DM rats. Food Chemistry 136: 813-821.
- Biedrzycka, E. and M. Bielecka. 2004. Prebiotic effectiveness of fructans of different degree of polymerization. Trends in Food Science and Technology 15: 170-175.
- Bouhnik, Y., K. Vahedi, L. Achour, A. Attar, J. Salfati, P. Pochart, P. Marteau, B. Flourié, F. Borner and J.C. Rambaud. 1999. Short-chain Fructo-oligosaccharide administration dose dependently increases fecal bifidobacteria in healthy humans. Journal of Nutrition 129: 113-116.
- Caceres, E., M.L. Garcia, J. Toro and M.D. Selgas. 2004. The effect of fructooligosaccharides on the sensory characteristics of cooked sausages. Meat Science 68: 87-96.
- Cohen, S.S. and L. Roth. 1953. The phosphogluconate pathway of carbohydratemetabolism in the multiplication of bacterial viruses. Journal of Bacteriology 65: 490-495.
- Courtin, C.M., K. Swennen, P. Verjans and J.A. Delcour. 2009. Heat and pH stability of prebiotic arabinoxyloligosaccharide, xylooligosaccharides and fructooligosaccharides. Food Chemistry 112: 831-837.
- Ferenci, T. and H.L. Kornberg. 1973. The utilization of fructose by *Escherichia coli*. Journal of Biochemistry 132: 341-347.
- Galdon, B.R., C.T. Rodeiguez, E.M.R. Rodeiguez and C.D. Romero. 2009. Fructans and major compounds in onion cultivars (*Allium cepa*). Journal of Food Composition and Analysis 22: 25-32.
- Geerse, R.H., F. Izzo and P.W. Postma. 1989. The PEP: fructose phosphotransferase system in *Salmonella typhimurium*: FPr combines enzyme III^{Fru} and pseudo-HPr activities. Molecular Genetics and Genomics 216: 517-525.
- Gibson, G.R. and M.B. Roberfroid. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. The Journal of Nutrition 125: 1401-1412.
- Gibson, G.R. and X. Wang. 1994. Bifidogenic properties of different types of fructo-oligosaccharides. Food Microbiology 11(6): 491-498.
- Gibson, G.R., E.R. Beatty, X. Wang and J.H. Cummings. 1995. Selective stimulation of Bifidobacteria in the human colon by oligofructose and inulin. Gastroenterology 108: 975-982.
- Gibson, G.R., H.M. Probert, J.V. Loo, R.A. Rastall and M.B. Roberfroid. 2004. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. Nutrition Research Reviews 17: 259-275.
- Ishwarya, S.P. and P. Prabhasankar. 2013. Fructooligosaccharide-retention during baking and its influence on biscuit quality. Food Bioscience 4: 68-80.
- Jaime, L., M.A. Martín-Cabrejas, E. Mollá, F.J. López-Andréu and R.M. Esteban. 2001. Effect of storage on fructan and fructooligosaccharide of onion (*Allium cepa* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry 49: 982-988.
- Kaur, N. and A. Gupta. 2002. Applications of inulin oligosaccharide in health and nutrition. Journal of Biosciences 27: 703-714.

- Konar, N., O.S. Toker, S. Oba and O. Sagdic. 2016. Improving functionality of chocolate: A review on probiotic, prebiotic, and/or synbiotic characteristics. Trends in Food Science & Technology 49: 35-44.
- Kyung, K.H. 2012. Antimicrobial properties of allium species. Current Opinion in Biotechnology 23: 142-147.
- Li, W., K. Wang, Y. Sun, H. Ye, B. Hu and X. Zeng. 2015. Influences of structures of galactooligosaccharides and fructooligosaccharides on the fermentation *in vitro* by human intestinal microbiota. Journal of Functional Foods 13: 158-168.
- Morris, C. and G.A. Morris. 2012. The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: A review. Food Chemistry 133: 237-248.
- Mueller, M., J. Reiner, L. Fleischhacker, H. Viernstein, R. Loppert and W. Praznik. 2016. Growth of selected probiotic strains with fructans from different sources relating to degree of polymerization and structure. Journal of Functional Foods 24: 264-275.
- Naughton, P.J., J.J. Mikkelsen and B.B. Jensen. 2001. Effects of nondigestible oligosaccharides on *Salmonella enterica* serovar Typhimurium and nonpathogenic *Escherichia coli* in the pig small intestine *in vitro*. Applied and Environmental Microbiology 67(8): 3391-3395.
- Parada, J.L., C.R. Caron, A.B.P. Medeiros and C.R. Socol. 2007. Bacteriocins from lactic acid bacteria: purification, properties and use as biopreservatives. Brazilian Archives of Biology and Technology 50: 521-542.
- Renuka, B., S.G. Kulkarni, P. Vijayanand and S.G. Prapulla. 2009. Fructooligosaccharide fortification of selected fruit juice beverages: Effect on the quality characteristics. LWT - Food Science and Technology 42:1031-1033.
- Roberfroid, M. 2007. Prebiotics: the concept revisited. The Journal of Nutrition 137: 830S-837S.
- Roberfroid, M.B. 2000. Concepts and strategy of functional food science: the European perspective. American Journal of Clinical Nutrition 71: 1660s-1664s.
- Roberfroid, M.B., J.A.E. Van Loo and G.R. Gibson. 1997. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. The Journal of Nutrition 128: 11-19.
- Sanders, M.E. 1998. Overview of functional food: emphasis on probiotic bacteria. International Dairy Journal 8: 341-347.
- Schmid, K., M. Schupfner and R. Schmitt. 1982. Plasmid-mediated uptake and metabolism of sucrose by *Escherichia coli* K-12. Journal of Bacteriology 151: 68-76.
- Valencia, M.S., S.M. Salgado, S.A.C. Andrade, V.M., Padilha, A.V.S. Livera and T.L.M. Stamford. 2016. Development of creamy milk chocolate dessert added with fructooligosaccharide and *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* LBC 81. LWT-Food Science and Technology 69: 104-109.
- Wang, X. and G.R. Gibson. 1993. Effect of the *in vitro* fermentation of oligofructose and inulin by bacteria growing in the human large intestine. Journal of Applied Bacteriology 75: 373-380.
- Wang, Y. 2009. Prebiotic: Present and future in food science and technology. Food Research International 42: 8-12.

- Wongputtisin, P. 2003. Selection of oligosaccharides from some local plant utilizing as prebiotic. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai.
- Wongputtisin, P. and C. Khanongnuch. 2015. Prebiotic properties of crude oligosaccharide prepared from enzymatic hydrolysis of basil seed gum. Food Science and Biotechnology 24: 1767-1773.
- Wongputtisin, P., C. Khanongnuch, W. Kongbuntad, P. Niamsup, S. Lumyong, and P.K. Sarkar. 2014. Use of *Bacillus subtilis* isolates from Tua-nao towards nutritional improvement of soya bean hull for monogastric feed application. Letters in Applied Microbiology 59: 328-333.
- Wongputtisin, P., R. Ramaraj, Y. Unpaprom, R. Kawaree and N. Pongtrakul. 2015. Raffinose family oligosaccharides in seed of *Glycine max* cv. Chiang Mai 60 and potential source of prebiotic substances. International Journal of Food Science and Technology 5: 1750-1756.
- Yun, J.W. 1996. Fructooligosaccharides occurrence, preparation and application. Enzyme and Microbial Technology 19: 107-117.
- Yun, J.W., J.P. Park, C.H. Song, C.Y. Lee, J.H. Kim and S.K. Song. 2000. Continuous production of inulo-oligosaccharides from chicory juice by immobilized endoinulinase. Bioprocess Engineering 22: 189-194.
-

การใช้แป้งข้าวกล้องพรีเจลาติไนซ์ทดแทนแป้งสาลีในขนมปังแผ่นอบกรอบ

Substitution of Wheat Flour with Pregelatinized Brown Rice Flour in Crispy Cracker

พัชรี แดงด้วง และ สุภาณี ด้านวิริยะกุล*

Patcharee Dangdoug and Supanee Danviriyakul*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพฯ 10900
Program of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture and Life Sciences, Chandrakasem Rajabhat University,
Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: Email: Supaneed@yahoo.com

(Received: 18 July 2016; Accepted: 12 February 2017)

Abstract: The effect of the substitution of wheat flour (WF) with pregelatinized brown rice flour (PRF) in the production of crispy cracker at 0 (100% WF-control), 50, 60, 70 and 100% substitution was studied. In addition, a mix of PRF:job's tears flour:glutinous rice flour (MIX) at 55:30:15 was also investigated. The samples were analyzed for texture, color, sensory property, and chemical composition. Force required to break a product tended to decrease with increasing amount of substitution (1193.3 g force to 561.5-827.0 g force) ($P<0.05$). At 50-70 % substitution, there were no differences ($P>0.05$) in brightness (L^* , 54.83-56.81), redness (a^* , 7.45-9.12) and yellowness (b^* , 31.12-33.60). MIX flour had higher ($P<0.05$) L^* (61.39) as compared to the others. While a^* and b^* at 100% substitution and MIX flour samples showed lower ($P<0.05$) values than the control. The sensory result showed that the substitution at 70% tended to have higher liking score than the other in almost all sensory aspects. However, its overall liking score of 5.8 showed no difference ($P<0.05$) from 100% substitution and MIX flour formula. Overall 70 to 100% substitution and MIX flour were higher ($P<0.05$) in fat (11.60-12.15) but lower ($P<0.05$) in protein (8.20-7.31) and crude fiber (0.49-0.83) than the control.

Keywords: Pregelatinized brown rice flour, wheat flour, substitution, crispy cracker

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนแป้งข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการพรีเจลาตินในเขชันในน้ำต่างที่ใช้ทดแทนแป้งสาลี (ร้อยละ 50, 60, 70 และ 100) ในผลิตภัณฑ์ขนมปังแผ่นอบกรอบ และมีการใช้แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวกล้องพรีเจลาตินในซ์ แป้งลูกเดี๋ยและแป้งข้าวเหนียวปริมาณร้อยละ 55: 30:15 โดยใช้แป้งสาลีร้อยละ 100 เป็นสูตรควบคุม จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าสี ลักษณะทางประสาทสัมผัส และองค์ประกอบทางเคมี พบว่า ค่าแรงที่ใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์แตก (max force) มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้น อยู่ในช่วง 561.5 - 827.0 g force เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1193.3 g force ($P < 0.05$) พบว่า ไม่มีความแตกต่างของค่าความสว่าง (L^* , 54.83-56.81) ค่าสีแดง (a^* , 7.45-9.12) และค่าสีเหลือง (b^* , 31.12-33.60) ระหว่างผลิตภัณฑ์ที่มีการทดแทน ร้อยละ 50, 60 และ 70 ($P > 0.05$) โดยการทดแทนด้วยแป้งผสมให้ค่าความสว่าง (L^*) มากที่สุด (61.39) ส่วนค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของการทดแทนที่ปริมาณร้อยละ 100 และการใช้แป้งผสมมีแนวโน้มลดลงจากสูตรควบคุม การทดแทนที่ปริมาณร้อยละ 70 มีคะแนนความชอบในทุกด้านมากที่สุด โดยมีความชอบรวม 5.81 คะแนน แต่ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) กับสูตรที่มีการทดแทนปริมาณร้อยละ 100 และสูตรที่มีการใช้แป้งผสม ทั้งนี้การทดแทนในระดับร้อยละ 70-100 จะทำให้มีปริมาณโปรตีน และเยื่อใยลดลง แต่ไขมันเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 8.20-7.31, 0.49-0.83 และ 11.60-12.15 ตามลำดับ

คำสำคัญ: แป้งข้าวกล้องพรีเจลาตินในซ์ แป้งสาลี การทดแทน ขนมปังแผ่นอบกรอบ

คำนำ

ประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจำหน่ายในรูปแบบต่าง ๆ มากมายและมีการบริโภคเพิ่มมากขึ้น เพราะเป็นอาหารว่างที่รับประทานง่าย สะดวกในการพกพา และมีหลากหลายรสชาติให้เลือก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมทั้งในกลุ่มเด็กวัยรุ่นและผู้ใหญ่หรือผู้ที่อยู่ในวัยทำงาน ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารขบเคี้ยว (snack food) มีการเติบโตมากขึ้น ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมหลักอย่างหนึ่ง ได้แก่ แป้งสาลี โดยในแป้งสาลีจะมีองค์ประกอบของโปรตีนที่เรียกว่ากลูเตน (จิตธนาและอรอนงค์, 2544) ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเนื้อแป้งเกาะตัวกันสามารถยืดแผ่เป็นแผ่นได้ มีความยืดหยุ่นแต่ข้อด้อยของกลูเตน คือ อาจเป็นสารก่อภูมิแพ้สำหรับผู้ที่ภูมิคุ้มกันผิดปกติ อีกทั้งแป้งสาลีที่ใช้ส่วนใหญ่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ในขณะที่ประเทศไทยมีการเพาะปลูกข้าวซึ่งเป็นอาชีพหลักของเกษตรกรที่สร้างรายได้ให้กับประเทศและเป็นอาหารมื้อหลักของคนไทย การเพิ่มมูลค่าของข้าวเจ้าโดยการเพิ่มความสามารถในการนำแป้งข้าวไปใช้ประโยชน์ให้มากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์ขนมอบ จะต้องมีการพัฒนาสูตรการผลิต โดยอาจมีการผสมแป้งข้าวกับไฮโดรคอลลอยด์หรือแป้ง

ชนิดอื่น ๆ (อุทัยวรรณ และสุนทรี, 2553; Maghaydah *et al.*, 2013; Turabi *et al.*, 2010; Shih *et al.*, 2006; Cato *et al.*, 2004)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะนำข้าวซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่ผลิตได้ภายในประเทศไทยรวมถึงประเทศในภูมิภาคอาเซียน (Jomjunyong and Ito, 2016) มาใช้ในการผลิตขนมปังกรอบทดแทนการใช้แป้งสาลี โดยใช้ในรูปของข้าวกล้อง และใช้วิธีการอบแทนการทอดเพื่อลดปริมาณไขมันที่มีในผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากโครงสร้างของแป้งข้าวกล้องไม่มีกลูเตนทำให้คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสแตกต่างจากการใช้แป้งสาลี จึงมีการนำข้าวเจ้ากล้องมาดัดแปรโครงสร้างโดยใช้วิธีการพรีเจลาตินในเขชันในน้ำต่าง ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกับที่ใช้ในการผลิตแผ่นแป้งตอร์ตีญา (tortilla) และแผ่นข้าวโพดทอดกรอบ (tortilla chip) โดยตอร์ตีญาดังเดิมซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากข้าวโพด แต่ในข้าวโพดไม่มีกลูเตนที่จะทำให้แป้งมีสมบัติในการเกาะรวมตัวและรีดเป็นแผ่นได้ จึงมีการนำวิธีการ nixtamalization มาใช้ในการผลิต โดยการต้มข้าวโพดในน้ำด่าง ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ให้เกิดการเจลาตินในซ์ (Chel-Guerrero *et al.*, 2015; Ruiz-Gutierrez *et al.*, 2010; Gómez *et al.*, 1987) เพื่อทำให้แป้งมีสมบัติในการอู่มน้ำ และมีความสามารถในการยืดเกาะเพิ่มขึ้น สามารถ

นวดให้เป็นโดที่เรียกว่ามาซา (masa) ซึ่งเกิดจากการสร้างโครงสร้างเครือข่ายระหว่าง พอลิเมอร์ของสตาร์ช รวมทั้งปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนและโปรตีนที่มีแคลเซียมทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม (Guzmán et al., 2011) โดยศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัส สี ลักษณะทางประสาทสัมผัส และองค์ประกอบทางเคมีของขนมปังกรอบที่มีการใช้แบ่งข้าวกล้องพรีเจลาตินซ์ทดแทนแป้งสาลีในอัตราร้อยละ 0-100 และแบ่งผสมระหว่างแบ่งข้าวกล้องพรีเจลาตินซ์ แบ่งลูกเดือย และแบ่งข้าวเหนียว เพื่อเพิ่มทางเลือกสำหรับการนำแบ่งข้าวและวัตถุดิบทางการเกษตรอื่น ๆ มาใช้ทดแทนแป้งสาลีในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาภาวะที่ใช้ในการทำแบ่งข้าวกล้องพรีเจลาตินซ์

ศึกษาภาวะที่ใช้ในการเตรียมแบ่งข้าวกล้องพรีเจลาตินซ์ โดยใช้ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากอำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ ต้มในน้ำต่าง (น้ำปูนใสที่ pH 12-13) สัดส่วนที่ใช้น้ำปูนใสต่อข้าวกล้อง 2:1 ที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 5, 10, 15 และ 20 นาที ล้างน้ำต่างออก และทำให้แห้งด้วยการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง บดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นไฟฟ้าแล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนแบ่ง (แบ่งแห้ง) นำแบ่งที่ได้ไปผลิตขนมปังกรอบเปรียบเทียบกับการใช้แบ่งสาลีร้อยละ 100 ซึ่งเป็นสูตรควบคุม โดยพิจารณาจากลักษณะการเกาะรวมตัวของแบ่ง ลักษณะของโด ความสามารถในการรีดเป็นแผ่น และคุณลักษณะของขนมปังแผ่นอบกรอบที่ได้

เปรียบเทียบการนำแบ่งข้าวกล้องพรีเจลาตินซ์มาใช้ในรูปแบบแบ่งแห้งที่ผ่านการอบและแบ่งแบบเปียก โดยใช้ภาวะในการต้มในน้ำต่าง 70 °C ที่เวลา 15 และ 20 นาที ในกรณีของแบ่งแบบเปียก หลังจากต้มและล้างน้ำต่างออกแล้ว นำไปทำให้ละเอียดด้วยการบดด้วยเครื่องบดเนื้อ และนำไปใช้โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการทำแห้ง นำไปผลิตขนมปังแผ่นอบกรอบเปรียบเทียบกับแบ่งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการต้ม (แบ่งดิบ) และแบ่งสาลีร้อยละ 100

การศึกษาการใช้แบ่งข้าวกล้องพรีเจลาตินซ์ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังแผ่นอบกรอบ

เลือกภาวะที่ใช้ในการเตรียมแบ่งข้าวกล้องพรีเจลาตินซ์จากการศึกษาเบื้องต้นมาใช้ในการทดลอง โดยใช้ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากอำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ ข้าวสาลีจากตลาดองค์การตลาดเพื่อเกษตรกร กรุงเทพฯ แบ่งข้าวเหนียว ยี่ห่อ ปลาไทย ลูกเดือย ยี่ห่อ ไรท์พีย์ สำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิต

การเตรียมแบ่งข้าวกล้องพรีเจลาตินซ์ นำข้าวกล้องมาล้างน้ำให้สะอาดเอาน้ำขึ้นทำให้สะอาด ต้มในน้ำปูนใสที่ pH 12-13 สัดส่วนที่ใช้น้ำปูนใสต่อข้าวกล้อง 2:1 ต้มที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 15 นาที จากนั้นนำมาล้างน้ำให้สะอาด ทิ้งไว้ให้สะอาด นำมาบดด้วยเครื่องบดเนื้อหน้ารังผึ้งเครื่องบดขนาด 3 มิลลิเมตร บด 2 รอบ ส่วนการเตรียมแบ่งสาลีและแบ่งลูกเดือยทำได้โดยการนำข้าวสาลีและลูกเดือยมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น ร่อนผ่านตะแกรงร่อนแบ่ง

ผลิตขนมปังแผ่นอบกรอบโดยใช้อัตราส่วนของแบ่งสาลี ต่อ แบ่งข้าวกล้องพรีเจลาตินซ์ ดังต่อไปนี้ 100:0, 50:50, 40: 60, 30:70 และ 0:100 นอกจากนี้ได้มีการนำแบ่งลูกเดือยและแบ่งข้าวเหนียวมาใช้เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อกลิ่นและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยใช้แบ่งข้าวกล้องพรีเจลาตินซ์ แบ่งลูกเดือย และแบ่งข้าวเหนียวในอัตราส่วน 55:30:15 โดยใช้น้ำมันปาล์มร้อยละ 10 ของน้ำหนักแบ่ง เกลือ และเบคกิ้งโซดาร้อยละ 1 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด นวดส่วนผสมให้เข้ากันรีดด้วยเครื่องรีดแบ่งที่มีขนาดความบาง 0.7-0.8 มิลลิเมตร เมื่อได้เป็นแผ่นแล้วตัดเป็นชิ้น ให้มีลักษณะกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 150 °C นาน 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 20 นาที จึงเก็บบรรจุ

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของขนมปังแผ่นอบกรอบ

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

วิเคราะห์ค่าสี โดยนำขนมปังแผ่นอบกรอบที่ได้มาบดให้ละเอียดใส่ตัวอย่าง 1/3 ของตลับแล้วนำมาวัด

ค่าสี L^* , a^* และ b^* โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab scale รุ่น Color Flex (ยี่ห้อ Hunter Lab, U.S.A.)

วิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยนำขนมปังแผ่นอบกรอบที่ได้มาตรวจคุณภาพด้วยเครื่อง texture analyzer รุ่น TA-XT2 (ยี่ห้อ Stable Micro Systems, England) หัววัด P/0.25S ความเร็วของหัววัด 1 มิลลิเมตรวินาที ด้วยโหมดแรงกดทะลุ โดยค่าที่ได้แสดงค่าแรงกดสูงสุดก่อนเกิดการแตกหักเสียรูปร่าง (max force)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000) โดยใช้ตัวอย่างที่มีความชอบโดยรวมสูงสุดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส และตัวอย่างควบคุม ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการหาความชื้น $130 \pm 2^\circ\text{C}$ นาน 4 ชั่วโมง ส่วนการคำนวณหาปริมาณโปรตีนจะใช้ค่าแฟกเตอร์ที่ต่างกันเนื่องจากปริมาณโปรตีนคำนวณได้จากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างคูณกับค่าแฟกเตอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบหลัก โดยตัวอย่างที่ใช้แป้งสาลีเป็นวัตถุดิบหลัก จะใช้ค่าแฟกเตอร์เท่ากับ 5.83 และตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวกล้องฟรียาเลตินไนซ์เป็นวัตถุดิบหลักจะใช้ค่าแฟกเตอร์เท่ากับ 5.95 ส่วนการคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตคำนวณจากสูตร ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (ร้อยละของน้ำหนัก) = $100 - (\text{ร้อยละความชื้น} + \text{ร้อยละไขมัน} + \text{ร้อยละโปรตีน} + \text{ร้อยละเถ้า} + \text{ร้อยละเยื่อใย})$

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติโดยรวม กลิ่นโดยรวม ความกรอบ เนื้อสัมผัสโดยรวม และความชอบโดยรวม โดยใช้สเกลความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic rating scale) ให้ผู้ทดสอบทั้งหมด 120 คน โดยผู้ทดสอบแต่ละคนได้รับตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง ตามแผนการทดลองแบบ balanced incomplete block design (BIBD)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและเคมี โดยใช้แผนการทดลอง

แบบ randomized complete block design (RCBD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยแผนการทดลองแบบ balanced incomplete block design (BIBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาภาวะที่ใช้ในการทำแป้งข้าวกล้องฟรียาเลตินไนซ์

จากการศึกษาลักษณะการเกาะตัวกันของแป้งในระหว่างการนวดเปรียบเทียบระหว่างแป้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการต้มกับแป้งข้าวกล้องที่ผ่านการต้มในน้ำต่างที่อุณหภูมิ 70°C ที่เวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที (แบ่งแบบแห้ง) โดยมีแป้งสาลีร้อยละ 100 เป็นสูตรควบคุม พบว่าแป้งที่ไม่ผ่านการต้มและแป้งข้าวกล้องที่ผ่านการต้มน้ำต่างที่อุณหภูมิ 70°C ที่เวลา 5 และ 10 นาที มีความร่วนเกินไป ไม่เกาะตัวกัน ไม่สามารถปั้นเป็นก้อนโดและรีดเป็นแผ่นได้ แต่แป้งที่ผ่านการต้มที่เวลา 15 และ 20 นาที เกาะตัวกันได้ดี สามารถปั้นเป็นก้อนและรีดเป็นแผ่นได้ ซึ่งอาจเกิดจากการสร้างโครงสร้างเครือข่ายระหว่างพอลิเมอร์ของสตาร์ชในขั้นตอนการฟรียาเลตินไนซ์ และปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนและโปรตีนที่มีแคลเซียมทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม (Guzmán *et al.*, 2011) นอกจากนี้ การสลายตัวของเยื่ออาลูโรน (aleurone layer) ไปเป็นสารประกอบที่ทำหน้าที่คล้ายกับกัม (González *et al.*, 2004; Jackson and Sahai, 2002) ก็อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะกันของแป้งข้าวกล้องฟรียาเลตินไนซ์

ในการศึกษาการนำแป้งข้าวกล้องฟรียาเลตินไนซ์ในรูปแบบเปียกไปใช้โดยตรงเพื่อเป็นการลดขั้นตอนในการผลิต โดยใช้เวลาในการต้ม 15 และ 20 นาที พบว่าแป้งแบบเปียกมีลักษณะเกาะตัวกันได้ดี สามารถปั้นเป็นก้อนและรีดเป็นแผ่นได้ดีกว่าแป้งแบบแห้งที่ใช้เวลาในการต้มเท่ากัน โดยที่เวลา 15 นาที (มีปริมาณการดูดซับน้ำที่ร้อยละ 44-46 ของน้ำหนักข้าวกล้องเริ่มต้น) ผลิตภัณฑ์

หลังการอบมีลักษณะของแผ่นแป้งที่มีการโค้งงอน้อยกว่าและไม่เกิดรอยแตกกร้าว เมื่อเทียบกับแป้งแบบเปียกที่เวลา 20 นาที ดังนั้นจึงได้มีการนำแป้งแบบเปียกที่เวลา 15 นาที มาศึกษาปริมาณการใช้ทดแทนแป้งสาลีต่อไป โดยปรับปริมาณน้ำที่เติมลงไปขึ้นอยู่กับปริมาณของแป้งสาลีที่ใช้ โดยใช้ฐานการคำนวณจากปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับในขั้นตอนการพรีเจลาติไนซ์ชั้น (น้ำ 45, 22.5, 18.0, 13.5 และ 0 กรัม ต่อน้ำหนักแป้งรวม 100 กรัม สำหรับสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 0, 30, 40, 50 และ 100 ตามลำดับ)

การศึกษาการใช้แป้งข้าวกล้องพรีเจลาติไนซ์ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังแผ่นอบกรอบ

ค่าสี

จากการเปรียบเทียบสีของขนมปังแผ่นอบกรอบที่ได้ พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์ที่มีการทดแทนร้อยละ 50, 60 และ 70 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 1) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 54.83-56.81, 7.45-9.12 และ 33.12-33.60 ตามลำดับ โดยการทดแทนด้วยแป้งผสมให้ค่าความสว่างมากที่สุด (61.39) ส่วนค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของการทดแทนที่ปริมาณร้อยละ 100 และการใช้แป้งผสมมีแนวโน้มลดลง จากสูตรควบคุม เนื่องจากสูตรที่มีการใช้แป้งผสมทดแทน มีการใช้ลูกเดือยและแป้งข้าวเหนียวซึ่งมีลักษณะเป็นสีขาวมากกว่าข้าวกล้องและข้าวสาลี ส่งผลให้มีค่าความสว่าง (L^*) มากขึ้น ในขณะที่สูตรควบคุมและสูตรที่มีการทดแทนทุกระดับ

มีการใช้ข้าวสาลีและข้าวกล้องที่มีการขัดสีเปลือกออกเท่านั้น จึงทำให้ยังมีส่วนที่ยังเป็นจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวอยู่ ดังนั้นจึงส่งผลให้มีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง

เนื้อสัมผัส

ค่าแรงที่ใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์แตกมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการทดแทนด้วยแป้งข้าวกล้องพรีเจลาติไนซ์ที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 1) โดยมีค่า max force อยู่ในช่วง 561.5-827.0 g force เมื่อเทียบกับสูตรควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับ 1193.3 g force ($P<0.05$) เนื่องจากในแป้งสาลีมีกลูเตนที่สามารถช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีการยืดตัว และเกาะรวมตัวกันได้ดี จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งและเสียรูปร่างได้ยากกว่า โดยการทดแทนด้วยแป้งข้าวกล้องพรีเจลาติไนซ์ร้อยละ 70, 100 และสูตรที่มีการทดแทนด้วยแป้งผสมมีค่า max force ในระดับที่ใกล้เคียงกัน คือ 561.5, 631.4 และ 570.7 g force ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนแป้งผสมที่มีการใช้แป้งข้าวกล้องพรีเจลาติไนซ์ร่วมกับแป้งข้าวเหนียวและแป้งลูกเดือย มีค่าความแข็งใกล้เคียงกับสูตรการทดแทนที่ปริมาณร้อยละ 70-100 ($P>0.05$)

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าการทดแทนที่ปริมาณร้อยละ 70 ได้รับคะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะสูงกว่าการใช้แป้งที่อัตราส่วนอื่น ๆ โดยมีคะแนนความชอบเฉลี่ยด้าน ลักษณะปรากฏ สี รสชาติโดยรวม กลิ่นโดยรวม ความกรอบ เนื้อสัมผัสโดยรวม และความชอบโดยรวม เท่ากับ 5.88, 5.95, 5.83, 5.73, 6.00, 5.55 และ 5.81 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

Table 1. Color and textural parameters of crispy thin cracker from the substitution with pregelatinized brown rice flour

WF	PRF	JF	GF	L^*	a^*	b^*	Max force (g force)
100	-	-	-	57.11 ± 1.28 ^a	6.69 ± 0.09 ^b	33.96 ± 0.26 ^c	1193.3 ± 86.40 ^d
50	50	-	-	56.81 ± 2.94 ^a	7.45 ± 1.86 ^{bc}	33.12 ± 0.90 ^c	827.0 ± 50.06 ^c
40	60	-	-	54.83 ± 0.74 ^a	9.12 ± 0.79 ^c	33.60 ± 0.96 ^c	695.1 ± 81.75 ^b
30	70	-	-	55.05 ± 2.01 ^a	9.05 ± 1.78 ^c	33.49 ± 1.09 ^c	561.5 ± 71.79 ^a
-	100	-	-	55.32 ± 1.41 ^a	3.90 ± 0.58 ^a	31.29 ± 0.88 ^b	631.4 ± 14.47 ^{ab}
-	55	30	15	61.39 ± 1.76 ^b	2.54 ± 0.05 ^a	29.15 ± 0.49 ^a	570.7 ± 54.83 ^{ab}

Remarks: WF= Wheat flour, PRF = Pregelatinized brown rice flour, JF = Job's tears flour, GF = Glutinous rice flour

Data are expressed as means ± SD

^{a-c} Means with the different letters in the same column were significantly different ($P<0.05$)

อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวมที่มีการทดแทนในระดับต่าง ๆ พบว่าการทดแทนที่ปริมาณร้อยละ 70, 100 และการใช้แป้งผสมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสโดยรวมมีความสัมพันธ์กับค่าแรงที่ใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์แตกหัก โดยผลิตภัณฑ์ที่มีค่าแรงต่ำจะได้รับคะแนนความชอบมากกว่า เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีค่าแรงสูงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นและแข็งกระด้างมากกว่า ทั้งนี้ พบว่าไม่มีความแตกต่างของคะแนนความชอบด้านกลิ่นระหว่างผลิตภัณฑ์ที่มีการทดแทนที่ปริมาณร้อยละ 50, 60, 70, 100 และสูตรแป้งผสม

องค์ประกอบทางเคมี

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขนมปังอบกรอบจากสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งประกอบด้วยการทดแทนร้อยละ 70,

100 และแป้งผสม พบว่า ปริมาณร้อยละของโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ของผลิตภัณฑ์ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องพรีเจลลาคีไนซ์มีค่าอยู่ในช่วง 7.31-8.29, 11.60-12.15, 0.30-0.83 และ 3.31-3.34 ตามลำดับ โดยโปรตีนและเยื่อใยมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้น ตรงข้ามกับปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น ($P<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างของปริมาณเถ้าและคาร์โบไฮเดรต เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทดแทนร้อยละ 70 กับแป้งผสม พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งสอง มีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณความชื้นและเยื่อใย ซึ่งการทดแทนร้อยละ 70 จะมีปริมาณของเยื่อใยที่สูงกว่า (ตารางที่ 3) ทั้งนี้ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ขนมปังแผ่นอบกรอบที่มีการทดแทนด้วยแป้งข้าวพรีเจลลาคีไนซ์ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 11.60-12.15 มีปริมาณไขมันต่ำกว่า tortilla chip ที่ผลิตด้วยวิธีการทอด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 13.3-24.9 (Sánchez-Madrigal *et al.*, 2014; Cedillo Sebastian, 2005) โดยปริมาณไขมันส่วนใหญ่ที่มีอยู่ใน

Table 2. Liking score of crispy thin cracker from the substitution with pregelatinized brown rice flour

Composition (%)				Appearance	Color	Overall taste	Overall flavor	Crispness	Overall texture	Overall liking
WF	PRF	JF	GF							
100	-	-	-	5.08 ± 1.34 ^a	4.95 ± 1.41 ^a	4.26 ± 1.32 ^a	4.36 ± 1.36 ^a	4.81 ± 1.53 ^a	4.21 ± 1.32 ^a	4.50 ± 1.25 ^a
50	50	-	-	5.66 ± 1.38 ^b	5.66 ± 1.18 ^b	5.13 ± 1.29 ^b	5.20 ± 1.39 ^b	5.50 ± 1.12 ^b	5.03 ± 1.32 ^b	5.20 ± 1.24 ^b
40	60	-	-	5.73 ± 1.11 ^b	5.81 ± 1.33 ^b	5.26 ± 1.40 ^{bc}	5.18 ± 1.65 ^b	5.65 ± 1.17 ^b	5.11 ± 1.51 ^b	5.28 ± 1.32 ^{bc}
30	70	-	-	5.88 ± 1.12 ^b	5.95 ± 1.11 ^b	5.83 ± 1.26 ^d	5.73 ± 1.23 ^b	6.00 ± 0.97 ^b	5.55 ± 1.24 ^b	5.81 ± 1.09 ^d
-	100	-	-	5.58 ± 1.39 ^b	5.60 ± 1.46 ^b	5.55 ± 1.43 ^{bcd}	5.35 ± 1.50 ^b	5.55 ± 1.63 ^b	5.40 ± 1.47 ^b	5.51 ± 1.34 ^{bcd}
-	55	30	15	5.71 ± 1.24 ^b	5.76 ± 1.46 ^b	5.71 ± 1.23 ^{cd}	5.41 ± 1.26 ^b	5.83 ± 1.39 ^b	5.50 ± 1.33 ^b	5.70 ± 1.16 ^{cd}

Remarks: WF= Wheat flour, PRF = Pregelatinized brown rice flour, JF = Job's tears flour, GF = Glutinous rice flour

Data are expressed as means ± SD

^{a-c} Means with the different letters in the same column were significantly different ($P<0.05$)

Table 3. Chemical composition (%) of crispy thin cracker from the substitution with pregelatinized brown rice flour

WF	PRF	JF	GF	Moisture	Protein	Fat	Crude fiber	Ash ^{NS}	Carbohydrate ^{NS}
100	-	-	-	6.60 ± 0.59 ^{ab}	9.36 ± 0.05 ^c	10.29 ± 0.55 ^a	1.58 ± 0.33 ^c	3.21 ± 0.06	68.92 ± 0.65
30	70	-	-	5.58 ± 1.25 ^a	8.20 ± 0.36 ^b	11.60 ± 1.52 ^{ab}	0.83 ± 0.83 ^b	3.31 ± 0.09	70.47 ± 1.00
-	100	-	-	6.98 ± 1.03 ^b	7.31 ± 0.08 ^a	12.15 ± 0.27 ^b	0.49 ± 0.17 ^{ab}	3.34 ± 0.09	69.71 ± 0.49
-	55	30	15	7.08 ± 0.88 ^b	8.29 ± 0.05 ^b	11.95 ± 0.52 ^b	0.30 ± 0.24 ^a	3.31 ± 0.11	68.83 ± 1.25

Remarks: WF= Wheat flour, PRF = Pregelatinized brown rice flour, JF = Job's tears flour, GF = Glutinous rice flour

Data are expressed as means ± SD

^{a-c} Means with the different letters in the same column were significantly different ($P<0.05$)

^{NS} Not significant difference ($P>0.05$)

ตัวอย่างขนมปังอบกรอบมาจากปริมาณของไขมันที่เดิมลงไปในสูตรเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัส และกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เป็นระดับไขมันที่อยู่ในช่วงปานกลางเมื่อเทียบกับขนมขบเคี้ยวประเภทอื่น ๆ ซึ่งมีปริมาณไขมันในช่วงร้อยละ 5.9-37.3 (นันทยา และคณะ, 2550)

สรุป

การเตรียมแป้งข้าวกล้องด้วยกระบวนการต้มในน้ำต่าง (70 °C 15 นาที) สามารถใช้ในการปรับปรุงสมบัติของแป้งให้เกาะรวมตัวกันและสามารถรีดเป็นแผ่นได้ สามารถนำมาใช้ในการทดแทนแป้งสาลีในการผลิต ขนมปังแผ่นอบกรอบได้ในระดับร้อยละ 70-100 โดยช่วยทำให้เนื้อสัมผัสมีความแข็งแรงกระด้างน้อยลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม มีคะแนนความชอบโดยรวมในระดับชอบเล็กน้อย (5.51-5.81) ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ทางด้านองค์ประกอบเคมีพบว่า มีปริมาณโปรตีนและเยื่อใยอยู่ในช่วงร้อยละ 7.31-8.20 และ 0.49-0.83 ตามลำดับ มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีการนำไปปรับปรุงด้วยการการปรุงรสและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการอาหาร เช่น โปรตีน เยื่อใย รวมทั้งการปรับปรุงรูปแบบของผลิตภัณฑ์ให้ได้รับการยอมรับมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

จิตรนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2544. เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 224 หน้า.

นันทยา จงใจเทศ ภัทริยา ยิ่งเลิศรัตนกุล ปิยนันท์ ผ่ามวง และวาริทธิพงษ์ พึ่งพันธ์. 2550. ปริมาณไขมันทรานส์ในอาหารอบและทอด. รายงานการศึกษาวิจัยปี 2550. กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี. 14 หน้า.

อุทัยวรรณ ทองทั้งวงศ์ และ สุนทรี สุวรรณสิขณณ์. 2553. ผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสาลีชนิดต่อคุณภาพของบัตเตอร์เค้ก. เอกสารการประชุม

ทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, กรุงเทพฯ.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Arlington.

Cato, L., J.J. Gan, L.G.B. Rafael and D.M. Small. 2004. Gluten free breads using rice flour and hydrocolloid gums. Food Australia 56(3): 75-88.

Cedillo Sebastian, G.C. 2005. Nutraceutical tortilla and tortilla chips prepared with bran from specialty sorghums. (Online). Available: <http://hdl.handle.net/1969.1/4702> (December 27, 2016).

Chel-Guerrero, L., J. Parra-Pérez, D. Betancur-Ancona, A. Castellanos-Ruelas and J. Solorza-Feria. 2015. Chemical, rheological and mechanical evaluation of maize dough and tortillas in blends with cassava and malanga flour. Journal of Food Science and Technology 52(7): 4387-4395.

Gómez, M.H., L.W. Rooney, R.D. Waniska and R.L. Pflugfelder. 1987. Dry maize masa flours for tortilla and snack food production. Cereal Foods World 32: 372-377.

González, R., E. Reguera, L. Mendoza, J.M. Figueroa and F. Sánchez-Sinencio. 2004. Physicochemical changes in the hull of corn grains during their alkaline cooking. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52: 3831-3837.

Guzmán, A.Q., M.E.J. Flores, J.S. Feria, M.G.M. Montealvo and Y.J. Wang. 2011. Rheological and thermal properties of masa as related to changes in corn protein during nixtamalization. Journal of Cereal Science 53: 139-147.

- Jackson, D.S. and D. Sahai. 2002. Enzymatic process for nixtamalization of cereal grains. U.S. Patent 6,428,828.
- Jomjunyong, S. and N. Ito. 2016. Rice is a strategic key resource for ASEAN economic community. *Journal of Agriculture* 32(Special Issue): 35-42.
- Maghaydah, S., S. Abdul-Hussain, R. Ajo, B. Obeidat and Y. Tawalbeh. 2013. Enhancing the nutritional value of gluten-free cookies with inulin. *Advance Journal of Food Science and Technology* 5(7): 866-870.
- Ruiz-Gutierrez, M.G., A. Quintero-Ramos, C.O. Meléndez-Pizarro, D. Lardizábal-Gutiérrez, J. Barnard, R. Márquez-Melendez and R. Talamás-Abbud. 2010. Changes in mass transfer, thermal and physiochemical properties during nixtamalization of corn with and without agitation at different temperatures. *Journal of Food Engineering* 98: 76-83.
- Shih, F.F., V.D. Truong, V.D. and K.W. Daigle. 2006. Physicochemical properties of gluten-free pancakes from rice and sweet potato flours. *Journal of Food Quality* 29: 97-107.
- Sánchez-Madrigal, M.A., A. Quintero-Ramos, F. Martínez-Bustos, C.O. Meléndez-Pizarro and M. G. Ruiz-Gutiérrez. 2014. Effect of different calcium sources on the antioxidant stability of tortilla chips from extruded and nixtamalized blue corn (*Zea mays* L.) flours. *Food Science and Technology (Campinas)* 34(1): 143-149.
- Turabi, E., G. Sumnu and S. Sahin. 2010. Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. *Food Hydrocolloids* 24: 755-762.
-

การสกัดร่วมกับการกักเก็บสารหอม 2-Acetyl-1-Pyrroline
จากใบเตยด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลาตินในเซชันภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอ
เพื่อใช้เคลือบข้าวขาวพิจิตร

Extraction Combined with Encapsulation of 2-Acetyl-1-Pyrroline from Pandan Leaves
Using Gelatinized Rice Flour Under Autoclave Conditions for Coating Phichit Rice

รัตนา ม่วงรัตน์* จารุวรรณ จินดากุล และ วรณัฐ อินปันบุตร
Rattana Muangrat*, Jaruwat Jindakul and Woranut Inpanpol

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50100

Department of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100, Thailand

*Corresponding author: Email: rattanamuangrat@yahoo.com

(Received: 8 September 2016; Accepted: 4 December 2016)

Abstract: This study investigated the extraction and encapsulation of aroma compound 2-Acetyl-1-Pyrroline (2AP) from pandan (*Pandanus amaryllifolius*) leaves under autoclave conditions. Gelatinized rice flour was used for encapsulation of 2AP extracts. The gelatinized rice flour encapsulating aroma compound (2AP) was further used to coat on Phichit rice. The experiments were conducted at extraction and encapsulation temperatures of 90 °C (10 Psi), 100 °C (15 Psi) and 110 °C (20 Psi) and different extraction and encapsulation times of 30 min, 60 min and 120 min. The results showed that the optimal condition of extraction and encapsulation of 2AP from pandan leaves at temperature of 90 °C (10 Psi) for 60 min gave the highest level of aroma compound (2AP) encapsulated with gelatinized rice flour. The gelatinized rice flour containing the highest aroma level of 2AP was coated on the Phichit rice. The Phichit rice coated with aroma compound 2AP was analyzed physical and sensory properties. It was found that before cooking the Phichit rice coated with aroma compound 2AP had L^* , a^* , b^* and hardness values of 68.97 ± 1.11 , -0.63 ± 0.08 , 9.34 ± 0.65 and 24.42 ± 7.58 kg_f, respectively. After cooking, the L^* , a^* , b^* and hardness values of the Phichit rice coated with aroma compound 2AP were 63.90 ± 1.36 , -1.15 ± 0.08 , 3.27 ± 0.24 and 2.99 ± 1.02 kg_f, respectively. In addition, the results of sensory evolution found that the average colour and overall liking scores of the Phichit rice with coating of aroma compound 2AP before cooking were lower than those of the Phichit rice without coating of aroma compound 2AP ($P < 0.05$). However, the flavor score of the Phichit rice with and without coating of aroma compound 2AP was not significantly different ($P < 0.05$). After cooking, the average colour, flavor, texture and overall liking scores of the Phichit rice with and without coating of aroma compound 2AP were not significantly different ($P < 0.05$).

Keywords: Aroma compound 2-Acetyl-1-Pyrroline (2AP), pandan leaves, gelatinized rice flour, autoclave, encapsulation

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดและกักเก็บสารหอม 2-Acetyl-1-Pyrroline (2AP) จากใบเตยด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันแล้วภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอ แป้งข้าวเจ้าที่กักเก็บสารหอม 2AP นำมาใช้เคลือบข้าวขาวพิจิตร โดยสภาวะการสกัดและกักเก็บสารหอม 2AP ได้แก่อุณหภูมิ 90 °C (10 Psi), 100 °C (15 Psi) และ 110 °C (20 Psi) และเวลา 30, 60 และ 120 นาที ผลการศึกษาพบว่าการสกัดร่วมกับการกักเก็บสารหอม 2AP จากใบเตยที่อุณหภูมิ 90 °C (10 Psi) เป็นเวลา 60 นาที ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันจะได้ระดับความหอมของสาร 2AP มากที่สุด แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันที่มีระดับความหอมของสาร 2AP มากที่สุดนี้ถูกนำมาเคลือบข้าวขาวพิจิตร จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของข้าวขาวพิจิตรที่ผ่านการเคลือบด้วยสารหอม 2AP ผลการวิเคราะห์พบว่าข้าวขาวพิจิตรที่เคลือบด้วยสารหอม 2AP ก่อนทำการหุงมีค่าสี L^* , a^* , b^* และค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 68.97 ± 1.11 , -0.63 ± 0.08 , 9.34 ± 0.65 และ 24.42 ± 7.58 kg, ตามลำดับ หลังผ่านการหุงแล้วข้าวขาวพิจิตรที่เคลือบด้วยสารหอม 2AP มีค่าสี L^* , a^* , b^* และค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 63.90 ± 1.36 , -1.15 ± 0.08 , 3.27 ± 0.24 และ 2.99 ± 1.02 kg, ตามลำดับ ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าคะแนนความชอบด้านสี และความชอบโดยรวมของข้าวขาวพิจิตรที่เคลือบด้วยสารหอม 2AP ก่อนทำการหุงมีค่าต่ำกว่าข้าวขาวพิจิตรที่ไม่ผ่านการเคลือบสารหอม 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่คะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างจากข้าวขาวพิจิตรที่ไม่ผ่านการเคลือบ หลังจากการหุงแล้วคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของข้าวขาวพิจิตรที่เคลือบด้วยสารหอม 2AP มีค่าไม่แตกต่างจากข้าวขาวพิจิตรที่ไม่ผ่านการเคลือบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

คำสำคัญ: สารหอม 2-Acetyl-1-Pyrroline (2AP) ใบเตย แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชัน หม้อนึ่งอัดไอ การกักเก็บ

คำนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทย และยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ข้าวที่ปลูกในประเทศไทยนั้นมีมากมายหลายชนิด แต่ชนิดที่สร้างชื่อเสียงให้ข้าวไทยเป็นที่รู้จักไปทั่วโลกก็คือ ข้าวหอมมะลิ (Thai jasmine rice) ที่มีลักษณะโดดเด่นคือความหอมที่เกิดจากสารหอมระเหย 2-Acetyl-1-Pyrroline (2AP) (Buttery *et al.*, 1983; Mahatheeranont *et al.*, 2001) ทำให้มีความหอมขณะหุงต้ม จึงเป็นคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากข้าวชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ข้าวหอมมะลิที่หุงแล้วยังมีลักษณะนุ่มเหนียว มียาง เกาะตัวกันพอสมควร มีรสชาติอร่อย ไม่่วนแข็ง กระด้างเหมือนข้าวชนิดอื่น ๆ ข้าวหอมมะลิจึงนิยมปลูกและบริโภคกันอย่างแพร่หลาย โดยมีแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เขตทุ่งกุลาร้องไห้ และมีพื้นที่เพาะปลูกครอบคลุมมากกว่า 19 ล้านไร่ทั่วประเทศ (วนิดา, 2558) โดยมีแหล่งผลิตที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดสุรินทร์ ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ นครราชสีมา ร้อยเอ็ด และรองลงมาคือภาคเหนือ เนื่องจากข้าวหอมมะลิเป็นข้าวที่มีคุณภาพดี มีกลิ่นหอม จึงเป็นที่ต้องการของชาว

ไทยและชาวต่างประเทศ ทำให้ปริมาณการส่งออกข้าวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทุกปี ในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีการส่งออกสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์คิดเป็นมูลค่า 1,308,905 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจาก 1,268,217 ล้านบาท ของปีที่แล้วร้อยละ 3.21 โดยสินค้าที่มีมูลค่าส่งออกเพิ่มขึ้นได้แก่ ข้าวและผลิตภัณฑ์ เนื่องจากราคาส่งออกข้าวของไทยอยู่ในระดับใกล้เคียงประเทศคู่แข่ง เช่น อินเดีย และเวียดนาม ทำให้สามารถแข่งขันได้มากขึ้น โดยข้าวและผลิตภัณฑ์มีมูลค่าการส่งออก 191,228 ล้านบาท ข้าวหอมมะลิไทยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ส่งออกมากที่สุดมีมูลค่า 52,157 ล้านบาท (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) ปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิ และข้าวอื่น ๆ ในช่วงปี พ.ศ. 2554-2557 (สำนักงานภาคตะวันออก ธนากรแห่งประเทศไทย, 2557) แสดงได้ดังตารางที่ 1

จากข้อมูลในตารางที่ 1 จะพบว่าข้าวหอมมะลิเป็นสินค้าเกษตรหลักชนิดหนึ่งที่ทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท แต่อย่างไรก็ตามราคารวมของการส่งออกข้าวหอมมะลิก็ต่ำกว่าข้าวอื่น ๆ เพราะมีกำลังการผลิตค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์อื่น ดังนั้นจึงทำ

Table 1. Export quantity and value of Hom Mali rice and other rice, 2011-2014

Types of rice	2011	2012	2013	2014	Unit: ton	
					%2014/ 2013	Ratio in the year 2014
White rice	4,620,551.3	2,460,020.0	2,666,901.0	5,341,898.1	100.3	48.7
Parboiled rice	3,227,038.6	2,049,924.4	1,651,000.2	3,262,608.9	97.6	29.7
Hom Mali rice	2,358,958.5	1,912,657.0	1,915,256.4	1,869,672.9	-2.4	17.0
Glutinous rice	287,660.2	226,196.6	326,833.54	334,083.7	2.2	3.1
Pathumthani fragrant rice	212,020.4	85,628.9	51,684.15	161,071.4	211.6	
Total (tons)	10,706,229.1	6,734,426.9	6,611,708.3	10,969,335.0	65.9	100
Value (million Baht)	196,117.0	142,976.2	133,841.9	174,853.4	30.6	

ประเทศไทยมีรายได้ส่วนใหญ่มาจากการส่งออกข้าวอื่น ๆ แต่ราคาการส่งออกเฉลี่ยต่อตันของการส่งออกข้าวหอมมะลิจะสูงกว่าข้าวชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีคุณภาพที่ดีกว่า โดยราคาข้าวหอมมะลิส่งออก เอฟ.โอ.บี. เฉลี่ยตันละ 1,030 ดอลลาร์สหรัฐ (33,003 บาทต่อตัน) ขณะที่ราคาข้าวปทุมธานี ส่งออก เอฟ.โอ.บี. เฉลี่ยตันละ 584 ดอลลาร์สหรัฐ (18,713 บาทต่อตัน) ราคาข้าวสารเจ้า 5% (ใหม่) ส่งออก เอฟ.โอ.บี. เฉลี่ยตันละ 395 ดอลลาร์สหรัฐ (12,657 บาทต่อตัน) ราคาข้าวสารเจ้า 25% (ใหม่) ส่งออก เอฟ.โอ.บี. เฉลี่ยตันละ 350 ดอลลาร์สหรัฐ (11,215 บาทต่อตัน) ราคาข้าวหนึ่ง 5% ส่งออก เอฟ.โอ.บี. เฉลี่ยตันละ 417 ดอลลาร์สหรัฐ (13,362 บาทต่อตัน) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) ถึงแม้ว่าข้าวบางชนิด เช่น ข้าวปทุมธานี 1 จะมีความหอมคล้ายกับข้าวหอมมะลิ แต่ปริมาณสารหอมก็ยังต่ำกว่าข้าวหอมมะลิ อีกทั้งคุณภาพก็ไม่ดีเทียบเท่ากับข้าวหอมมะลิ ดังนั้นเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวขาวที่มีปริมาณผลผลิตมากในประเทศไทยและมีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับข้าวหอมมะลิ ควรมีการศึกษาวิธีทำให้ข้าวขาวที่ผลิตได้ในประเทศมีกลิ่นหอมเหมือนข้าวหอมมะลิ โดยการเติมสารหอม 2AP เข้าไปในข้าวเพื่อเพิ่มความหอมและสามารถทดแทนข้าวขาวหอมมะลิที่มีผลผลิตไม่เพียงพอต่อการได้ นอกจากนี้ยังสามารถผลิตข้าวขาวให้มีกลิ่นหอมเหมือนข้าวหอมมะลิ แต่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่าง ๆ กันเช่น แข็งร่วน นุ่มปานกลาง อ่อนนุ่ม ตามรสนิยมของผู้บริโภคข้าว เช่น ยุโรปและอเมริกานิยมบริโภคข้าวที่มี

ลักษณะร่วนฟูค่อนข้างแข็งและไม่เกาะติดกัน เป็นต้น เป็นการเพิ่มความหลากหลายของข้าวขาวหอมให้มากขึ้น และเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับชาวนาอีกทางหนึ่ง

ใบเตยเป็นพืชมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Pandanus amaryllifolius* Roxb. ประกอบด้วยสารหอมระเหย 2AP (Yahya *et al.*, 2010; Ngadi and Yahya, 2014) ใบเตยสดยังนำมาใช้เพื่อขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ จึงเป็นไปได้ที่จะนำสารหอม 2AP จากใบเตยมากักเก็บไว้เพื่อนำมาใช้หรือเคลือบข้าวขาวธรรมดาให้มีกลิ่นหอม การสกัดสารหอม 2AP จากใบเตย สามารถสกัดได้หลายวิธีเช่นการสกัดสารหอม 2AP แบบ supercritical extraction ด้วยสารคาร์บอนไดออกไซด์ (Yahya *et al.*, 2010; Ngadi and Yahya, 2014) การสกัดแบบซอกซ์เลต (soxhlet extraction) (Ngadi and Yahya, 2014) เป็นต้น สารหอม 2AP ที่สกัดได้แล้วนำมาทำการกักเก็บ (encapsulation) ไว้ในสารเคลือบเพื่อกักเก็บสารหอม แล้วนำสารหอมที่กักเก็บได้มาใส่ลงในข้าวขาว เพื่อช่วยให้ข้าวขาวมีกลิ่นหอมเหมือนข้าวหอมมะลิ การกักเก็บสารหอมเป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น เทคนิคที่เลือกใช้ในการกักเก็บสารหอมจะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารให้กลิ่นรสและความเสถียรของสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษาซึ่งมีอยู่หลากหลายวิธี เช่น spray drying, extrusion, fluidised bed coating, liposome entrapment และ coacervation (Madene *et al.*, 2006; Wilson and Shah, 2007; Dubey *et al.*, 2009) สารเคลือบที่ใช้ในการกักเก็บ

สารหอมจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารให้กลิ่นรส มีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากสภาวะแวดล้อม มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียร และสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการกักเก็บจะเป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีหลากหลายชนิด เช่น มอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) กัมอาราบิก (gum arabic) แป้งข้าวเจ้า (rice flour) แป้งดัดแปร (modified starch) เวย์โปรตีน (whey protein) เป็นต้น (Wilson and Shah, 2007; Winny and Rayaguru, 2010) แป้งถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบในการกักเก็บสารให้กลิ่นรสในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งมันฝรั่ง คุณสมบัติของแป้ง คือ เป็นตัวป้องกันการระเหยของสารหอมได้ ป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ เหนียว ยืดหยุ่น และสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ การใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นสารเคลือบ เช่น การนำแป้งข้าวเจ้ามากักเก็บสาร 2AP แล้วนำไปเคลือบข้าวหอมสุพรรณบุรี เพื่อศึกษาผลระหว่างการเก็บรักษา (Tulyathan et al., 2008)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการสกัดสารหอมระเหย 2AP จากใบเตยร่วมกับการกักเก็บสารหอม 2AP ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันแล้วภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอ เพื่อนำแป้งข้าวเจ้าที่กักเก็บสารหอม 2AP มาใช้เป็นสารห่อหุ้มสารหอม 2AP เคลือบลงบนข้าวขาวเพื่อเพิ่มความหอม และสามารถทดแทนข้าวหอมมะลิ ซึ่งมีกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอับความต้องการของผู้บริโภคต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชัน

นำแป้งข้าวเจ้าตรามณี (ผลิตโดยโรงงานประสพผล จังหวัดเชียงใหม่) ที่มีปริมาณอะไมโลสและสตาร์ชเท่ากับ 28.7% และ 69.9% ตามลำดับ มาผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:20 จากนั้นผสมแป้งข้าวเจ้ากับน้ำให้เข้ากัน แล้ว

ให้ความร้อนโดยใช้เครื่องให้ความร้อน (hot plate) ที่ระดับอุณหภูมิ 85-90 °C เป็นเวลา 40 นาที ระหว่างการให้ความร้อนมีการคนเป็นระยะ ๆ เพื่อไม่ให้แป้งเกาะตัวกันเป็นก้อน

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดร่วมกับการกักเก็บสารหอม 2AP ภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไวด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชัน

เตรียมใบเตยสด (ร้านในชุมชน ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่) ล้างน้ำให้สะอาด ผึ่งให้แห้งแล้วนำมามบั่นละเอียด นำใบเตยที่บั่นละเอียดปริมาณ 200 กรัมใส่ลงไปในตะแกรงด้านล่างที่ติดตั้งอยู่ในหม้อนึ่งอัดไไที่บรรจุน้ำกลั่นไว้แล้วปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร โดยตะแกรงด้านล่างจะวางสูงจากระดับน้ำประมาณ 10 เซนติเมตร จากนั้นนำแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันจากข้อที่ 1 มาใส่บนตะแกรงชั้นบนที่ติดตั้งไว้ในหม้อนึ่งอัดไไและอยู่เหนือตะแกรงใส่ใบเตยสดบั่นละเอียดประมาณ 5 เซนติเมตร จากนั้นทำการสกัดและกักเก็บสาร 2AP โดยการสกัดร่วมกับการกักเก็บสารหอม 2AP ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไไที่อุณหภูมิ 90, 100 และ 110 °C เป็นเวลา 60 นาที และเวลา 30, 60 และ 120 นาที ทำการทดลองสภาวะละ 3 ซ้ำ นำแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันหลังทำการกักเก็บสารหอม 2AP ที่สภาวะต่าง ๆ แล้ว ไปเคลือบข้าวขาวพิจิตรในอัตราส่วนโดยน้ำหนักข้าวขาวพิจิตรต่อแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการกักเก็บกลิ่นสารหอม 2AP เท่ากับ 2:1 การเคลือบทำได้โดยการผสมด้วยเครื่องผสมอาหารแบบโยก (KITCHEN AID รุ่น 5K5SS ผลิตโดยประเทศอเมริกา) ที่ระดับความเร็วต่ำที่สุด (ระดับ 1) ผสมจนข้าวขาวพิจิตรถูกเคลือบจนสม่ำเสมอด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชัน

จากนั้นนำข้าวขาวพิจิตรที่ได้ทำการเคลือบแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำข้าวขาวพิจิตรที่เคลือบสารหอม 2AP ไปวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2AP เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันมีปริมาณสารหอม 2AP มากที่สุด

3. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

นำข้าวขาวพิจิตรที่เคลือบสารหอม 2AP ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลาตินในเซชันภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอ จากข้อ 2 ที่มีปริมาณสารหอม 2AP มากที่สุดมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (สี และความแข็ง) และทดสอบทางประสาทสัมผัส (สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม) ของข้าวขาวพิจิตรเคลือบทั้งก่อนและหลังการหุงต่อไป

3.1 การวัดความแข็ง

นำตัวอย่างข้าวขาวพิจิตรเคลือบที่มีปริมาณสารหอม 2AP มากที่สุดจากข้อ 2 ก่อนและหลังหุงมาตัวอย่างละ 1 กรัม ไปวัดเพื่อหาค่าความแข็ง (hardness) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TEXTURE ANALYZER รุ่น TA-XT plus ผลิตโดยประเทศอังกฤษ) โดยใช้หัววัด P/35 ด้วยระยะทางที่หัววัดเคลื่อนที่ลงไปบนข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ประมาณ 75% ทำการวัด 3 ซ้ำ

3.2 การวัดค่าสี (L^* , a^* , b^*)

นำตัวอย่างข้าวขาวพิจิตรเคลือบที่มีปริมาณสารหอม 2AP มากที่สุดจากข้อ 2 ก่อนและหลังหุงไปวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (MINALTA CHROMA METER รุ่น CR-300 ผลิตโดยประเทศญี่ปุ่น) ซึ่งวัดสีในระบบ CIELAB โดยการนำข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ใส่ลงไปในภาชนะใส (petri dish) ปิดฝา แล้วทำการอ่านค่าสี L^* (บ่งบอกถึงความสว่างของสี) a^* (บ่งบอกถึงสีแดงหรือสีเขียว) และ b^* (บ่งบอกถึงสีเหลืองและน้ำเงิน) ทำการวัด 3 ซ้ำ

3.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการทดสอบการยอมรับหรือความพึงพอใจที่มีต่อข้าวขาวพิจิตรเคลือบที่มีปริมาณสารหอม 2AP มากที่สุดจากข้อ 2 ทั้งก่อนการหุง และหลังทำการหุง ด้วยการทดสอบแบบ hedonic scale โดยการแบ่งคะแนนออกเป็น 9 ระดับ จากความพึงพอใจมากที่สุดไปจนถึงน้อยที่สุด ความพึงพอใจมากที่สุดหรือชอบมากที่สุด เท่ากับ 9 ความพึงพอใจน้อยที่สุดหรือไม่ชอบมากที่สุด เท่ากับ 1 คุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ทำการประเมิน ได้แก่ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

4. การวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2AP

นำตัวอย่างเมล็ดข้าวขาวพิจิตรที่ผ่านการเคลือบและไม่เคลือบสารหอม 2AP มาบดละเอียด และบรรจุลงในขวดตัวอย่าง (headspace vial) ปริมาณ 1 กรัม ทำการเติมสารมาตรฐานภายใน 2,6-ไดเมทิลพิริดีน (2,6-DMP) แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารหอม 2AP ด้วยเทคนิคเฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี (HS-GC) ตามวิธีของ Sriseadka *et al.* (2006) ซึ่งการวิเคราะห์นี้ทำได้โดยนำโครมาโทแกรมที่ได้จากแต่ละตัวอย่างข้าวขาวพิจิตรเคลือบมาหาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานภายใน 2,6 DMP นำอัตราส่วนที่คำนวณได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Sriseadka *et al.* (2006) ซึ่งกราฟมาตรฐานนี้จะพล็อตระหว่างอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้พีคของสารหอม 2AP ที่ทราบปริมาณที่แน่นอน กับพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานภายใน 2,6 DMP จะทำให้สามารถหาปริมาณของสารหอม 2AP ใน headspace ของตัวอย่างข้าวขาวพิจิตรเคลือบและไม่เคลือบได้ จากนั้นทำการเปรียบเทียบปริมาณสารหอม 2AP ของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP กับข้าวขาวหอมมะลิ 105 ของศูนย์วิจัยข้าวเชียงใหม่ ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab และ SPSS Version 17.0 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดและการกักเก็บสารหอม 2-Acetyl-1-Pyrroline ภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอ

สภาวะที่ใช้ในการสกัดและการกักเก็บสารหอม 2AP จากใบเตยด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลาตินในเซชันภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอ ได้แก่อุณหภูมิในการสกัดและการกักเก็บสารหอม 2AP เท่ากับ 90, 100 และ

110 °C และเวลาในการสกัดและการกักเก็บสารหอม 2AP เท่ากับ 30, 60 และ 120 นาที สารหอม 2AP ที่สกัดได้จะถูกกักเก็บไว้ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตีในเซชัน แล้วนำแป้งข้าวเจ้าที่กักเก็บสารหอม 2AP นี้ไปเคลือบลงบนข้าวขาวพิจิตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC เพื่อหาระดับปริมาณสารหอม 2AP ของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม ผลการวิเคราะห์พบว่าไม่สามารถบอกเป็นปริมาณสาร 2AP ในรูปของความเข้มข้นในหน่วย ppb หรือ ppm ได้ เนื่องจากสารมาตรฐานภายใน 2,6 DMP ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสาร 2AP อาจถูกรบกวนจากแป้งข้าวเจ้าที่เคลือบข้าวขาวพิจิตรไว้ ทำให้ไม่สามารถหาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้พีคของสารหอม 2AP (peak area of 2AP) ของตัวอย่างข้าวกับพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานภายใน 2,6 DMP ส่งผลให้ไม่สามารถคำนวณหาอัตราส่วนดังกล่าวเพื่อนำไปเทียบกับกราฟมาตรฐานในการหาปริมาณสาร 2AP ได้ ขณะที่ข้าวขาวหอมมะลิ 105 ของศูนย์ข้าวเชียงใหม่ สามารถหาพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานภายใน 2,6 DMP โดยมีความเข้มข้นของสารหอม 2AP เฉลี่ยเท่ากับ 3.06 ± 0.06 ppm ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงแสดงได้เพียงระดับความหอมของสาร 2AP โดยระดับความหอมมากและหomon้อยของสารหอม 2AP ที่สกัดได้จะอยู่ในรูปของพื้นที่ใต้พีคของสารหอม 2AP ถ้าพื้นที่ใต้พีคของสารหอม 2AP มาก แสดงถึงระดับความ

หอมของสาร 2AP ที่มากหรือสกัดสารหอม 2AP จากใบเตยออกมาเก็บไว้ในแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตีในเซชันได้มาก Ngadi and Yahya (2014) ได้ศึกษาการสกัดสารหอม 2AP จากใบเตยด้วยการสกัดแบบชอกห์เลต โดยใช้ตัวทำละลายเมทานอล เอทานอล และโพรพานอล แล้วทำการวิเคราะห์สารหอม 2AP ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีและแมสสเปกโตรสโกปี (Gas Chromatography-Mass Spectroscopy, GC-MS) โดยใช้ตัวทำละลายที่สกัดสารหอม 2AP ได้ดีกว่าจะแสดงจากโครมาโตแกรมที่มีพีคของสารหอม 2AP สูงกว่าผลการทดลองพบว่าเอทานอลสามารถสกัดสารหอม 2AP ได้ดีกว่าเมทานอลเนื่องจากมีพีคของสารหอม 2AP สูงกว่า ขณะที่โครมาโตแกรมของสารสกัดด้วยโพรพานอลไม่พบพีคของสารหอม 2AP

ผลของระดับปริมาณสารหอม 2AP ของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ของงานวิจัยนี้ พิจารณาจากพื้นที่ใต้พีคของสารหอม 2AP ที่ได้จากสภาวะต่าง ๆ ในการสกัดและการกักเก็บสารหอม 2AP จากใบเตยด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตีในเซชันภายใต้สภาวะหมอนึ่งอัดไอ แสดงดังภาพที่ 1

จากภาพที่ 1 แกน y คือพื้นที่ใต้พีคของสารหอม 2AP ของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ซึ่งแสดงระดับความหอมของปริมาณสารหอม 2AP ผลการ

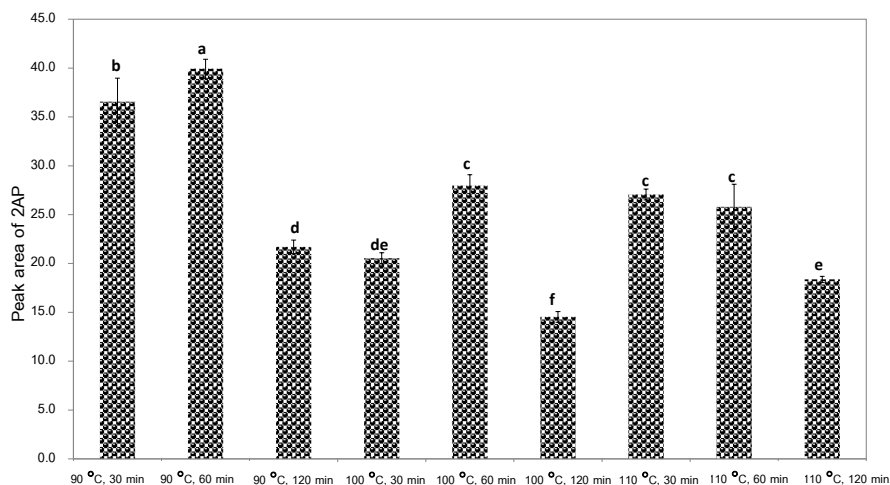


Figure 1. The peak area of 2AP represented as 2AP levels of fragrance of the Phichit rice coated with aroma compound 2AP obtained from extraction combined with encapsulation of 2AP from pandan leaves using gelatinized rice flour under autoclave conditions (different letters on top of bar graph are significantly different ($P < 0.05$))

วิเคราะห์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเพื่อกักเก็บสารหอม 2AP ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันเพื่อนำมาเคลือบข้าวขาวพิจิตรแล้วทำให้ข้าวขาวพิจิตรมีปริมาณสารหอม 2AP มากที่สุดคือที่อุณหภูมิ 90 °C (10 Psi) เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งเห็นได้จากพื้นที่ใต้พีคของสาร 2AP ที่มีค่ามากที่สุด แสดงว่ามีระดับความหอมของสารหอม 2AP ที่สกัดและกักเก็บได้มากที่สุด ด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้นของแป้งข้าวที่ผ่านการเจลลิตในเซชันจึงมีโอกาสดังกักเก็บสารหอม 2AP ไว้ได้ อีกทั้งปริมาณอะไมโลสจากแป้งที่เกิดการเจลลิตในเซชันยังมีความสามารถในการจับสารหอม 2AP ได้เช่นกัน (Leelayuthsoontorn and Thipayarat, 2006; Yahya *et al.*, 2011) โดยภาพที่ 2-5 แสดงการเปรียบเทียบจากภาพถ่าย SEM ในลักษณะปรากฏเป็นภาพตัดขวางของข้าวขาวพิจิตรไม่เคลือบ (ชุดควบคุม) และเคลือบสารหอม 2AP ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันภายใต้สภาวะการสกัดและกักเก็บสารหอม 2AP จากใบเตยในหม้อนึ่งอัดไอที่อุณหภูมิ 90, 100 และ 110 °C และเวลา 60 นาที ตามลำดับ พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะไม่แตกต่างกัน แต่ที่บริเวณขอบของภาพตัดขวางของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP พบว่าความหนาของแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันและกักเก็บ

สารหอม 2AP จากสภาวะการสกัดและกักเก็บสารหอม 2AP จากใบเตยในหม้อนึ่งอัดไอที่อุณหภูมิ 90 °C และเวลา 60 นาที ที่เคลือบลงบนข้าวขาวพิจิตรมีมากกว่าความหนาของแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันและกักเก็บสารหอม 2AP จากสภาวะการสกัดและกักเก็บสารหอม 2AP จากใบเตยในหม้อนึ่งอัดไอที่อุณหภูมิ 100 และ 110 °C และเวลา 60 นาที จึงเป็นไปได้ว่าปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่ผิวเคลือบมากจะสามารถกักเก็บสารหอม 2AP ได้มากกว่า ดังนั้นที่สภาวะการสกัดและกักเก็บสารหอม 2AP ที่อุณหภูมิ 90 °C และเวลา 60 นาที ช่วยให้แป้งข้าวเจ้าที่เคลือบข้าวขาวพิจิตรกักเก็บสารหอม 2AP ได้มากส่งผลให้ข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2P มีระดับปริมาณสารหอม 2AP มากที่สุด

จากผลการทดลองการสกัดและกักเก็บสารหอม 2AP จากใบเตยด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันด้วยหม้อนึ่งอัดไอที่สภาวะต่าง ๆ ข้างต้น (ดังภาพที่ 3-5) นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟของ 2AP ที่แสดงถึงระดับปริมาณสารหอม 2AP และอุณหภูมิและเวลาในการสกัดและกักเก็บสารหอม 2AP จากใบเตยด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตในเซชันในหม้อนึ่งอัดไอ แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (1)

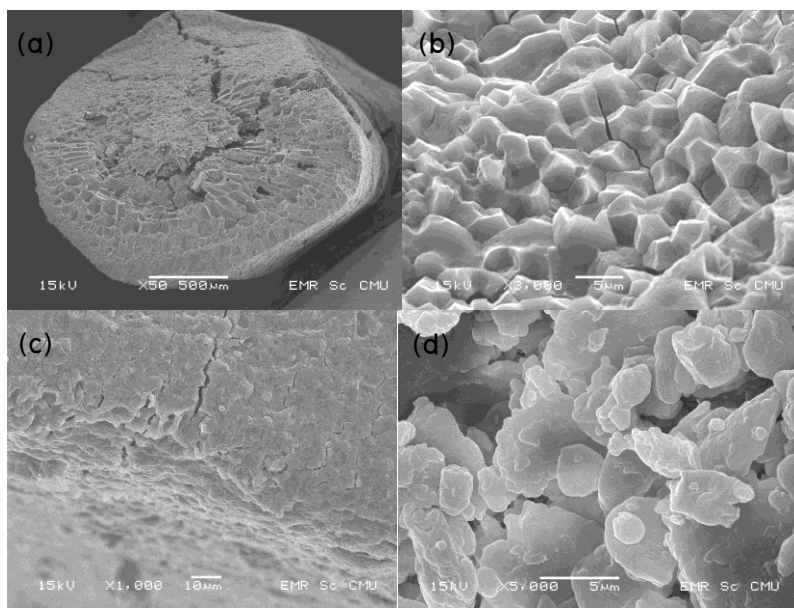


Figure 2. Cross sectional SEM images of the Pichit rice (without coating of aroma compound 2AP) at a magnitude of (a) 50 (b) 3,000 (c) 1,000 (d) 5,000 times

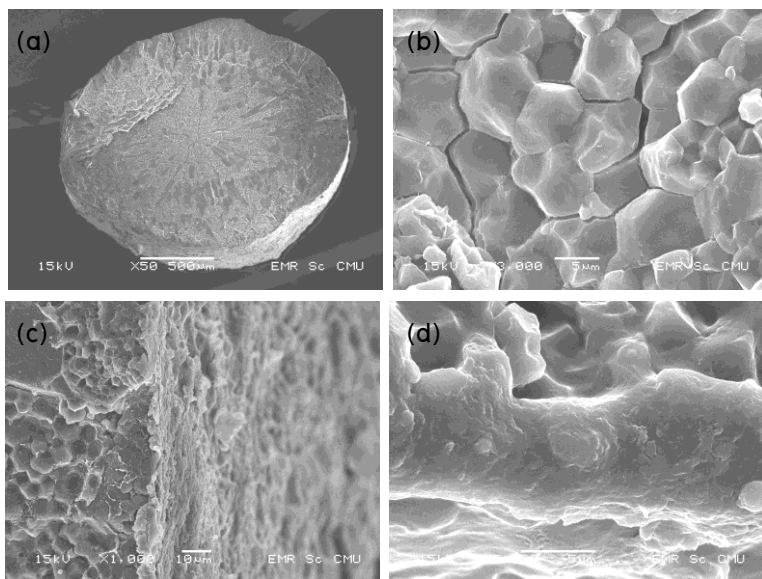


Figure 3. Cross sectional SEM images of the Phichit rice coated with the gelatinized rice flour encapsulating aroma compound 2AP obtained from extraction combined with encapsulation of 2AP from pandan leaves under autoclave condition at 90 °C and 60 min at a magnitude of (a) 50 (b) 3,000 (c) 1,000 (d) 5,000 times

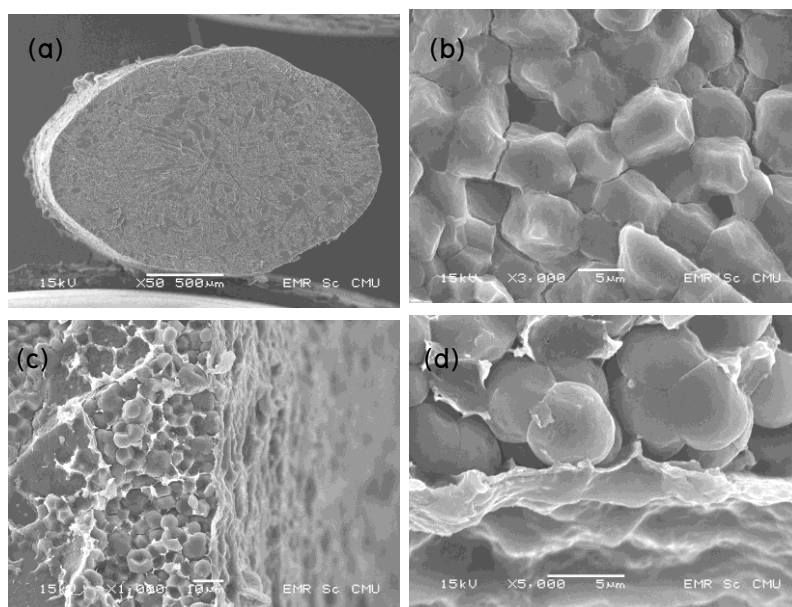


Figure 4. Cross sectional SEM images of the Phichit rice coated with the gelatinized rice flour encapsulating aroma compound 2AP obtained from extraction combined with encapsulation of 2AP from pandan leaves under autoclave condition at 100 °C and 60 min at a magnitude of (a) 50 (b) 3,000 (c) 1,000 (d) 5,000 times

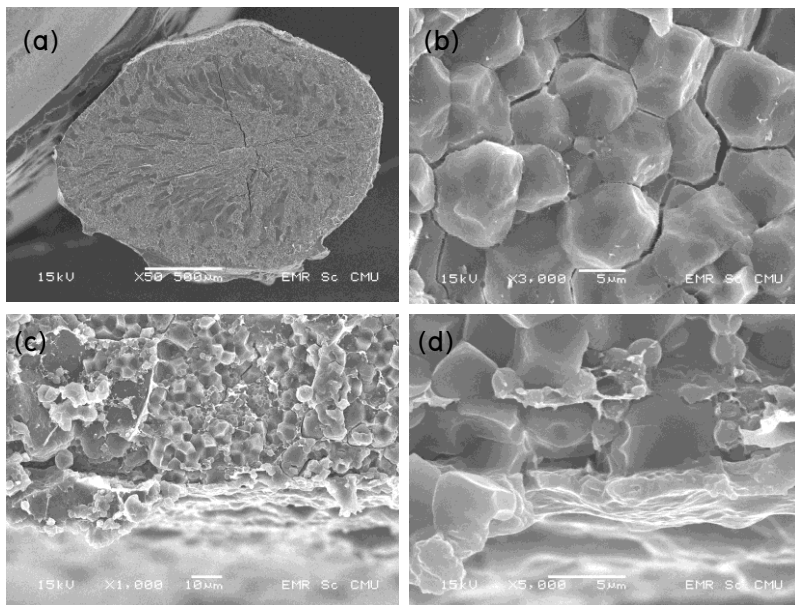


Figure 5. Cross sectional SEM images of the Phichit rice coated with the gelatinized rice flour encapsulating aroma compound 2AP obtained from extraction combined with encapsulation of 2AP from pandan leaves under autoclave condition at 110 °C and 60 min at a magnitude of (a) 50 (b) 3,000 (c) 1,000 (d) 5,000 times

พื้นที่ใต้กราฟของ 2AP แสดงถึงระดับปริมาณสารหอม

$$2AP = 781.319 - 14.9050(Temp) + 0.429074(time) + 0.0722778(Temp)^2 - 0.00359053(time)^2$$

$$(R^2 = 0.833) \quad (1)$$

เมื่อ Temp คืออุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดและกักเก็บสารหอม 2AP (°C) และ time คือเวลาที่ใช้ในการสกัดและกักเก็บสารหอม 2AP (นาที)

การศึกษาลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP

นำข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ที่มีปริมาณสารหอม 2AP มากที่สุดที่สภาวะการสกัดและการกักเก็บสารหอม 2AP จากใบเตยด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลาตินในเซชันภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอ ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 60 นาที มาศึกษาหาลักษณะปรากฏของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ทั้งก่อนและหลังการหุง (ภาพที่ 6)

จากภาพที่ 6 พบว่าลักษณะปรากฏของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ที่ได้ก่อนทำการหุงจะจับตัวเป็นก้อน ไม่เรียงเม็ดเหมือนข้าวขาวพิจิตรธรรมดาที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบสารหอม 2AP โดยค่าสี L^* , a^* และ b^* ของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ดังกล่าวก่อนการหุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 68.97 ± 1.11 , -0.63 ± 0.08 และ 9.34 ± 0.65 ตามลำดับ สำหรับค่าความแข็ง (hardness) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.42 ± 7.58 kg, ขณะที่ข้าวขาวพิจิตรที่ไม่ได้เคลือบสารหอม 2AP ก่อนหุงมีค่าสี L^* , a^* และ b^* เฉลี่ยเท่ากับ 73.49 ± 1.21 , -1.00 ± 0.12 และ 11.26 ± 0.78 ตามลำดับ และค่าความแข็งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.45 ± 3.76 kg,

สำหรับลักษณะปรากฏของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ที่มีปริมาณสารหอม 2AP มากที่สุด (ที่อุณหภูมิและเวลาในการสกัดและกักเก็บสารหอม 2AP ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลาตินในเซชันภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอเท่ากับ 90 °C และ 60 นาที ตามลำดับ) หลังผ่านการหุง (ภาพที่ 7) พบว่า

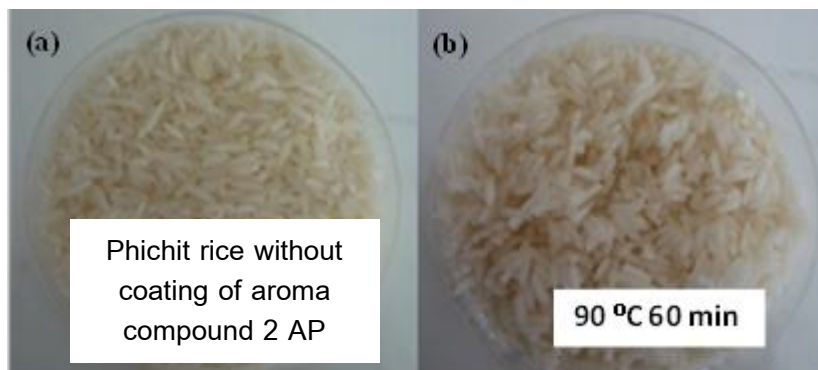


Figure 6. Samples of the Phichit rice (a) without coating of aroma compound 2AP (b) with coating of aroma compound 2AP obtained from extraction combined with encapsulation of 2AP from pandan leaves using gelatinized rice flour under autoclave condition at 90 °C and 60 min (before cooking)

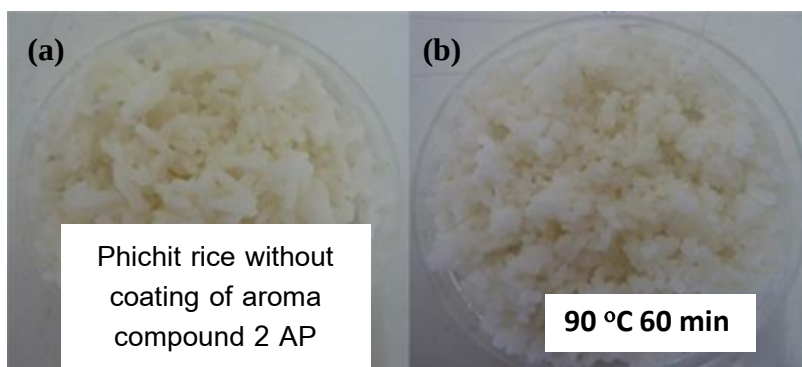


Figure 7. Samples of the Phichit rice (a) without coating of aroma compound 2AP (b) with coating of aroma compound 2AP obtained from extraction combined with encapsulation of 2AP from pandan leaves using gelatinized rice flour under autoclave condition at 90 °C and 60 min (after cooking)

ข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP หลังผ่านการหุง เมล็ดข้าวหัก และเกาะกันเป็นก้อน โดยค่าสี L^* , a^* และ b^* ของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP หลังผ่านการหุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.90 ± 1.36 , -1.15 ± 0.08 และ 3.27 ± 0.24 ตามลำดับ ขณะที่ค่าความแข็งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.99 ± 1.02 kg สำหรับข้าวขาวพิจิตรที่ไม่ได้เคลือบสารหอม 2AP หลังหุงเมล็ดข้าวไม่หักและเรียงตัวกันได้ดีกว่า โดยมีค่าสี L^* , a^* b^* และค่าความแข็งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 65.16 ± 1.75 , -1.14 ± 0.10 , 4.10 ± 0.63 และ 9.74 ± 0.89 kg ตามลำดับ

การประเมินทางประสาทสัมผัสของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตีในเซชันภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอน้ำที่ 90 °C เป็นเวลา 60 นาที ก่อนและหลังหุง แสดงดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่าก่อนทำการหุงข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลิตีในเซชันภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอน้ำที่ 90 °C เป็นเวลา 60 นาที มีคะแนนความชอบด้านสี และความชอบโดยรวมน้อยกว่าข้าวขาวพิจิตรที่ไม่ผ่านการเคลือบสารหอม 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างจากกับข้าวขาวพิจิตรที่ไม่ผ่านการเคลือบสารหอม 2AP และเมื่อนำข้าว

Table 2. Sensory evaluation of the Phichit rice with and without coating of aroma compound 2AP obtained from extraction combined with encapsulation of 2AP from pandan leaves using gelatinized rice flour under autoclave condition at 90 °C and 60 min (before and after cooking)

Types of rice	Before cooking			After cooking			
	Color	Flavor	Over liking	Color	Flavor	Texture	Over liking
Phichit rice with coating of aroma compound 2AP	5.51 ± 1.58 ^b	5.65 ± 1.35 ^a	5.80 ± 1.30 ^b	6.37 ± 1.20 ^a	6.12 ± 1.36 ^a	5.70 ± 1.27 ^a	5.90 ± 0.98 ^a
Phichit rice without coating of aroma compound 2AP	6.80 ± 1.39 ^a	5.60 ± 1.35 ^a	6.72 ± 1.24 ^a	6.85 ± 1.30 ^a	5.85 ± 1.39 ^a	5.58 ± 1.67 ^a	6.30 ± 1.40 ^a

Different letters in the same column denote significantly difference at $P < 0.05$

ข้าวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ไปหุงพบว่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีค่าไม่แตกต่างกับข้าวขาวพิจิตรที่ไม่ผ่านการเคลือบสารหอม 2AP (หลังหุง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สรุป

การศึกษาการสกัดและการกักเก็บสารหอม 2AP จากใบเตยด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลาตินในเซชันภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดและกักเก็บสารหอม 2AP จากใบเตยด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลาตินในเซชันเพื่อนำแป้งข้าวเจ้ากักเก็บสารหอม 2AP ที่ได้ไปเคลือบบนข้าวขาวพิจิตรแล้วทำให้ข้าวขาวพิจิตรมีระดับความหอมของสารหอม 2AP มากที่สุดคือที่ อุณหภูมิ 90 °C (10 Psi) และเวลา 60 นาที ข้าวขาวพิจิตรที่เคลือบสารหอม 2AP ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลาตินในเซชันภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอที่สภาวะที่เหมาะสมก่อนการหุงมีค่าสี L^* , a^* และ b^* มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 68.97 ± 1.11 , -0.63 ± 0.08 และ 9.34 ± 0.65 ตามลำดับ และมีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 24.42 ± 7.58 kg, ขณะที่ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP หลังผ่านการหุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.90 ± 1.36 , -1.15 ± 0.08 และ 3.27 ± 0.24 ตามลำดับ และค่าความแข็งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.99 ± 1.02 kg, จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าคะแนนความชอบด้านสี และความชอบโดยรวมของข้าวขาวพิจิตรเคลือบสารหอม 2AP ด้วยแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจล

ลาตินในเซชันภายใต้สภาวะหม้อนึ่งอัดไอที่ 90 °C เป็นเวลา 60 นาที ก่อนทำการหุงมีค่าต่ำกว่าข้าวขาวพิจิตรที่ไม่ผ่านการเคลือบสารหอม 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่คะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างจากกับข้าวขาวพิจิตรที่ไม่ผ่านการเคลือบสารหอม 2AP แต่หลังจากการหุงแล้วคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของข้าวขาวพิจิตรที่เคลือบสารหอม 2AP มีค่าไม่แตกต่างกับข้าวขาวพิจิตรที่ไม่ผ่านการเคลือบสารหอม 2AP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามงานวิจัยจะต้องหาวิธีการที่จะวัดปริมาณสารหอม 2AP ในรูปของความเข้มข้นในหน่วย ppb หรือ ppm และศึกษาอายุการเก็บรักษาข้าวขาวเคลือบสารหอม 2AP รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บสารหอม 2AP ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- วนิดา วัฒนพ่ายกุล. 2558. ผลของน้ำส้มควันไม้และปุ๋ยคอกต่อการเจริญเติบโตผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ของข้าวหอมมะลิ. วารสารเกษตร 31(3): 269-279.
- ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. สถิติการค้าสินค้าเกษตรไทยกับต่างประเทศปี 2557. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2557. รายงานสถานการณ์สินค้าเกษตรปี

- 2557 และแนวโน้มปี 2558. ส่วนเศรษฐกิจภาคสำนักงานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ธนาคารแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 24 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=17309&filename=index (3 พฤศจิกายน 2558).
- อภิสร ศรีสายหยุด และ อภินันท์ สุทธิธรรวัช. 2554. การเตรียมผงแป้งที่ถูกเชื่อมขวางโมเลกุลผ่านการอบแห้งแบบปั่นฝอย. การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21. ระหว่างวันที่ 10-11 พฤศจิกายน 2554. อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.
- Buttery, R.G., L.C. Ling, B.O. Juliano and J.G. Turnbaugh. 1983. Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 31: 823-826.
- Dubey, R., T.C. Shami and K.U. Bhasker Rao. 2009. Microencapsulation technology and applications. *Defence Science Journal* 59: 82-95.
- Leelayuthsoontorn, P. and A. Thipayarat. 2006. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. *Food Chemistry* 96: 606-613.
- Madene, A., M. Jacquot, J. Scher and S. Desobry. 2006. Flavor encapsulation and controlled release-a review. *International Journal of Food Science & Technology* 41: 1-21.
- Mahatheeranont, S., S. Keawsa-ard and K. Dumri. 2001. Quantification of the rice aroma compound, 2-Acetyl-1-pyrroline, in Uncooked Khao Dawk Mali 105 brown rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 773-779.
- Ngadi, N. and N.Y. Yahya. 2014. Extraction of 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) in pandan leaves (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) via solvent extraction method: effect of solvent. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* 67(2): 51-54.
- Srisedadka, T., S. Wongpornchai and P. Kitsawatpaiboon. 2006. Rapid method for quantitative analysis of the aroma impact compound, 2-acetyl-1-pyrroline, in fragrant rice using automated headspace gas chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 8183-8189.
- Tulyathan, V., N. Srisupattarawanich and A. Suwanagul. 2008. Effect of rice flour coating on 2-acetyl-1-pyrroline and n-hexanal in brown rice cv. Jao Hom Supanburi during storage. *Postharvest Biology and Technology* 47: 367-372.
- Wilson, N. and N.P. Shah. 2007. Microencapsulation of vitamins. *ASEAN Food Journal* 14(1): 1-14.
- Winny, R. and K. Rayaguru. 2010. Chemical constituents and post-harvest prospects of *Pandanus amaryllifolius* leaves: a review. *Food Reviews International* 26: 230-245.
- Yahya, F., T. Lu, R.C.D. Santos, P.J. Fryer and S. Bakalis. 2010. Supercritical carbon dioxide and solvent extraction of 2-acetyl-1-pyrroline from pandan leaf: the effect of pre-treatment. *Journal of Supercritical Fluids* 55: 200-207.
- Yahya, F., P.J. Fryer and S. Bakalis. 2011. The absorption of 2-acetyl-1-pyrroline during cooking of rice (*Oryza sativa* L.) with pandan (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) leaves). *Procedia Food Science* 1: 722-728.



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 300 บาท

☐ สมาชิก 2 ปี ตั้งแต่ปี..... อัตราค่าสมาชิก 600 บาท

☐ สมาชิก 5 ปี ตั้งแต่ปี..... อัตราค่าสมาชิก 1,500 บาท

พร้อมนี้ข้าพเจ้าได้จัดส่ง ☐ ธนาณัติ ☐ โอนเงิน ☐ เงินสด มูลค่า.....บาท

☐ ธนาณัติสั่งจ่ายในนาม : คุณลลิตยา นุ่มมีศรี

ที่ทำการประโยชน์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50202

☐ โอนเงินเข้าบัญชีออมทรัพย์ ธนาคารกรุงไทย สาขามหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ชื่อบัญชี Journal of Agriculture Chiangmai University เลขที่บัญชี 456-0-18544-1

พร้อมแฟกซ์หลักฐานการโอนเงิน มายังหมายเลขโทรศัพท์ 053-944040 ต่อ 12 หรือสแกนส่งทาง

e-mail : agjournal22@gmail.com

หมายเหตุ :

1. ส่งใบบอกรับเป็นสมาชิกวารสารเกษตรไปที่ : กองบรรณาธิการวารสารเกษตร งานบริหารงานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50202
2. ท่านที่ประสงค์จะส่งชื่อวารสารฉบับย้อนหลัง สามารถส่งชื่อได้ในราคาฉบับละ 100 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)
- ดัวย่อ ให้ใช้อักษรตัวใหญ่ทั้งหมด และควรมีคำเต็มบอกไว้ในการใช้ครั้งแรก
(randomized complete block design, RCBD)
- หัวข้อเรื่อง ให้ขึ้นด้วยอักษรตัวใหญ่
Abstract, Introduction
- คำแรกทีตามหลัง คำสำคัญ ให้ขึ้นต้นด้วยอักษรตัวใหญ่
Keywords : Mango, chlorophyll

การส่งเรื่องเพื่อตีพิมพ์

ให้ส่งบทความ Online เท่านั้น ได้ที่

<http://web.agri.cmu.ac.th/agjournal/submission/>

การบอกรับเป็นสมาชิก

บอกรับเป็นสมาชิกได้จากใบบอกรับเป็นสมาชิกท้ายเล่ม หรือติดต่อกองบรรณาธิการโดยตรง

การตอบรับบทความ

บทความทุกบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารเกษตร ต้องผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่น้อยกว่า 2 ท่าน

** กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจและแก้ไขบทความที่เสนอเพื่อการตีพิมพ์ในวารสารเกษตร

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

สำนักงานและการติดต่อ (Office and Inquiries)

กองบรรณาธิการวารสารเกษตร

งานบริหารงานวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ 50200

โทร. 0 5394 4089-92 ต่อ 12

โทรสาร 0 5394 4089-92 ต่อ 12

Editorial Board, Journal of Agriculture,

Division of Research and International Affairs, Chiang Mai University, Chiang Mai

50200, Thailand

Tel: 0 5394 4089-92

Fax: 0 5394 4666

E-mail: agjournal22@gmail.com

JOURNAL OF AGRICULTURE

A Technical Journal of Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

Volume 33, Issue 2 May - August 2017

Comparison of Quality and Biochemical Compositions of Organic Arabica Coffee Bean Grown at Different Elevations Wannapa Dechkruth and Daruni Naphrom.....	163
Effects of GA3, NAA and Brassin-like Substance (BS) on Size and Weight of Rambutan Fruit (<i>Nephelium lappaceum</i> L. cv. Rongrian) Panita Sukho, Sutisa Chaikul, Nongnuch Chanasit and Tanachai Pankasemsuk.....	175
Cells Disruption Methods for Lipid Extraction from Microalgae Phakamat Chitchuea, Patiruj Jirakranwong and Orn-u-ma Tanadul.....	185
Field Assessment of Allelopathy Properties of <i>Rottboellia cochinchinensis</i> on Growth Inhibition of Weeds Apirat Bundit and Tosapon Pornprom.....	193
Antagonistic Potential of Endophytic Actinomycetes Isolated from Rice to Control Rice Seedling Blast Napaphop Kaewkanta and Kaewalin Kunasakdakul.....	203
Effects of Leonardite on Soil Quality and Rice Yield Improvements Chanyut Ratanaprommanee, Kawiporn Chinachanta and Arawan Shutsrirung.....	215
Effects of Slow-release Fertilizer on Growth, Yield, and Seed Qualities of Field Corn in Tak Province Choochad Santasup and Kanokwan Noppan.....	225
Pesticide Application Behaviors in Tomato Production of Farmers in Sakon Nakhon Province Nuttawut Kutrasaeng, Panuphan Prapatigul and Niwat Martwanna.....	235
Comparison of Quality and Immunity between Thai Native and Crossbred Pigs in Colostrum and Milk Chanhmany Souphannavong and Korawan Sringarm.....	245
Effect of Shelter Materials on Survival Rate in Giant Freshwater Prawn (<i>Macrobrachium rosenbergii</i> de Man) Methawee Rodmongkoldee, Wattana Leelapat and Nantaporn Sutthi.....	257
Product Development of Holy-basil Flavored Chicken Jerky Sirilada Kailomsom.....	267
Primary Prebiotic Properties of Thai White Pork Sausage (Moo-yor) Supplemented with Fructooligosaccharide Extracted from Onion (<i>Allium cepa</i> L.) and Chicory Root Suttiporn Nanti, Pairote Wongputtisin, Ni-orn Chomsri, Somkid Deejing and Piyanuch Niamsup.....	277
Substitution of Wheat Flour with Pregelatinized Brown Rice Flour in Crispy Cracker Patcharee Dangdoung and Supanee Danviriyakul.....	291
Extraction Combined with Encapsulation of 2-Acetyl-1-Pyrroline from Pandan Leaves Using Gelatinized Rice Flour Under Autoclave Conditions for Coating Pichit Rice Rattana Muangrat, Jaruwan Jindakul and Woranut Inpanpol.....	299

ISSN 0857-0841

TCI กลุ่มที่ 1