



วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ

JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND MANAGEMENT
วารสารวิชาการของคณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2569

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรียนของเกษตรกร ตำบลสันทะ อำเภอนาน้อย จังหวัดน่าน อัครวิภา โตนะโพ นาริรัตน์ สิริสาร และปรีชาดิ ดิษฐกิจ.....	5
การประเมินผลสัมฤทธิ์โครงการส่งเสริมและพัฒนาการปลูกสัตว์ภาคได้ขยายแดนของกลุ่มสหกรณ์โคนมเมืองนารอ จังหวัดนราธิวาส ทวนธง ครูทจอน.....	15
ผลของสารละลายน้ำตาลซูโครสและการบรรจุแบบสุญญากาศต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะขังเยือกแข็ง จิตพร คงทอง จันทิรา วงศ์เขียว จุฑาภรณ์ ลิ้มสุวรรณมณี และณฤมล มีบุญ.....	27
ความต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่มในหญ้าข้าววนก้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าว จิราพร อินเต็ม จำเนียร ชมภู และทศพล พรพรหม.....	39
เปรียบเทียบความเข้มข้นของ IAA ต่อการเจริญเติบโตและออกรากของท่อนพันธุ์ปักชำมันเลือด อนุสรณ์ จปศรี และณพรัตน์ ไพรโรจน์.....	49
ผลของสารกำจัดวัชพืช 2,4-ดี-ไดเมทิลแอมโมเนียม ต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดนครราชสีมา บุญทริก จิมชาติ จิตรา เกาะแก้ว อำนาจ เข้มมิวิจารณ์ กนกอร บุญพา สนธยา ขำดีบ มนต์ชัย มนต์สิลา จันทิมา ผลทอง และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย.....	58
ผลของโภชนาที่เพียงพอได้ทั้งหมดในอาหารชั้นสูตรทางการค้าต่อสมรรถภาพการผลิต ลักษณะซาก และต้นทุนค่าอาหารในการขุนโคนม เพศผู้ตอน อัญชลี คงประดิษฐ์ คงปฐม กาญจนเสริม ประหยัด ทิราวงศ์ วัชรภรณ์ บุญแสน มณีสร์ ศรีสุภา โสภิตา บัวบาน ปาริชาติ กรวยทรัพย์ บุญบา แก้วโกมุท และสุริยา สะวานนท์.....	70
การประเมินความแปรปรวนทางพันธุกรรมและความสามารถในการรวมตัวของลักษณะการทนแล้งในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ณัฏฐา ดลระมาน และปัทมา หาญนอก.....	82
การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน อัครวิภา สันธพานินท์ ชัยสิทธิ์ ทองจุ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และอัครวิภา พรหมเมืองคูก.....	93
ปริมาณสารฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในอ้อยดำสมุนไพโร ศิริพรรณ สุขขัง นงลักษณ์ เทียนเสรี สมนึก พรหมแดง ปฏิวดี สุขกุล อภิวิญญู ทรงกระสินธุ์ และอนุรักษ อนุรักษ์นาค.....	105
ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเพิ่มปริมาณยอดที่อุดมและการชักนำรากของบุกไข่ (<i>Amorphophallus muelleri</i> Blume) เสาวนีย์ สาโรจน์ นิพิจ พินิจผล และพีทศน์ อุณจิตตพันธ์.....	118
การพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกมะพร้าวและผลิตภัณฑ์ของประเทศไทยด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ชิดชนก เล็กขาว เอลิมพล จตุพร และวสุ สุวรรณวิหค.....	127
ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียว อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม พัชรพรพรรณ คูหาบุษ สนธยา ลำภาทอง และรพี ดอกไม้เทศ.....	137
ผลของเอพิฟอนต่อการสุกและคุณภาพของผลกาแฟอาราบิก้าในจังหวัดเชียงใหม่ อำพล สอนสระเกษ ศพพัฒน์ สาขุณ ภาวนา ชมภูวงษ ราเชนทร โคครวญ ธนะภูมิ เหล่าจันตา และนพพร บุญปลอด.....	148
ผลของการใช้ถ่านชีวภาพจากเศษไม้แปรรูป ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค วันวิสาข์ วัฒนะพันธ์ศักดิ์ ณัฏฐา ศรีหิรัญ ธรรมธวัช แสงงาม ไยใหม่ ช่วยหนู และพงษ์เพชร พงษ์ศิริวาทย์.....	157

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

การเตรียมต้นฉบับ

1. ภาษา เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ

2. การพิมพ์ พิมพ์หน้าเดียวบนกระดาษ A4 ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์โปรแกรม ไมโครซอฟต์เวิร์ด ตัวอักษร Cordia New ขนาด 14 ขนาด 14 ตัวอักษรต่อนิ้ว ความยาวไม่ควรเกิน 10 หน้า (รวมบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)

3. การเรียงลำดับเนื้อหา

3.1 ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น ชัดเจน และต้องสื่อเป้าหมายหลักของการศึกษาวิจัย ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

3.2 ชื่อผู้เขียนและหน่วยงานที่สังกัด (Author names and affiliations) ชื่อผู้เขียน ให้ใช้ชื่อเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ หากผู้เขียนมีหลายคน และมีที่อยู่หรือสังกัดแตกต่างกัน ให้ใช้เลขด้วยยก (superscript) ที่ต่างกัน กำกับไว้ท้ายนามสกุลของผู้เขียนที่มีที่อยู่ต่างกันนั้น หากมีผู้เขียนคนเดียว หรือหลายคนที่มีที่อยู่หรือสังกัดเดียวกัน ไม่ต้องใช้เลขด้วยยกกำกับท้ายนามสกุลของผู้เขียน และให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับไว้ท้ายนามสกุลของผู้เขียนที่ให้ติดต่อ (corresponding author) ด้วย

ที่อยู่หรือสังกัดของผู้เขียน ให้พิมพ์เป็นเชิงอรรถ (footnote) ในหน้าแรกของบทความ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ พร้อมกับระบุจังหวัด และรหัสไปรษณีย์ หากที่อยู่มีหลายแห่งให้พิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่แห่งแรกก่อน แล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ จากนั้นพิมพ์ภาษาไทยของที่อยู่แห่งที่สองแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษ สลับกันในลักษณะนี้เรื่อยไป ในกรณีผู้เขียนเป็นนิสิตนักศึกษา ให้ระบุที่อยู่ตามที่อยู่หรือสังกัดของอาจารย์ที่ปรึกษาเท่านั้น นอกจากนี้บรรทัดถัดจากที่อยู่ ให้พิมพ์ที่อยู่อีเมล (email address) ของผู้เขียนที่ให้ติดต่อ (corresponding author) ด้วย

3.3 บทคัดย่อ (Abstract) มีทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ ควรมีเนื้อหาที่สั้น ชัดเจนและเข้าใจง่าย โดยรวมเหตุผลในการศึกษาวิจัย อุปกรณ์ วิธีการ ตลอดจนผลการศึกษาและสรุปด้วย บทคัดย่อควรมีความยาวไม่เกิน 250 คำ และให้ระบุคำสำคัญ (keywords) ไว้ท้ายบทคัดย่อแต่ละภาษาด้วย คำสำคัญไม่ควรเกิน 5 คำ ให้ใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นคำสำคัญแต่ละคำทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับคำสำคัญภาษาอังกฤษให้ขึ้นต้นอักษรตัวแรกของแต่ละคำด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ และจัดเรียงคำภาษาอังกฤษตามลำดับตัวอักษร คำสำคัญภาษาไทยให้ให้จัดเรียงลำดับตามความหมายที่ตรงกับคำภาษาอังกฤษ และไม่ควรซ้ำซ้อนกับคำที่ปรากฏในชื่อเรื่อง ต้นฉบับที่เป็นภาษาไทยให้พิมพ์บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษก่อน บทคัดย่อภาษาไทย หากต้นฉบับเป็นภาษาอังกฤษ ให้พิมพ์บทคัดย่อภาษาไทยก่อนบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

3.4 คำนำ (Introduction) แสดงความเป็นมาและเหตุผลที่นำไปสู่การศึกษาวิจัย รวมถึงการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง และวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

3.5 อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods) ให้บรรยายละเอียดของวัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ ในการทดลอง ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ และแบบจำลองการศึกษาวิจัยที่ชัดเจนและสมบูรณ์

3.6 ผลการศึกษาหรือผลการทดลอง (Results) ให้บรรยายผลการศึกษาวิจัย พร้อมเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางหรือภาพประกอบได้โดยตารางหรือภาพ ให้จัดทำเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมดและต้องมีการอ้างถึงตารางหรือภาพนั้นในเนื้อหาด้วย โดยระบุเป็นภาษาอังกฤษ ต่อท้ายข้อความ เช่น (Table 1) หรือ (Figure 1)

3.7 วิจารณ์ (Discussion) ควรเชื่อมโยงกับผลการศึกษาว่าสอดคล้องกับสมมติฐาน หรือแตกต่างไปจากผลงานวิจัยที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่อย่างไร และด้วยเหตุผลใด โดยมีพื้นฐานการ

อ้างอิงที่เชื่อถือได้ วิจารณ์อาจนำไปรวมกับผลการศึกษา เป็น ผลการศึกษาและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.8 สรุป (Conclusion) ควรสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัยว่า เป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ อาจมีข้อเสนอแนะ หรือระบุอุปสรรคและแผนงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป

3.9 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) อาจมีหรือไม่ก็ได้ เป็นการแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ทุนวิจัย หรือผู้ที่ช่วยเหลือในงานวิจัย แต่ไม่ได้เป็นผู้ร่วมงานวิจัย

3.10 เอกสารอ้างอิง (References)

3.10.1 ในเนื้อเรื่อง ไม่ควรอ้างอิงถึงเรื่องที่ไม่เกี่ยวข้อง

3.10.2 บัญชีเอกสารอ้างอิง ให้เรียงลำดับเอกสารอ้างอิงภาษาไทยมาก่อนเอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ โดยเรียงลำดับเอกสารอ้างอิงตามลำดับตัวอักษรของชื่อผู้เขียนชื่อแรก สำหรับเอกสารอ้างอิงภาษาไทย ให้เรียงลำดับอักษรตามชื่อตัว-ชื่อสกุล ส่วนเอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ ให้เรียงตามลำดับอักษรตามชื่อสกุล-ชื่อตัว ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

1) วารสาร (Journals)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร (ใช้ชื่อเต็ม) ปีที่(ฉบับที่): เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสิ้นสุด.

นุชจิรา ไชยวัน, รุจ มรกต และจริยา รอดดี. 2562. การเปลี่ยนแปลงประชากรตามฤดูกาลของแมลงศัตรูเมล็อน. เกษตร 47(1): 937-946.

มณีชัย ชยานนท์กุล และนันทศักดิ์ ปิ่นแก้ว. 2563. ชนิดของเพลี้ยอ่อน (Hemiptera: Aphididae) กับพืชอาหารและมดที่อยู่ร่วมกันในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 3(2): 63-69.

Bhanuvaly, M., Y.M. Ramesha and H. Yogeeshappa. 2017. Effect of slow releasing nitrogen fertilizers on growth and yield of sugarcane. International Journal of Current Microbiology and Applied Science 6(10): 570-577.

Watada, A.E. and L. Qi. 1999. Quality of fresh-cut produce. Postharvest Biology and Technology 15: 201-205.

ในกรณีที่เป็นวารสารออนไลน์ ไม่สามารถระบุเลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสิ้นสุดได้ ให้ระบุเป็น doi แทน

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

2) หนังสือ และตำรา (Books & Textbooks)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อหนังสือ/ตำรา. สำนักพิมพ์, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

สุนทร ปิยะโชติคนกุล. 2552. เครื่องหมายดีเอ็นเอ: จากพื้นฐานสู่การประยุกต์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 269 หน้า.

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

คู่มือแนะนำรูปแบบในการใช้ภาษาอังกฤษในเนื้อเรื่องภาษาไทยและการส่งเรื่องเพื่อตีพิมพ์ได้ในนิตยสาร



วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ

Journal of Agricultural Science and Management

ผู้จัดพิมพ์	คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	Publisher	Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen Kasetsart University
กำหนดการพิมพ์	วารสารราย 4 เดือน (3 ฉบับ / 1 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	เพื่อส่งเสริม พัฒนา และยกระดับ การผลิต ผลงานวิจัย ตลอดจนเพิ่ม ทางเลือกให้กับบุคลากรวิจัยและ นิสิตในการพิจารณาผลงานวิจัย ลงตีพิมพ์/ เผยแพร่	Objective	To disseminate academic knowledge in agricultural science and management
ที่ปรึกษา บรรณาธิการ	คณบดีคณะเกษตร กำแพงแสน รศ.ดร.ชเนษฎ์ ม้าลำพอง	Editor	Assoc. Prof. Chanate Malumpong Kasetsart University
รองบรรณาธิการ	ผศ.ดร.ชัยสิทธิ์ ทองจุ	Vice Editor	Assist. Prof. Dr. Chaisit Thongjoo Kasetsart University
กองบรรณาธิการฝ่ายวิชาการ	ศ.ดร.สุพัฒน์ อรรถธรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศ.ดร.ธีรภาพ เจริญวิริยภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศ.ดร.ทิพย์วดี อรรถธรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศ.ปรารธนา พฤษะศรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศ.ดร.นสพ.ทวีศักดิ์ ส่งเสริม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศ.ดร.สืบศักดิ์ สนิธิรัตน์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศ.ดร.จริยา จันทร์ไพแสง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศ.ดร.ดิเรก ฤกษ์ห่วย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รศ.ดร.วิชัย ไชยรัตน์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รศ.ดร.จิระเดช แจ่มสว่าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รศ.ดร.สนธิชัย จันทร์เปรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รศ.ดร.จีระชัย กาญจนพุดผิงค์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	Editorial Board (Academic)	Prof. Dr. Suput Attathom Kasetsart University Prof. Dr. Theeraphap Chareonviriyaphap Kasetsart University Prof. Dr. Tipvadee Attathom Kasetsart University Prof. Pratana Prucsasri Kasetsart University Prof. Dr. Thaweesak Songserm Kasetsart University Prof. Dr. Suebsak Sontirat Kasetsart University Prof. Dr. Jariya Chanpaisaeng Kasetsart University Prof. Dr. Direk Rerkrai Kasetsart University Assoc. Prof. Dr. Wichai Kositratana Kasetsart University Assoc. Prof. Dr. Chiradej Chamswarn Kasetsart University Assoc. Prof. Dr. Sontichai Chanprame Kasetsart University Assoc. Prof. Dr. Jeerachai Kanjanapruthipong Kasetsart University



วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ

Journal of Agricultural Science and Management

รศ.ดร.ศิริพรรณ ตันตาคม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.พิเศษ ยงยุทธ โอสธสภา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สาวิตรี รังสิภัทร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.พงศ์ศักดิ์ ชลธนสวัสดิ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.ธงชัย มาลา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.กมุท สังขศิลา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.ชลิดา เล็กสมบุญ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.อภิชาติ วรรณวิจิตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.ทศพล พรพรหม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.ลพ ภาวภูตานนท์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.อรรตน์ มงคลพร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.พิชัย ทองดีเลิศ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.อนันต์ พลธานี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.อำนาจ คำต้อ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.มนต์ชัย ดวงจินดา
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.อรอินท์ ประไพโย
มหาวิทยาลัยนเรศวร
Prof. Dr. Gerard Duvallet
Paul Valéry University
ศ.ดร.สัณชัย จตุรสิทธิ์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศ.ดร.ไสว บุรณพานิชพันธุ์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Assoc. Prof. Dr. Siripan Tantakom
Kasetsart University
Adjunct Prof. Dr. Yongyuth Osotsapar
Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Savitree Rangsihaht
Kasetsart University
Assoc. Prof. Pongsak Chontanaswat
Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Thongchai Mala
Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Kumut Sangkhasila
Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Chalida Leksomboon
Kasetsart University
Prof. Dr. Apichart Vanavichit
Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Tosapon Pornprom
Kasetsart University
Assist. Prof. Dr. Lop Phavaphutanon
Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Orarat Mongkolporn
Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Pichai Tongdeelert
Kasetsart University
Prof. Dr. Anan Polthanee
Khon Kaen University
Assoc. Prof. Dr. Amnouy Kamtuo
Khon Kaen University
Assoc. Prof. Dr. Monchai Duangjindar
Khon Kaen University
Assist. Prof. Dr. Ornin Prachaiyo
Naresuan University
Prof. Dr. Gerard Duvallet
Paul Valéry University
Prof. Dr. Sanchai Jaturasittha
Chiang Mai University
Prof. Dr. Sawai Buranapanichpan
Chiang Mai University



วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ

Journal of Agricultural Science and Management

ศ.ดร.สุวิมล กীরติพิบูลย์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Prof. Dr. Robert McGovern
Cornell University
Prof. Dr. Kazuyuki Inubushi
Chiba University
Prof. Dr. Anake Kijjoa
University of Porto, Portugal
ศ.ดร.อานัฐ ตันโช
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รศ.ดร.วีรเทพ พงษ์ประเสริฐ
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.ปทุมทริกา รัตนตรีวงศ์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร.บัณฑิต อินณวงศ์
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผศ.ดร.ไชยวรรณ วัฒนจันทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ.ดร.ทิพวรรณ ลิ้มกูร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.บำเพ็ญ เขียวหวาน
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

Prof. Dr. Suwimon Keeratipibul
Chulalongkorn University
Prof. Dr. Robert McGovern
Cornell University
Prof. Dr. Kazuyuki Inubushi
Chiba University
Prof. Dr. Anake Kijjoa
University of Porto, Portugal
Prof. Dr. Arnat Tancho
Maejo University
Assoc. Prof. Dr. Weerathep Pongprasert
Naresuan University
Assist. Prof. Dr. Puntarika Ratanatriwong
Naresuan University
Assoc. Prof. Dr. Bhundit Innawong
Silpakorn University
Assist. Prof. Dr. Chaiyawan Wattanaajan
Prince of Songkla University
Assoc. Prof. Dr. Tippawan Limunggura
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang
Assoc. Prof. Bumpen Keowan
Sukhothai Thammathirat Open University

กองบรรณาธิการฝ่ายการจัดการ

นางชลนัฐา ตันทอง
งานแผนและวิชาการ
คณะเกษตร กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน
จังหวัดนครปฐม

Editorial Board (Management)

Mrs. Chonnatcha Tantong
Planning and Technical Division
Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen,
Kasetsart University
Nakhon Pathom Province.



วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ

Journal of Agricultural Science and Management

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ (Journal of Agricultural Science and Management) เป็นวารสารที่มีผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) มีการตีพิมพ์ 3 ฉบับต่อปี ทุก 4 เดือน ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม และ ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม ครอบคลุมเนื้อหาวิชาการทุกสาขาที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ ได้แก่ เกษตรกลวิธีน สัตวบาล กีฏวิทยา ปฐพีวิทยา โรคพืช พืชสวน พืชไร่ นา ส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร เพื่อส่งเสริม พัฒนา และยกระดับการผลิตผลงานวิจัย ตลอดจนเพิ่มทางเลือกให้กับบุคลากรวิจัยรุ่นใหม่ และนิสิตในการส่งผลงานวิจัยลงตีพิมพ์ เผยแพร่ โดยผ่านความเห็นและได้รับคำแนะนำจากผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้งจากภายในและภายนอกหน่วยงาน เพื่อเป็นประสบการณ์สำหรับการส่ง และเสนอผลงานวิจัยเข้ารับการพิจารณาตีพิมพ์

คณะเกษตร กำแพงแสนได้เห็นความสำคัญของการพัฒนาและส่งเสริมผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่เชิงบูรณาการให้มีคุณภาพ เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง สำหรับฉบับนี้มีบทความวิจัยด้วยกัน 15 เรื่อง ประกอบด้วย สาขาพืชไร่ นา 5 เรื่อง เรื่อง สาขาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร 4 เรื่อง สาขาพืชสวน 2 เรื่อง สาขาปฐพีวิทยา 3 เรื่อง และสาขาสัตวบาล 1 เรื่อง ซึ่งกองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้เขียนทุกท่าน ที่ได้กรุณาแบ่งปันข้อมูลดีๆ ที่เป็นประโยชน์ เพื่อเผยแพร่สู่สาธารณะต่อไป

รศ.ดร.ชนเชษฐ ม้าลำพอง

บรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือนของเกษตรกร
ตำบลสันทะ อำเภอนาน้อย จังหวัดน่าน

Factors Affecting Farmers' Decision to Greenhouse Vegetable Farming
in Santha Subdistrict, Na Noi District, Nan Province

อัจริยา โตนะโพ¹ นารีรัตน์ สีระสาร^{1*} และปรีชาดิ ดิษฐกิจ¹
Atchariya Tonapo¹, Nareerut Seerasarn^{1*} and Parichat Dittakit¹

Received: September 11, 2024

Revised: December 6, 2024

Accepted: December 12, 2024

Abstract: The objective of this research was to study factors affecting farmers' decision to greenhouse vegetable farming. The population of this study was 180 farmers in Santha subdistrict, Na Noi district, Nan province who were registered in the Khun Sathan Royal Project Highland Development Project of 2023. The 125-sample size was based on the Taro Yamane formula with an error value of 0.05. Structured interviews were used for data collection. Statistics used were descriptive statistics and multiple regression analysis. The results of the research found that the average age of the farmers of 42.73 years. The average of training visits was 4.20 and experience of growing vegetables in greenhouses of 5.51 years. The average agricultural holding area was 16.74 rai. The average income in the agricultural sector of 193,160.00 baht per year. The average cost of growing leafy vegetables was 18,664.71 baht and the average cost of growing fruit vegetables was 69,483.87 baht. The factor that had a positive effect on farmers' decision to grow vegetables in greenhouses was the cost of growing vegetables in greenhouses, meanwhile, the age of the farmer had a negative effect on decision making, statistically significant at the level of 0.05. Therefore, new generations should be encouraged to grow vegetables in greenhouses to reduce production costs and reduce pest outbreaks in the climate change situation.

Keywords: Decision making, Greenhouses, Vegetables production

บทคัดย่อ: การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือน ประชากรที่ใช้ศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกผักในโรงเรือน ตำบลสันทะ อำเภอนาน้อย จังหวัดน่าน ที่ขึ้นทะเบียนในโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงขุนสถาน ปี 2566 จำนวน 180 ราย กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรทาร์โอยามาเน ที่ความคลาดเคลื่อน 0.05 ได้กลุ่มตัวอย่าง 125 ราย โดยวิธีสุ่มตัวอย่างแบบง่าย เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล คือ แบบสัมภาษณ์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุคูณ พบว่าเกษตรกรมีอายุเฉลี่ย 42.73 ปี ประสบการณ์ฝึกอบรมศึกษาดูงานเฉลี่ย 4.20 ครั้ง และประสบการณ์ปลูกผักในโรงเรือนเฉลี่ย 5.51 ปี พื้นที่ถือครองทางการเกษตรเฉลี่ย 16.74 ไร่ รายได้ภาคการเกษตรเฉลี่ย 193,160.00 บาท ต้นทุนปลูกผักกินใบเฉลี่ย 18,664.71 บาท และต้นทุนปลูกผักกินผลเฉลี่ย 69,483.87 บาท โดย ปัจจัยที่มีผลเชิงบวก

¹วิชาเอกส่งเสริมและพัฒนาการเกษตร สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จ.นนทบุรี 11120

¹Agriculture Extension School of Agriculture and Cooperatives, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi 11120

*Corresponding author: Nareerut.see@stou.ac.th

ต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือนของเกษตรกร คือ ต้นทุนการปลูกผักกินผลในโรงเรือน ขณะที่อายุของเกษตรกรมีผลเชิงลบต่อการตัดสินใจอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้นควรส่งเสริมเกษตรกรรุ่นใหม่ปลูกผักในโรงเรือนเพื่อลดต้นทุนการผลิตและลดการระบาดของแมลงศัตรูพืชในสภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

คำสำคัญ: การตัดสินใจ, โรงเรือน, การผลิตผัก

คำนำ

ภาคการเกษตรมีความสำคัญมากต่อสังคมและเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งมีประชากรมากถึงร้อยละ 40.0 ผัก ถือเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญอีกประเภทหนึ่งที่ทำให้เกิดความหลากหลาย และความมั่นคงทางอาหาร ในปี 2565 ประเทศไทยถูกจัดอันดับเป็นผู้ผลิตและส่งออกอาหารในอันดับที่ 11 ของโลก มีการส่งออกผลผลิตผัก รูปแบบผักสด แช่เย็น แช่แข็ง และแห้ง ปริมาณมากถึง 93,918 ตัน มูลค่า 3,794.54 ล้านบาท หดตัวลงร้อยละ 11.03 เมื่อเทียบกับปี 2564 มีตลาดหลัก คือ จีน มาเลเซีย สิงคโปร์ และสหรัฐอเมริกา ตามลำดับ (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2565) ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ภาครัฐจึงผลักดันนโยบาย “ครัวไทยสู่ครัวโลก” (Kitchen of the World) และมุ่งเน้นผลิตอาหารที่ปลอดภัย (Food Safety) แก่ผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ (นันทวุฒิ, 2565)

การปลูกผักในโรงเรือนมีความสำคัญต่อการทำการเกษตรเป็นอย่างมาก เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยยังประสบปัญหาขาดแคลนแรงงานในภาคการเกษตร ซึ่งนับวันจะยิ่งขาดแคลนในอนาคต (ประเวช, 2564) ทั้งนี้มีอัตราเกษตรกรสูงอายุเพิ่มขึ้น รวมถึงได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (ศูนย์ภูมิอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา, 2567) ทำให้เกิดภัยธรรมชาติ โรค และแมลงศัตรูพืชระบาดเป็นจำนวนมาก เกษตรกรจึงเพิ่มปริมาณการใช้สารเคมี เพราะใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชสะดวกกว่าวิธีอื่น (Thitisutthi and Kruekum, 2019) ทำให้เพิ่มต้นทุนการผลิต รายได้รวมจากภาคเกษตรไม่เพียงพอต่อครัวเรือน เกษตรกรส่วนใหญ่จึงมีฐานะยากจน วนเวียนอยู่ในวงจรการเป็นหนี้ (พัฒนา, 2557) การ

ปลูกผักในโรงเรือนเป็นการปลูกผักโดยใช้พื้นที่น้อย ลดการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ ที่สำคัญสามารถป้องกันความเสียหายจากสภาพแวดล้อมภัยธรรมชาติ สัตว์ โรค และแมลงศัตรูผัก จึงลดการใช้แรงงานและสารเคมี ทำให้ลดต้นทุนการผลิต รวมถึงมีการปลูกผักในวัสดุปลูก เช่น กาบมะพร้าว ทดแทนการใช้ดินที่ไม่เหมาะสม สามารถวางแผนการผลิตได้ (วุฒิพล และศรารุณี, 2565) จึงสามารถปลูกผักได้หลายชนิด เช่น พริกหวาน กะหล่ำปลี มะเขือเทศ เมล่อน เป็นต้น จังหวัดน่าน ที่มีพื้นที่ทั้งหมด 7.17 ล้านไร่ โดยร้อยละ 35.23 เป็นพื้นที่ทำการเกษตร ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม (สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2567) แต่สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (2562) พบว่า เกษตรกรจังหวัดน่านใช้ทุกพื้นที่เพื่อปลูกพืชเชิงเดี่ยวสู่อุตสาหกรรม มีการใช้สารเคมีจำนวนมาก ไม่ปลูกพืชเพื่อบริโภคเอง ผู้บริโภคจึงไม่มั่นใจในความปลอดภัยของผลผลิตในพื้นที่ จึงซื้อจากแหล่งอื่นเป็นหลักทำให้ส่งผลกระทบต่อตลาดและรายได้ของเกษตรกรลดลง เช่นเดียวกับพื้นที่ตำบลสันทะ อำเภอนาน้อย จังหวัดน่าน มีการบุกรุกพื้นที่ป่าเพื่อปลูกพืชเชิงเดี่ยว เช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ยางพารา ปลูกในพื้นที่ไม่เหมาะสมที่เป็นภูเขาสลับซับซ้อน ทำให้น้ำดินถูกทำลาย ผลผลิตลดลง การส่งเสริมการปลูกผักในโรงเรือนจึงมีความสำคัญต่อการแก้ปัญหาในพื้นที่ ในปี 2559 ได้มีการก่อตั้งโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงขุนสถาน สังกัดสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ในพื้นที่ตำบลสันทะ ดำเนินงานด้านการพัฒนาอาชีพและรายได้ของเกษตรกร โดยส่งเสริมการปลูกผักในโรงเรือน (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน), 2567) ทำให้มีพืชผักพืชอาหารที่หลากหลายมากขึ้น และเพิ่มรายได้แก่

ครัวเรือนเกษตรกร อีกทั้งสามารถสร้างความมั่นใจต่อผู้บริโภคในพื้นที่ เกษตรกรจึงเริ่มหันมาปลูกผักในโรงเรือนมากขึ้น และได้มีการขยายผลไปยังหมู่บ้านต่าง ๆ ในพื้นที่ตำบลสันทะ แต่ยังมีเกษตรกรส่วนใหญ่ที่ยังปลูกพืชเชิงเดี่ยวและประสบปัญหาแบบเดิมอยู่

ดังนั้นควรศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือน เพื่อเป็นแนวทางการส่งเสริมเกษตรกรให้ปลูกผักในโรงเรือนมากขึ้น เพื่อการลดปัญหาด้านแรงงาน ต้นทุน ให้ทำการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัด สร้างความมั่นคงทางอาหาร เพิ่มรายได้ให้ครัวเรือนเกษตรกร และประกอบอาชีพเกษตรกรรมอย่างยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) ประชากรที่ใช้ศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกพืชในโรงเรือน ตำบลสันทะ อำเภอน่าน จังหวัดน่าน จำนวน 180 ราย ที่ขึ้นทะเบียนในโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงขุนสถาน ประจำปี 2566 (โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงขุนสถาน, 2566) กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรทาโร ยามาเน (Yamane, 1973) ที่ระดับความคลาดเคลื่อน 0.05 ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 125 ราย โดยวิธีสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล คือ แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างมีทั้งคำถามปลายเปิดและปลายปิด จำนวน 4 ตอน ประกอบด้วย 1) สภาพสังคมและเศรษฐกิจ 2) สภาพการปลูกผักในโรงเรือน 3) ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือน ตรวจสอบความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบสัมภาษณ์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาช (Cronbach's Alpha Coefficient) ที่ 0.966 และ 4) ปัญหาและข้อเสนอแนะต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือนของเกษตรกร ประกอบด้วย ตอนที่ 4.1 มีค่าสัมประสิทธิ์ที่ 0.888 และตอนที่ 4.2 มีค่าสัมประสิทธิ์ที่ 0.944 ซึ่งตอนที่ 3 และ 4 ให้เลือกตอบโดยใช้เกณฑ์กำหนดช่วงคะแนนแบบประเมินค่า (Rating scale) แบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ 5 คะแนน เท่ากับ มากที่สุด 4 คะแนน เท่ากับ มาก 3 คะแนน เท่ากับ ปานกลาง

2 คะแนน เท่ากับ น้อย และ 1 คะแนน เท่ากับ น้อยที่สุด นำมาหาค่าเฉลี่ยจากคะแนนรวมโดยกำหนดเกณฑ์การแปลความหมาย 5 ระดับ ดังนี้ คะแนนเฉลี่ย 1.00 - 1.80 คะแนน หมายความว่า น้อยที่สุด คะแนนเฉลี่ย 1.81 - 2.60 คะแนน หมายความว่า น้อย คะแนนเฉลี่ย 2.61 - 3.40 คะแนน หมายความว่า ปานกลาง คะแนนเฉลี่ย 3.41 - 4.20 คะแนน หมายความว่า มาก คะแนนเฉลี่ย 4.21 - 5.00 คะแนน หมายความว่า มากที่สุด แล้วดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์ จากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 125 ราย คิดเป็นร้อยละ 69.44 ของเกษตรกรทั้งหมด มีเกณฑ์สถิติที่ใช้วิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และหาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือนด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple regression analysis)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สภาพพื้นฐานทางสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร

1.1 สภาพพื้นฐานทางสังคม พบว่าเกษตรกรมีอายุ เฉลี่ย 42.73 ปี ร้อยละ 43.20 มีการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. ร้อยละ 36.00 เป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกร มีประสบการณ์เข้ารับการฝึกอบรมศึกษาดูงานการปลูกผักในโรงเรือน เฉลี่ย 4.20 ครั้ง และมีประสบการณ์ปลูกผักในโรงเรือน เฉลี่ย 5.51 ปี (Table 1) สอดคล้องกับ ศรีณยา (2563) พบว่า เกษตรกรมีการศึกษาในระดับการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายหรือ ปวช. สุภาวดี (2562) พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นสมาชิกกลุ่มองค์กรเกษตรกร และสอดคล้องกับ จารูวรรณ (2560) พบว่า เกษตรกรมีอายุอยู่ระหว่าง 41-50 ปี เนื่องจากปัจจุบันเกษตรกรมีแนวโน้มเข้าสู่ผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นเมื่อเกษตรกรมีอายุเพิ่มขึ้นกิจกรรมทางการเกษตรก็ลดน้อยลงตามลำดับ รวมถึงเริ่มตระหนักถึงอันตรายจากการใช้สารเคมีทางการเกษตร ทำให้เกษตรกรบางรายหันมาปลูกผักในโรงเรือนมากขึ้น เพราะกิจกรรมในการดูแลรักษามีการใช้สารเคมีน้อยกว่าการปลูกผักนอกโรงเรือน อีกทั้งยังให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น

Table 1 Socio Background of Farmers.

(n = 125)

Item	Frequency	Percentage
Age (years old)		
≤ 25	6	4.80
26-35	22	17.60
36-45	58	46.40
46-55	22	17.60
≥ 56	17	13.60
Min = 23 Max = 72 $\bar{x}$ = 42.73 S.D. = 10.274		
Education level		
No formal education to primary school	9	7.20
Primary education	25	20.00
Lower secondary school	19	15.20
High school/Vocational Certificate	54	43.20
Associate Degree/Vocational Certificate	13	10.40
Bachelor's degree	4	3.20
Other	1	0.80
Membership in agricultural groups (Can choose more than 1 item)		
Not a member of an agricultural group	38	30.40
Farmer group members	45	36.00
Cooperative group members	41	32.80
Member of BAAC group	38	30.40
Experience in attending training and study visits (time)		
≤ 2	39	31.20
3-4	36	28.80
5-6	26	20.80
7-8	13	10.40
≥ 9	11	8.80
Min = 1 Max = 10 $\bar{x}$ = 4.20 S.D. = 2.691		
Farming experience (years)		
≤ 2	16	12.80
3-4	28	22.40
5-6	45	36.00
7-8	18	14.40
Farming experience (continue)		
≥ 9	18	14.40
Min = 1 Max = 14 $\bar{x}$ = 5.51 S.D. = 2.645		

1.2 สภาพพื้นฐานทางเศรษฐกิจ พบว่าเกษตรกรมีแรงงานที่เป็นสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 2.80 คน มีพื้นที่ถือครองทางการเกษตรเฉลี่ย 16.74 ไร่ โดยเกษตรกรมีรายได้ภาคการเกษตร เฉลี่ย 193,160.00 บาทต่อปี ในการปลูกผักในโรงเรือน เกษตรกรมีต้นทุนในการปลูกผักกินใบ เฉลี่ย 18,664.71 บาทต่อปี และมีต้นทุนในการปลูกผักกินผล เฉลี่ย 69,483.87 บาทต่อปี (Table 2) สอดคล้องกับ ญัฐติมา (2566) พบว่าเกษตรกรมีจำนวนแรงงาน เฉลี่ย 2.13 คน และพัฒนา (2557) พบว่า เกษตรกรมีพื้นที่ทำการเกษตร

เฉลี่ย 16.13 ไร่ แตกต่างกับ จารุวรรณ (2560) พบว่าเกษตรกรมีต้นทุนในการผลิตผักปลอดภัย เฉลี่ย 6,602.19 บาท/ไร่ เนื่องจากปัจจุบันรายได้ภาคการเกษตรแปรผันตามต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาแล้วเกษตรกรยังมีรายรับไม่เพียงพอต่อค่าใช้จ่ายในครัวเรือน ดังนั้นเกษตรกรควรเพิ่มศักยภาพการผลิตผักเพื่อให้ได้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตผักต่อพื้นที่สูงขึ้น โดยการปลูกผักในโรงเรือนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรหันมาให้ความสนใจในการเพื่อลดต้นทุนเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร

Table 2 Economic Background of Farmers.

(n = 125)

Item	Frequency	Percentage
Agricultural workers in the household (person)		
1	5	4.00
2	69	55.20
3	17	13.60
4	24	19.20
≥ 5	10	8.00
Min = 1 Max = 8 $\bar{X}$ = 2.8 S.D. = 1.320		
Holding area (rai)		
≤ 10	59	47.20
11-15	11	8.80
15-30	39	31.20
31-45	11	8.80
≥ 46	5	4.00
Min = 1 Max = 70 $\bar{X}$ = 16.74 S.D. = 13.930		
Agricultural sector income (baht/year)		
100,001-150,000	23	18.40
150,001-200,000	23	18.40
≥ 200,001	41	32.80
Min = 30,000 Max = 600,000 $\bar{X}$ = 193,160.00 S.D. = 118,608.423		
Cost of vegetables in greenhouses production (Can choose more than 1 item)		
Leafy vegetables (baht/year)		
≤ 20,000	26	20.80
20,001-45,000	5	4.00
45,001-70,000	1	0.80
≥ 70,001	2	1.60
Min = 1000 Max = 100,000 $\bar{X}$ = 18,664.71 S.D. = 24,866.003		

Table 2 (continue)

(n = 125)

Item	Frequency	Percentage
Fruit vegetables (baht/year)		
≤ 10,000	22	17.60
10,001-15,000	4	3.20
15,001-20,000	12	9.60
20,001-25,000	1	0.80
≥ 25,001	85	68.00

Min = 10,000 Max = 250,000 $\bar{X}$ = 69,483.87 S.D. = 59,759.339

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรียนของเกษตรกร

2.1 การตัดสินใจปลูกผักในโรงเรียน

พบว่า ในภาพรวมเกษตรกรเห็นด้วยกับการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรียนในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.54) แบ่งออกเป็น 8 ประเด็น โดยเกษตรกรเห็นด้วยในระดับมาก 6 ประเด็น คือ ด้านสิ่งแวดล้อม (ค่าเฉลี่ย 3.96) ประเด็นการปลูกผักในโรงเรียนไม่ทำให้หน้าดินพังทลาย รองลงมาด้านสังคม (ค่าเฉลี่ย 3.73) ประเด็นการสนับสนุนจากบุคคลในครอบครัว ด้านเกษตรกร (ค่าเฉลี่ย 3.67) ประเด็นการมีความรักในอาชีพเกษตรกรรม ด้านกายภาพ (ค่าเฉลี่ย 3.58) ประเด็นการมีโรคติดต่อที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน GMP ใกล้เคียงพื้นที่การเกษตร ด้านชีวภาพ (ค่าเฉลี่ย 3.47) ประเด็นผลผลิตผักในโรงเรียนสามารถเก็บเกี่ยวได้ทุกฤดูกาล ด้านการตลาด (ค่าเฉลี่ย 3.43) ประเด็นคุณภาพผลผลิตเป็นที่ยอมรับของตลาด และระดับปานกลาง 2 ประเด็น คือ ด้านเศรษฐกิจ (ค่าเฉลี่ย 3.33) ประเด็นการปลูกผักในโรงเรียนจะทำให้มีรายได้ดี และสม่ำเสมอกว่าปลูกพืชแบบเดิม และด้านการส่งเสริมการเกษตร (ค่าเฉลี่ย 3.26) ประเด็นการได้รับคำแนะนำจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร โดยมีรายละเอียดดัง (Table 3) สอดคล้องกับ สุญาดา (2558) พบว่า ด้านเกษตรกร ปัจจัยภายในมีอิทธิพล

ค่อนข้างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของเกษตรกร คือ เกษตรกรเกิดความรักในอาชีพเกษตรกรรม และ ด้านการส่งเสริมการเกษตร ประเด็นเจ้าหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลง และ ณัฐสิมา (2566) พบว่า ด้านการตลาด มีความสำคัญต่อการตัดสินใจในการทำการเกษตรแบบผสมผสานของเกษตรกร ในระดับปานกลาง ประเด็นราคาผลผลิตสินค้าเกษตร ความต้องการของตลาดและแหล่งจำหน่ายผลผลิตสินค้าเกษตร สำหรับการตัดสินใจด้านสังคม กายภาพ เศรษฐกิจ และด้านชีวภาพ แตกต่างกับ ณัฐสิมา (2566) พบว่า ด้านสังคม มีผลต่อการตัดสินใจในการทำการเกษตรแบบผสมผสานของเกษตรกร ในระดับปานกลาง ประเด็นการเป็นสมาชิกกลุ่ม โดยด้านกายภาพ ระดับปานกลาง ประเด็นแหล่งน้ำทางการเกษตร และด้านเศรษฐกิจ อยู่ในระดับปานกลาง ประเด็นความเสี่ยงในการทำการเกษตร ต้นทุนการผลิตสินค้าเกษตร เนื่องจากปัจจุบันภาคการเกษตรได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศทำให้เกิดภัยธรรมชาติ และเกิดการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืชเกษตรกรจึงต้องปรับตัวต่อความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น ถึงแม้การปลูกผักในโรงเรียนจะมีต้นทุนสูง แต่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในการปลูกผักได้

Table 3 Decision of growing vegetables in greenhouses of farmers.

(n = 125)

Decision	$\bar{x}$	S.D.	Interpret
1. Social factors	3.73	0.606	High
2. Economic factors	3.33	0.707	Moderate
3. Physical factors	3.58	0.708	High
4. Biological factors	3.47	0.881	High
5. Environmental factors	3.96	0.731	High
6. Marketing factors	3.43	0.769	High
7. Personal factors	3.67	0.694	High
8. Agricultural extension factors	3.26	0.872	Moderate
Average	3.54	0.615	High

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือนของเกษตรกร

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ เพื่อหาความเกี่ยวข้องระหว่างตัวแปรอิสระ 8 ตัวแปร ได้แก่ อายุ (X_1) พื้นที่ถือครองทางการเกษตร (X_2) ประสบการณ์ปลูกผักในโรงเรือน (X_3) จำนวนแรงงานที่เป็นสมาชิกในครัวเรือน (X_4) ประสบการณ์

เข้ารับการฝึกอบรมศึกษาดูงานการปลูกผักในโรงเรือน (X_5) รายได้ภาคการเกษตร (X_6) ต้นทุนในการปลูกผักกินใบ (X_7) และต้นทุนในการปลูกผักกินผล (X_8) ส่วนตัวแปรตาม คือ การตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือนของเกษตรกร ($\hat{Y}$) และมีระดับความเกี่ยวข้องกันกับตัวแปรตามมากหรือน้อยเพียงใด ได้สมการพยากรณ์ ดังนี้

$$\hat{Y} = \alpha_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \epsilon$$

โดย α หมายถึง ค่าคงที่ β หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ตัวประมาณของพารามิเตอร์ และ ϵ หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อนำตัวแปรเข้าสมการคำนวณโดยวิธี Enter ซึ่งเป็นเทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระเข้า

สมการความถดถอยในขั้นตอนเดียว สามารถทำนายแนวโน้มปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือนของเกษตรกร จากสมการได้ ดังนี้

$$\hat{Y} = 6.097 - 0.048X_1 + 1.085X_2 - 5X_8 + \epsilon$$

ปรากฏว่าได้ค่า $F = 3.240$ Sig = 0.05 เมื่อพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุคูณ ปรากฏว่า Adjusted R^2 มีค่าเท่ากับ 0.513 หมายความว่า ตัวแปรอิสระทั้งหมดอธิบายการผันแปรของตัวแปรตาม คือ ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือนของเกษตรกร ได้ร้อยละ 51.30 ในบรรดาตัวแปรอิสระทั้งหมด 8 ตัว มีตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร ที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (Table 4) ดังนี้

1) อายุ มีผลต่อตัวแปรตามในเชิงลบ หมายถึง เมื่อเกษตรกรมีอายุลดลง 1 ปี ส่งผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือนของเกษตรกรเพิ่มขึ้น

0.048 คะแนน เนื่องจากเกษตรกรที่มีอายุน้อยจะมีการเรียนรู้ สามารถค้นหาและรับรู้ข้อมูลข่าวสารได้อย่างรวดเร็ว ทั้งในเรื่องรูปแบบการสร้างโรงเรือน การติดตั้งระบบให้น้ำให้ปุ๋ย การจัดการแปลง การเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวไปจนถึงการตลาด ซึ่งมีความแตกต่างจากการปลูกพืชแบบเดิมที่อาศัยเฉพาะประสบการณ์ไม่มีการวางแผน และที่สำคัญเกษตรกรที่มีอายุน้อยยังมีกำลังแรงกายในการสร้างโรงเรือน ทำให้มองเห็นโอกาสในการพัฒนาอาชีพ เพิ่มรายได้เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของครัวเรือนเกษตรกร จึงมีแนวโน้มตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือนได้มากกว่าเกษตรกรที่มีอายุมากซึ่งแตกต่างกับ ศรีธัญญา (2565) พบว่า

อายุ มีผลในเชิงบวกต่อความต้องการการส่งเสริมปลูกผักปลอดภัยจากสารพิษของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2) ต้นทุนในการปลูกผักกินผลในโรงเรือน มีผลต่อตัวแปรตามในเชิงบวก หมายถึง เมื่อเกษตรกรมีต้นทุนในการปลูกเพิ่มขึ้น 100 บาท ส่งผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือนของเกษตรกรเพิ่มขึ้น 1.085 คะแนน เนื่องจากเกษตรกรมีความคิดเห็นว่าการปลูกผักในโรงเรือนมีการใช้ต้นทุนสูงเพียงในระยะแรก แต่การปลูกผักในโรงเรือนสามารถควบคุมการเกิดโรคและแมลงศัตรูพืชระบาดในแปลง

ได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้ลดค่าใช้จ่ายแรงงานและลดการใช้สารเคมีได้ และได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและจำนวนผลผลิตเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกษตรกรตัดสินใจเลือกปลูกผักกินผลในโรงเรือน ซึ่งแตกต่างกับ Nattawan and Sommai (2567) พบว่า ด้านราคาวัตถุดิบและเมล็ดพันธุ์ หากเพิ่มขึ้นร้อยละ 100 ไม่ส่งผลกระทบแต่ด้านราคาวัสดุและอุปกรณ์ หากเพิ่มขึ้นร้อยละ 96.68 จะทำให้โครงการลงทุนฟาร์มผักออร์แกนิกในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ ไม่สามารถดำเนินต่อไปได้เนื่องจากมีเงินลงทุนเริ่มแรกไม่เพียงพอ

Table 4 Multiple regression analysis of factors affecting farmers' decision to growing vegetables in greenhouses.

(n = 125)

Variable		Coefficient regression (b)	t	Sig
Constant				
X ₁	Age (years)	-0.048	-2.506	0.034*
X ₂	Holding area (rai)	-0.006	-0.355	0.730
X ₃	Agricultural workers in the household (person)	-0.130	-0.608	0.558
X ₄	Farming experience (years)	0.023	0.240	0.815
X ₅	Experience in attending training and study visits (time)	-0.126	-1.719	0.120
X ₆	Agricultural sector income (baht/year)	-1.154E-7	-0.063	0.951
X ₇	Cost of leafy vegetables in greenhouses production (baht/year)	-1.689E-5	-1.085	0.306
X ₈	Cost of fruit vegetables in greenhouses production (baht/year)	1.085E-5	2.474	0.035*
R ² = 0.742 Adjusted R ² = 0.513 SEE = 0.464 F = 3.240 Sig = 0.05*				

* Significant level at 0.05 เมื่อค่า Prob. = 0.000

สรุป

เกษตรกรในพื้นที่ตำบลสันทะ อำเภอนาน้อย จังหวัดน่าน อยู่ในวัยผู้ใหญ่ และจบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. เกษตรกรได้รับการฝึกอบรมศึกษาดูงานเฉลี่ย 1 ครั้งต่อปี มีการปลูกผักในโรงเรือนโดยใช้พื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัด มีรายได้ภาคการเกษตร เฉลี่ย 193,160.00 บาทต่อปี เกษตรกรมีต้นทุนในการปลูกผักกินผลมากกว่าต้นทุนในการปลูกผักกินใบ โดยเกษตรกรเห็นด้วยกับการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือน เนื่องจากไม่ทำให้น้ำดินพังทลายในส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจปลูกผักในโรงเรือน

ของเกษตรกร พบว่า มีตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 จำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่ อายุ มีผลต่อตัวแปรตามในเชิงลบ ขณะที่ต้นทุนในการปลูกผักกินผลในโรงเรือนมีผลต่อตัวแปรตามในเชิงบวก ดังนั้นเกษตรกรมีการตัดสินใจและปรับเปลี่ยนทัศนคติในการรับสิ่งใหม่ในการปลูกผักในโรงเรือน และหน่วยงานส่งเสริมการเกษตรควรส่งเสริมและผลักดันเครือข่ายเกษตรกรรุ่นใหม่ ทดแทนเกษตรกรผู้สูงอายุที่เพิ่มขึ้น เพื่อพัฒนาความสามารถด้านการเกษตรด้วยการใช้เทคโนโลยีปลูกผักในโรงเรือน ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกผัก

ในโรงเรือนในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และเพื่อสร้างแรงจูงใจในการประกอบอาชีพเกษตรกรรมในการทำการเกษตรอย่างยั่งยืนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. 2565. สินค้าผักผลไม้สด แช่เย็น แช่แข็งและแห้ง เดือนมกราคม-เมษายนปี 2565. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: https://www.ditp.go.th/contents_attach/780263/780263.pdf (15 กุมภาพันธ์ 2567).
- โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงขุนสถาน. 2566. ข้อมูลเกษตรกรผู้ปลูกพืชผักและไม้ผลในโรงเรือน ปี 2566. หน้า 5-6. ใน: การประชุมคณะทำงานโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงขุนสถาน ครั้งที่ 3/2566. ที่ว่าการอำเภอนาน้อย, น่าน.
- จารุวรรณ พุดั่น. 2560. ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเกษตรกรที่เหมาะสมในการปลูกผักปลอดภัยของเกษตรกรในศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ทาเหนือ จังหวัดเชียงใหม่. วารสารเกษตร 33(3): 397-404.
- ณัฐสิมา บริบูรณ์. 2566. ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจทำการเกษตรแบบผสมผสานของเกษตรกรอำเภอภินทรบุรี จังหวัดปราจีนบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 6(3): 84-91.
- นันทวุฒิ จันท์ปาน. 2565. การส่งเสริมการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาในการผลิตผักของเกษตรกรในอำเภอประจันตคาม จังหวัดปราจีนบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 6(1): 29-39.
- ประเวช อนันต์เชื้อ. 2564. การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนฟาร์มเกษตรอัจฉริยะเพื่อผลิตผักปลอดสารพิษในจังหวัดเชียงราย. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ 16(2): 27-39.
- พัฒนา ส่องแสง. 2557. การยอมรับเทคโนโลยีการ

ปลูกผักในโรงเรือนของเกษตรกรในจังหวัดน่าน. วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี. 142 หน้า.

- วุฒิพล จันทรสระคู และสรวิชัย ปานทน. 2565. การเปรียบเทียบโรงเรือนแบบหลังคาพื้นเลื้อยและแบบหลังคาสองชั้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตพืชผัก. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 28(1): 51-58.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). 2567. ข้อมูลพื้นฐานโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงขุนสถาน ตำบลสันทะ อำเภอนาน้อย จังหวัดน่าน. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://www.hrdi.or.th/public/files/Areas-Profile/33-Areas/KhunSaTan.pdf> (18 กุมภาพันธ์ 2567).
- สุญาดา ไชยธรรม. 2558. ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดสู่การทำเกษตร ในระบบโรงเรือนโครงการขยายผลโครงการหลวง ขุนสถาน จังหวัดน่าน. การวิจัยเฉพาะเรื่อง ประกาศนียบัตรบัณฑิต (บัณฑิตอาสาสมัคร). วิทยาลัยพัฒนศาสตร์ ป๋วย อึ๊งภากรณ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี. 166 หน้า.
- สุภาวดี ขำอิม. 2562. การส่งเสริมการปลูกผักในโรงเรือนของเกษตรกรในจังหวัดนครปฐม. วิทยานิพนธ์ เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี. 180 หน้า.
- สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2567. ข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดน่าน. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://www.opsmoac.go.th/nan-dwl-files-421591791902> (10 กุมภาพันธ์ 2567).
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. 2562. 'อินทรีย์' มีส่วนร่วม...ทางรอดของคนน่าน. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://www.thaihealth.or.th/อินทรีย์-มีส่วนร่วม-ทาง/> (3 มีนาคม 2567).

- ศรัณยา ปัญญาเย็น. 2565. ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการส่งเสริมปลูกผักปลอดภัยจากสารพิษของเกษตรกรอำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 40(3): 127-137.
- ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา. 2567. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่มีต่อการผลิตอาหาร. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.climate.tmd.go.th/content/article/13> (15 กุมภาพันธ์ 2567).
- Nattawan, C. and U. Sommai 2024. A feasibility study of organic vegetable farming investment in Nakhon Sawan Province. Journal of Social Science Panyapat 6(3): 135-146.
- Stevens, J. 1992. Applied multivariate statistics for the social science (2nded.). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Thitisutthi, S. and P. Kruekum. 2019. Factors affecting the farmers' need for organic vegetables promotion in the Maefaekmai Sub-District, Sansai District, ChaingMai Province. Journal of Agricultural Research and Extension 36(3): 86-95.
- Yamane, T. 1973. Statistics: An introductory analysis. Third edition. New York: Harper and Row Publication. 1130 p.

**การประเมินผลสัมฤทธิ์โครงการส่งเสริมและพัฒนาการปศุสัตว์ภาคใต้ชายแดน
ของกลุ่มสหกรณ์โคเนื้อมือนารอ จังหวัดนราธิวาส**

Achievement Evaluation on Project of Promoting and Developing Livestock in Southern
Border Region of Menara Beef Cattle Cooperative in Narathiwat Province

ทวนธง ครุฑจ้อน^{1*}

Thuanthong Krutchon^{1*}

Received: September 1, 2024

Revised: December 12, 2024

Accepted: December 16, 2024

Abstract: The purposes of this research paper were to illustrate the result of product development of the Menara Beef Cattle Cooperative Group and to evaluate the achievement of empirical performance towards the project of promoting and developing livestock in the southern border region of the Menara Beef Cattle Cooperative Group, Ra-ngae district, Narathiwat. The research method was qualitative and quantitative method research. The participants and population were chairman and member of the Menara Beef Cattle Cooperative as well as two groups of stakeholders, each consisting of 15 farmers or entrepreneurs and trainers. Data were collected using interview, observation and questionnaires by the CIPP Model and the results were analyzed using descriptive statistics. The evaluation results revealed that the Menara Beef Cattle Cooperative developed two products: meatballs and shredded meat. The CIPP model evaluation revealed that the project achieved an excellence level of success overall. The context was at an excellence level. The highest level was understanding project goals or objectives. In terms of inputs, it was at an excellence level. The highest level was the relevance between product development patterns and community needs. The process aspect was at a good level. The highest level was sharing knowledge among entrepreneurs or communities during project implementation, and the product was at a good level. The highest level was the satisfaction of infrastructure and facilities as well as service staff.

Keywords: Achievement evaluation, Menara Beef Cattle Cooperative, Promoting and developing livestock

บทคัดย่อ: บทความวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของสหกรณ์โคเนื้อมือนารอและประเมินผลสัมฤทธิ์การดำเนินงานเชิงประจักษ์ภายใต้โครงการส่งเสริมและพัฒนาการปศุสัตว์ภาคใต้ชายแดนของกลุ่มสหกรณ์โคเนื้อมือนารอ อำเภอระแง จังหวัดนราธิวาส ใช้วิธีการศึกษาด้วยการวิจัยเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ กำหนดกลุ่มผู้มีส่วนร่วมและประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือ ประธานและกรรมการกลุ่มสหกรณ์โคเนื้อมือนารอ จำนวน 2 คน และ กลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 2 กลุ่ม ประกอบด้วย เกษตรกรหรือผู้ประกอบการและวิทยากร จำนวน 15 คน โดยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์ การสังเกต และแบบสอบถามตามตัวแบบซีปและวิเคราะห์ผลด้วยสถิติ

¹วิทยาลัยการจัดการเพื่อการพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา จ.สงขลา 90000

¹Management for Development College, Thaksin University, Songkhla Campus, Songkhla 90000

*Corresponding author: thuanthong@tsu.ac.th

เชิงพรรณนาผลการศึกษาพบว่า เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของสหกรณ์โคนอมือนารอ 2 ผลิตภัณฑ์ คือ ลูกชิ้นเนื้อ และเนื้อฝอย ส่วนระดับการประเมินผลด้วยตัวแบบชิป พบว่า ในภาพรวมเป็นโครงการที่ประสบความสำเร็จอยู่ในระดับดีมาก ด้านบริบทอยู่ในระดับดีมาก โดยระดับมากที่สุด คือ ความเข้าใจเกี่ยวกับเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของโครงการ ด้านปัจจัยนำเข้าอยู่ในระดับดีมาก โดยระดับมากที่สุด คือ ระดับความสอดคล้องระหว่างรูปแบบการพัฒนาผลิตภัณฑ์กับความต้องการของชุมชน ด้านกระบวนการอยู่ในระดับดี โดยระดับมากที่สุด คือ การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของผู้ประกอบการหรือชุมชนระหว่างดำเนินโครงการ และด้านผลที่ได้รับอยู่ในระดับดีมาก โดยระดับมากที่สุด คือ ระดับความพึงพอใจด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและระดับความพึงพอใจด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ

คำสำคัญ: การประเมินผลสัมฤทธิ์, สหกรณ์โคนอมือนารอ, การส่งเสริมและพัฒนาการปศุสัตว์

คำนำ

ยุทธศาสตร์เป็นกลไกขับเคลื่อนองค์การที่สำคัญที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงซึ่งกันและกันระหว่างศักยภาพของผลิตภัณฑ์และตลาด การกำหนดวัตถุประสงค์ในระยะยาว และการสร้างนโยบายที่ทำให้เกิดการบรรลุวัตถุประสงค์ได้ ซึ่งองค์การต้องมีการทบทวนยุทธศาสตร์การพัฒนายอย่างต่อเนื่องเพื่อกำหนดทิศทางดำเนินงานและกำหนดผลกระทบอันเกิดจากโครงสร้างระบบเศรษฐกิจและสังคม (Singh and Garg, 2008) การกำหนดยุทธศาสตร์เพื่อการพัฒนาองค์การในประเทศไทยโดยเฉพาะภาครัฐจำเป็นต้องสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ. 2561 - 2580) (National Strategy Secretariat Office, 2018) ที่ได้กำหนดวิสัยทัศน์ “ประเทศไทยมีความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน เป็นประเทศพัฒนาแล้ว ด้วยการพัฒนาตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง” ภายใต้ประเด็นยุทธศาสตร์ 6 ประเด็น ซึ่งประเด็นยุทธศาสตร์ที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ คือ ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 2 ว่าด้วยขีดความสามารถในการแข่งขันการพัฒนาเศรษฐกิจและการกระจายรายได้ มีเป้าหมายการพัฒนาที่มุ่งเน้นการยกระดับศักยภาพของประเทศในหลากหลายมิติบนพื้นฐานแนวคิด 3 ประการ ได้แก่ (1) “ต่อยอดอดีต” (2) “ปรับปัจจุบัน” และ (3) “สร้างคุณค่าใหม่ในอนาคต” โดยแนวคิดทั้งสามประการเน้นความเชื่อมโยงที่ต้องมองกลับไปที่รากเหง้าทางเศรษฐกิจ อัตลักษณ์วัฒนธรรม และทรัพยากรธรรมชาติที่หลากหลายนำมาประยุกต์

ผสมผสานกับเทคโนโลยีและนวัตกรรม เพื่อให้สอดคล้องกับบริบทของเศรษฐกิจและสังคมโลกสมัยใหม่ เพื่อปูทางสู่อนาคตผ่านการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศทั้งโครงข่ายระบบคมนาคมและขนส่ง โครงสร้างพื้นฐานวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีดิจิทัล และการปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้เอื้อต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมและบริการอนาคตด้วยการเพิ่มศักยภาพของผู้ประกอบการรวมถึงปรับรูปแบบธุรกิจเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาด พร้อมทั้งการสนับสนุนจากภาครัฐให้ประเทศไทยสามารถสร้างฐานรายได้ ขยายโอกาสทางการค้าและการลงทุนในเวทีโลก ควบคู่ไปกับการยกระดับรายได้และการกินดีอยู่ดี รวมถึงการเพิ่มขึ้นของคนชั้นกลางและลดความเหลื่อมล้ำของคนในประเทศได้ในคราวเดียวกัน สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (Office of the National Economic and Social Development Board Office, 2016) มุ่งเน้นการพัฒนาและเร่งดำเนินการในประเด็นท้าทาย คือ การสร้างความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจและแข่งขันได้อย่างยั่งยืนและการสร้างความเข้มแข็งของฐานการผลิตและบริการเดิมและขยายฐานการผลิตและบริการใหม่ที่สร้างรายได้สำหรับประชาชนในภูมิภาค การพัฒนาเมืองให้เติบโตอย่างมีคุณภาพ โดยการบริหารจัดการพื้นที่เศรษฐกิจชายแดนให้เจริญเติบโตและแข่งขันได้อย่างยั่งยืนรวมทั้งการเพิ่มประสิทธิภาพกลไกการขับเคลื่อนการพัฒนาภาคและเมือง ให้เกิดผลอย่างเป็นรูปธรรม โดยภาคใต้มุ่งพัฒนา

เป็นฐานการสร้างรายได้ที่หลากหลาย โดยเฉพาะการเสริมสร้างความเข้มแข็งภาคการเกษตรให้เติบโตอย่างเต็มศักยภาพของห่วงโซ่คุณค่าเพื่อสร้างรายได้ให้กับพื้นที่อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน

จากยุทธศาสตร์ชาติและแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 ข้างต้น ประกอบกับการผลักดันนโยบายการสร้างสันติสุขในกลุ่มจังหวัดภาคใต้ชายแดนด้วยเศรษฐกิจปศุสัตว์ ส่งผลให้สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สป.อว.) ได้รับการสนับสนุนการดำเนินงานภายใต้แผนงานบูรณาการ พัฒนาพื้นที่ระดับภาค (ด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขันของประเทศ) เพื่อนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม (วทน.) มายกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์และคุณภาพชีวิตของผู้ประกอบการและชุมชนเพื่อสร้างโอกาสในการแข่งขันในตลาดและสร้างมูลค่าเพิ่ม สร้างความหลากหลายของสินค้าและบรรจุภัณฑ์การพัฒนากระบวนการตรวจสอบคุณภาพ มาตรฐานสินค้าที่มีประสิทธิภาพ สนับสนุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อทดลองตลาด และสนับสนุนการเข้าถึงโรงงานต้นแบบเพื่อให้มีกำลังการผลิตที่ตอบโจทย์ความต้องการของตลาดในโครงการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์ภาคใต้ชายแดน (Office of the Permanent Secretary, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, 2021)

โครงการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์ภาคใต้ชายแดนของกลุ่มสหกรณ์โคนอมือนารอ อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส ถือเป็นกลุ่มเกษตรกรปศุสัตว์นารอที่มีการนำ วทน. มาช่วยพัฒนาและยกระดับการเลี้ยงโคนอมือในพื้นที่สาม จังหวัดชายแดนภาคใต้ เพื่อให้เกษตรกรผู้ประกอบการอาชีพด้านปศุสัตว์มีทักษะกระบวนการเลี้ยงที่ปลอดภัย ได้มาตรฐานตามหลักสากลที่ปลอดภัยและได้มาตรฐาน รองรับการขายตัวของธุรกิจอาหารฮาลาล เพื่อการจำหน่ายภายในและต่างประเทศ ซึ่งส่งผลทำให้การดำรงชีวิตของกลุ่มเกษตรกร ผู้ประกอบการอาชีพปศุสัตว์มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น จากที่กล่าวมาข้างต้น สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและ

นวัตกรรม ร่วมกับมหาวิทยาลัยทักษิณ ได้มีข้อตกลงความร่วมมือทางวิชาการเพื่อดำเนินการประเมินผลการดำเนินงานและผลกระทบภายใต้โครงการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์ภาคใต้ชายแดน เพื่อสะท้อนผลการดำเนินโครงการที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายของโครงการโดยมีแนวทางการปฏิบัติงานร่วมกัน โดยการวิจัยได้กำหนดวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของสหกรณ์โคนอมือนารอและประเมินผลสัมฤทธิ์การดำเนินงานภายใต้โครงการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์ภาคใต้ชายแดนของกลุ่มสหกรณ์โคนอมือนารอ อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส ซึ่งรายงานผลการประเมินการดำเนินโครงการสามารถนำมาสร้างเป็นชุดข้อมูลต่อยอดการพัฒนาโครงการส่งเสริมและพัฒนาการผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้และพื้นที่อื่น ๆ ต่อไป รวมถึงสามารถนำมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงการวางแผนการดำเนินงานโครงการอื่น ๆ ในลักษณะหรือบริบทเดียวกันต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. ผู้มีส่วนร่วมและประชากรในการวิจัย

ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยเชิงคุณภาพครั้งนี้คือ ประธานและกรรมการกลุ่มสหกรณ์โคนอมือนารอ จำนวน 2 คน ซึ่งเป็นผู้ให้ข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของสหกรณ์โคนอมือนารอในโครงการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์ภาคใต้ชายแดน

ประชากรในการวิจัยเชิงปริมาณครั้งนี้คือกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 2 กลุ่ม ประกอบด้วย เกษตรกรหรือผู้ประกอบการที่มีอยู่ในห่วงโซ่อุปทานของกลุ่มสหกรณ์โคนอมือนารอที่เข้าร่วมยกระดับศักยภาพผลิตภัณฑ์ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม (วทน.) ในโครงการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์ภาคใต้ชายแดน จำนวน 11 คน และวิทยากรผู้ให้บริการถ่ายทอดความรู้ด้านการผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพื้นที่ภาคใต้ชายแดน จำนวน 4 คน รวมประชากรที่ใช้ในการวิจัยทั้งสิ้นจำนวน 15 คนภายใต้ข้อกำหนดของเกณฑ์

ในการคัดเข้าร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียคือ ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกหน่วยต้องเป็นสมาชิกกลุ่มสหกรณ์โคนอเนอมนารอหรือวิทยากรที่เข้าร่วมยกระดับศักยภาพผลิตภัณฑ์ด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และนวัตกรรม (วทน.) ในโครงการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์ภาคใต้ ชายแดนอย่างน้อย 1 กิจกรรม โดยผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต้องมีอายุอยู่ระหว่าง 18 ปี ถึง 59 ปีเท่านั้น และสามารถสื่อสารภาษาไทยได้ โดยใช้เวลาตอบแบบสอบถามประมาณ 10 นาที ส่วนเกณฑ์ในการคัดออกของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียคือ ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เป็นสมาชิกกลุ่มสหกรณ์โคนอเนอมนารอหรือวิทยากรแต่ไม่ประสงค์ตอบแบบสอบถาม

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเชิงคุณภาพคือ การสัมภาษณ์เชิงลึกด้วยแบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง รวมถึงใช้การสังเกตประกอบการสัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการและแม่นยำมากยิ่งขึ้น กล่าวคือ การสัมภาษณ์เชิงลึกดำเนินการกับประธานกลุ่มและสมาชิกกลุ่มเกี่ยวกับบริบททั่วไป และผลการดำเนินงานของกลุ่ม ส่วนการสังเกตเป็นการสังเกตแบบมีส่วนร่วมและการสังเกตแบบไม่มีส่วนร่วม โดยการสังเกตแบบมีส่วนร่วมเป็นการร่วมดำเนินกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับกลุ่ม อาทิ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ และการตลาด ส่วนการสังเกตแบบไม่มีส่วนร่วมเป็นการสังเกตที่ไม่เข้าไปมีส่วนร่วมในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับกลุ่ม อาทิ การอบรมโครงการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์ภาคใต้ชายแดน ประกอบด้วย กลยุทธ์การตลาด SMEs แนวทางและกระบวนการเขียนแผนธุรกิจ การสร้างตราสินค้า การจัดทำงบประมาณ กระบวนการคิดเชิงออกแบบ และการประเมินความเป็นไปได้ของแผนธุรกิจ

นอกจากนี้กำหนดให้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือการวิจัยเชิงปริมาณ เพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์การดำเนินงานเชิงประจักษ์ ซึ่งเป็นแบบสอบถามแบบมีโครงสร้างประกอบด้วยคำถามทั้งปลายปิดและปลายเปิด โดยประเด็นคำถามแตกต่างตามรายละเอียดของแนวปฏิบัติการดำเนินโครงการเพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์การดำเนินงานเชิงประจักษ์โดย

อาศัยตัวแบบชิป (CIPP Model) ที่ประกอบด้วยด้านบริบท (context) ด้านปัจจัยนำเข้า (input) ด้านกระบวนการ (process) และด้านผลที่ได้รับ (product) (Stufflebeam and Coryn, 2014) โดยเครื่องมือดังกล่าวได้ผ่านการกลั่นกรองความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาจากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 คน ในสาขาวิชาที่หลากหลายสำหรับแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินผลสัมฤทธิ์การดำเนินงานเชิงประจักษ์ของโครงการทั้ง 4 ด้าน มีการให้คะแนนผลสัมฤทธิ์การดำเนินงานในแต่ละตัวชี้วัดที่ประเมินในแต่ละด้านตั้งแต่ระดับ 0-10 คะแนน

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการดำเนินงานภาคสนาม โดยข้อมูลการวิจัยเชิงคุณภาพได้จากการสัมภาษณ์ในลักษณะการสัมภาษณ์เชิงลึก รวมทั้งการสังเกตการณ์แบบมีส่วนร่วมและแบบไม่มีส่วนร่วม ส่วนข้อมูลการวิจัยเชิงปริมาณได้จากแบบสอบถาม

ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นการรวบรวมข้อมูลจากการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินโครงการอื่น ๆ ตลอดจนการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมและพัฒนาผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับโคนอเนอมนารอเพื่อมาประกอบประเมินโครงการ

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและตรวจสอบความสมบูรณ์ถูกต้องของข้อมูลเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลที่ได้อาจจำแนก จัดประเภท และดำเนินการประมวลผลข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องแม่นยำครอบคลุมวัตถุประสงค์การวิจัย หลังจากนั้นนำผลการวิจัยที่ได้จากการประมวลผลมาทำการวิเคราะห์เชื่อมโยงความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์และกรอบการประเมินผลสัมฤทธิ์โดยข้อมูลจากแบบสอบถามที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย (μ) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ส่วนการแปลผลคะแนนใช้การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การดำเนินงานเชิงประจักษ์กับเกณฑ์การให้คะแนน

ของทุกตัวชี้วัดที่กำหนดไว้ในโครงการภายใต้กรอบการประเมิน โดยสรุปผลคะแนนตามเกณฑ์การพิจารณาทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านบริบท ด้านปัจจัยนำเข้า ด้านกระบวนการ และด้านผลที่ได้รับ ซึ่งมีเกณฑ์การแปลผลคะแนน ดังนี้

ระดับคะแนน 9.00-10.00 หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ระดับดีมาก

ระดับคะแนน 7.50-8.99 หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ระดับดี

ระดับคะแนน 6.00-7.49 หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ระดับปานกลาง

ระดับคะแนน 5.00-5.99 หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ระดับปรับปรุง

ระดับคะแนน 0.00 -4.99 หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ระดับไม่ผ่าน

ส่วนโดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ และการสังเกตที่เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ ดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและนำเสนอในลักษณะการพรรณนา

ผลการทดลอง

การประเมินผลสัมฤทธิ์เชิงประจักษ์ของกลุ่มสหกรณ์โคเนื้อมือนารอ จังหวัดนราธิวาส สามารถอธิบายผลการศึกษาออกเป็น 2 ประเด็นสำคัญคือ ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของสหกรณ์โคเนื้อมือนารอ และผลสัมฤทธิ์การดำเนินงานเชิงประจักษ์ของกลุ่มสหกรณ์โคเนื้อมือนารอ

1. ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของสหกรณ์โคเนื้อมือนารอ

จากการสัมภาษณ์ประธานและกรรมการกลุ่มสหกรณ์โคเนื้อมือนารอ พบว่า การพัฒนาผลิตภัณฑ์ของสหกรณ์โคเนื้อมือนารอ ภายใต้การส่งเสริมและสนับสนุนของสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สอ.อว.) ซึ่งได้รับงบประมาณภายใต้แผนงานบูรณาการพัฒนาพื้นที่ระดับภาค (ด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขันของประเทศ) เพื่อนำ

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม (วทน.) มายกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์และคุณภาพชีวิตของผู้ประกอบการและชุมชนเพื่อสร้างโอกาสในการแข่งขันในตลาดและสร้างมูลค่าเพิ่ม สร้างความหลากหลายของสินค้าและบรรจุภัณฑ์ การพัฒนาระบบตรวจริบรองคุณภาพมาตรฐานสินค้าที่มีประสิทธิภาพ สนับสนุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อทดลองตลาด และสนับสนุนการเข้าถึงโรงงานต้นแบบเพื่อให้มีกำลังการผลิตที่ตอบโจทย์ความต้องการของตลาดภายใต้โครงการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์ภาคใต้ชายแดน ทางกลุ่มสหกรณ์โคเนื้อมือนารอ ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้นภายใต้การสนับสนุนความรู้จากมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ลูกชิ้นเนื้อและเนื้อฝอย ดังนี้

1.1 ลูกชิ้นเนื้อ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นใหม่มีความนุ่มเคี้ยวด้วยสูตรเฉพาะและไม่ใช้สารปรุงแต่งอื่นใดมาผสม ไม่มีกลิ่นคาวของเนื้อแต่ยังได้รสชาติดีของเนื้อชัดเจน และมีกระบวนการผลิตตามหลักการอาหารฮาลาล ขนาดจำหน่าย 3 ลูก ต่อ 1 ไม้ที่ถูกบรรจุในซองจำนวน 4 ไม้ มีอายุการเก็บรักษาโดยการแช่เย็น อุณหภูมิ 0 - 5 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยประมาณ 342.40 บาทต่อกิโลกรัม และราคาจำหน่ายไม้ละ 15 บาท ซองละ 60 บาท

1.2 เนื้อฝอย เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องพัฒนาขึ้นใหม่เช่นกัน วัตถุดิบหลักมาจากเนื้อวัวที่เหลือจากการจัดจำหน่ายเนื้อสด ได้ร่วมคิดหาวิธีที่จะไม่ทำให้เนื้อเสียไปแบบเปล่าประโยชน์และได้นำมาแปรรูปเป็นเนื้อฝอย ขนาดจำหน่าย 100 กรัมต่อกระปุก มีอายุการเก็บรักษาในอุณหภูมิห้องได้นาน 14 วัน ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจำหน่าย 451 บาทต่อกิโลกรัม และราคาจำหน่ายกระปุกละ 150 บาท

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปสาระสำคัญของพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดัง (Table 1)

Table 1 Product development of Menara Beef Cattle Cooperative.

Product	Story	Size	Shelf life	Cost of Production	Price
Meatball	It is a development of meatball products that are soft and bouncy with a special recipe and do not use any other additives. The meat does not have a fishy smell, yet it retains a distinct meat taste.	3 meatballs on 1 stick 4 sticks in vacuum-sealed bag	7 days when stored refrigerated at 0–5 degrees Celsius	342.40 Baht per kilogram	15 Baht per stick 60 Baht per vacuum-sealed bag
Shredded meat	Farmers developed this product using leftover beef from fresh meat distribution. They have jointly thought of ways to prevent the meat from going to waste and have processed it into shredded meat.	100 grams per jar	14 days can be stored at room temperature	451 Baht per kilogram	150 Baht per jar

นอกจากนี้ประธานและกรรมการกลุ่มสหกรณ์โคเนื้อเมืองนารอ ได้ให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่าโครงการดังกล่าวได้ดำเนินการพัฒนาบรรจุภัณฑ์พร้อมกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ บรรจุภัณฑ์ลูกชิ้นเนื้อ มีลักษณะเป็นถุงใสซีลสุญญากาศ ขนาด 20x30 เซนติเมตร ติดสติ๊กเกอร์ด้านหน้าบรรจุภัณฑ์จะมีภาพและรายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ปรากฏด้านหน้าบรรจุภัณฑ์ อาทิ ตราสินค้ากลุ่ม

ส่วนประกอบสำคัญ ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย วันที่ผลิต และวันที่หมดอายุ ส่วนบรรจุภัณฑ์เนื้อผอย มีลักษณะเป็นกระปุกใสดำ 8.5 x 8.5 เซนติเมตร ติดสติ๊กเกอร์บนบรรจุภัณฑ์จะมีภาพและรายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ปรากฏด้านหน้าบรรจุภัณฑ์ อาทิ ตราสินค้ากลุ่ม ส่วนประกอบสำคัญ ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย วันที่ผลิต และวันที่หมดอายุ ซึ่งสามารถสรุปสาระสำคัญของการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ดัง (Table 2)

Table 2 Packaging development of Menara Beef Cattle Cooperative.

Product	Package Pattern	Size	Label	Description
Meatball	Vacuum-sealed bag	20 x 30 cm.	Color sticker	The product features include the group logo, key ingredients, price, weight, manufacturer, distributor, manufacturing date, and expiration date.
Shredded meat	Plastic jar with black cap	8.5 x 8.5 cm.	Color sticker	The product features include the group logo, key ingredients, price, weight, manufacturer, distributor, manufacturing date, and expiration date.

2. ผลประเมินการดำเนินงานของกลุ่ม สหกรณ์โคเนื้อมือนารอ

จากการประเมินผลการดำเนินงานกลุ่ม

สหกรณ์โคเนื้อมือนารอ อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส
สามารถแสดงผลคะแนนภาพรวมอธิบายรายละเอียด
ดัง (Table 3)

Table 3 Performance Evaluation of Menara Beef Cattle Cooperative.

(F = 11, S = 4, N = 15)

Element	Farmer (F) μ (σ) Level	Staff (S) μ (σ) Level	Total (N) μ (σ) Level
Context	9.45 (0.67) Excellence	9.92 (0.17) Excellence	9.69 (1.59) Excellence
Input	9.56 (0.59) Excellence	9.75 (0.42) Excellence	9.66 (0.54) Excellence
Process	7.78 (1.50) Good	8.25 (0.61) Good	8.02 (0.64) Good
Product	9.62 (0.63) Excellence	10.00 (0.00) Excellence	9.81 (0.32) Excellence
CIPP Model	9.10 (0.85) Excellence	9.48 (0.30) Excellence	9.29 (0.77) Excellence

จากผลคะแนนการประเมินพบว่า โครงการ
ในภาพรวมเป็นโครงการที่ประสบความสำเร็จอยู่
ในระดับดีมาก ($\mu = 9.29$, $\sigma = 0.77$) ซึ่งผลการประเมิน
แต่ละด้านอยู่ในระดับดีมากและดี โดยเรียงลำดับ
จากผลคะแนนมากไปน้อย ดังต่อไปนี้ ด้านผลที่ได้รับ
(Product) อยู่ในระดับดีมาก ($\mu = 9.81$, $\sigma = 0.32$)
ด้านบริบท (Context) อยู่ในระดับดีมาก ($\mu = 9.69$,
 $\sigma = 1.59$) ด้านปัจจัยนำเข้า (Input) อยู่ในระดับดีมาก
($\mu = 9.66$, $\sigma = 0.54$) และด้านกระบวนการ (Process)
อยู่ในระดับดี ($\mu = 8.02$, $\sigma = 0.64$) ตามลำดับ
ดัง (Table 3) สรุปรายละเอียดผลการดำเนินงาน
แต่ละด้านได้ดังต่อไปนี้

1. ด้านบริบท

จากผลการประเมินด้านบริบท
(Context) มีผลสำเร็จอยู่ในระดับดีมาก ($\mu = 9.69$,
 $\sigma = 1.59$) ซึ่งผลการประเมินแต่ละรายการอยู่ใน
ระดับดีมาก โดยเรียงลำดับจาก ผลคะแนนมากไป
น้อย ดังต่อไปนี้ ระดับความเข้าใจเกี่ยวกับเป้าหมาย
หรือวัตถุประสงค์ของโครงการ ($\mu = 9.78$, $\sigma = 0.26$)
ระดับความจำเป็นของโครงการที่มีต่อสถานการณ์และ
พื้นที่ ($\mu = 9.72$, $\sigma = 0.41$) และระดับความสอดคล้อง
ของโครงการกับนโยบายรัฐบาล ($\mu = 9.56$, $\sigma = 0.89$)
ตามลำดับ ดัง (Table 4)

Table 4 Context Evaluation of Menara Beef Cattle Cooperative.

(F = 11, S = 4, N = 15)

1. Context and Key performance indicators	Farmer (F) μ (σ) Level	Staff (S) μ (σ) Level	Total (N) μ (σ) Level
1.1 Need and requirement analysis	9.45 (0.82) Excellence	10.00 (0.00) Excellence	9.72 (0.41) Excellence
1.1.1 Level of need for the project toward situation and area			
1.2 Project objective	9.55 (0.52) Excellence	10.00 (0.00) Excellence	9.78 (0.26) Excellence
1.1.2 Level of understanding for the project objective and goal			
1.3 Policy relevance	9.36 (0.67) Excellence	9.75 (0.50) Excellence	9.56 (0.89) Excellence
1.1.3 Level of relevance between project and government policy in the Southern Deep			
Total	9.45 (0.67) Excellence	9.92 (0.17) Excellence	9.69 (1.59) Excellence

2. ด้านปัจจัยนำเข้า

จากผลการประเมินด้านปัจจัยนำเข้า (Input) มีผลสำเร็จอยู่ในระดับดีมาก ($\mu = 9.66$, $\sigma = 0.54$) ซึ่งผลการประเมินแต่ละรายการทั้งหมดอยู่ในระดับดีมาก โดยเรียงลำดับจากผลคะแนนมากไปน้อย ดังต่อไปนี้ ระดับความสอดคล้องระหว่างรูปแบบการพัฒนาผลิตภัณฑ์กับความต้องการของชุมชน ($\mu = 9.80$, $\sigma = 0.33$) ระดับความพร้อมของวัสดุอุปกรณ์

ในการจัดทำผลิตภัณฑ์หรือดำเนินการตามวัตถุประสงค์ ($\mu = 9.76$, $\sigma = 0.46$) ระดับความรู้ความสามารถในการถ่ายทอดของวิทยากร ($\mu = 9.69$, $\sigma = 0.50$) ระดับความสามารถและการประสานงานของผู้ประสานงานโครงการ ($\mu = 9.57$, $\sigma = 0.54$) และระดับความพร้อมของคนที่เข้าร่วมโครงการ ($\mu = 9.47$, $\sigma = 0.69$) ตามลำดับ ดัง (Table 5)

Table 5 Input Evaluation of Menara Beef Cattle Cooperative.

(F = 11, S = 4, N = 15)

2. Input and Key performance indicators	Farmer (F) μ (σ) Level	Staff (S) μ (σ) Level	Total (N) μ (σ) Level
2.1 Manpower readiness	9.18 (0.87) Excellence	9.75 (0.50) Excellence	9.47 (0.69) Excellence
2.1.1 Level of readiness for project participant			
2.2 Service deliverer	9.63 (0.50) Excellence	9.75 (0.50) Excellence	9.69 (0.50) Excellence
2.2.1 Level of knowledge and understanding for training staffs			
2.3 Project coordinator	9.63 (0.50) Excellence	9.50 (0.58) Excellence	9.57 (0.54) Excellence
2.3.1 Level of ability and coordinating for project coordinator			
2.4 Product development pattern	9.60 (0.66) Excellence	10.00 (0.00) Excellence	9.80 (0.33) Excellence
2.4.1 Level of relevance between product development pattern and communities' need			
2.5 Material readiness	9.77 (0.41) Excellence	9.75 (0.50) Excellence	9.76 (0.46) Excellence
2.5.1 Level of readiness for project material to produce the product and operation			
Total	9.56 (0.59) Excellence	9.75 (0.42) Excellence	9.66 (0.54) Excellence

3. ด้านกระบวนการ

จากผลการประเมินด้านกระบวนการ (Process) มีผลสำเร็จอยู่ในระดับดี ($\mu = 8.02$, $\sigma = 0.64$) ซึ่งผลการประเมินแต่ละรายการส่วนใหญ่อยู่ในระดับดีมากและไม่ผ่าน โดยเรียงลำดับจากผลคะแนนมากไปน้อย ดังต่อไปนี้ ระดับการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของผู้ประกอบการหรือชุมชนระหว่างดำเนินโครงการอยู่ในระดับดีมาก ($\mu = 9.86$, $\sigma = 0.24$) ระดับการให้บริการที่เป็นประโยชน์จากการเข้าร่วมโครงการอยู่ในระดับ

ดีมาก ($\mu = 9.78$, $\sigma = 0.35$) ระดับความเหมาะสมของระบบหรือกลไกในการคัดเลือกกลุ่มเป้าหมายเข้าร่วมโครงการอยู่ในระดับดีมาก ($\mu = 9.60$, $\sigma = 0.51$) และระดับการติดตามหรือประเมินผลการดำเนินโครงการอยู่ในระดับดีมาก ($\mu = 9.60$, $\sigma = 0.51$) ตามลำดับ ส่วนระดับการการประชุมหรือพบปะพูดคุยเกี่ยวกับโครงการก่อนเริ่มดำเนินโครงการอยู่ในระดับไม่ผ่าน ($\mu = 1.24$, $\sigma = 1.41$) ดัง (Table 6)

Table 6 Process Evaluation of Menara Beef Cattle Cooperative.

(F = 11, S = 4, N = 15)

3. Process and Key performance indicators	Farmer (F) μ (σ) Level	Staff (S) μ (σ) Level	Total (N) μ (σ) Level
3.1 Community' s need survey	0.72 (0.79) Fail	1.75 (2.06) Fail	1.24 (1.41) Fail
3.1.1 Level of meeting/discussion before operating project			
3.2 Target group selection	9.45 (0.52) Excellence	9.75 (0.50) Excellence	9.60 (0.51) Excellence
3.2.1 Level of appropriate system or mechanism for target group selection to participate in project			
3.3 Communication	9.72 (0.47) Excellence	10.00 (0.00) Excellence	9.86 (0.24) Excellence
3.3.1 Level of knowledge sharing and learning for entrepreneur and community member during participating in project			
3.4 Service delivery	9.55 (0.69) Excellence	10.00 (0.00) Excellence	9.78 (0.35) Excellence
3.4.1 Level of service delivery dealing with utilities from participating in project			
3.5 Follow up project	9.45 (0.52) Excellence	9.75 (0.50) Excellence	9.60 (0.51) Excellence
3.5.1 Level of follow up and evaluation			
Total	7.78 (1.50) Good	8.25 (0.61) Good	8.02 (0.64) Good

4. ด้านผลลัพธ์

จากผลการประเมินด้านผลที่ได้รับ (Product) มีผลสำเร็จอยู่ในระดับดี ($\mu = 9.81$, $\sigma = 0.32$) ซึ่งผลการประเมินแต่ละรายการอยู่ในระดับดีมาก โดยเรียงลำดับจากผลคะแนนมากไปน้อย ดังต่อไปนี้ ระดับความพึงพอใจด้านสิ่งอำนวยความสะดวก

สะดวก และระดับความพึงพอใจด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ ($\mu = 9.90$, 9.90 $\sigma = 0.21$, 0.20) ระดับความพึงพอใจด้านช่องทางการติดต่อสอบถาม ($\mu = 9.73$, $\sigma = 0.38$) และระดับความพึงพอใจด้านขั้นตอนการดำเนินงาน ($\mu = 9.71$, $\sigma = 0.49$) ตามลำดับ ดัง (Table 7)

Table 7 Product Evaluation of Menara Beef Cattle Cooperative.

(F = 11, S = 4, N = 15)

4. Product and Key performance indicators	Farmer (F) μ (σ) Level	Staff (S) μ (σ) Level	Total (N) μ (σ) Level
4.1 Project Satisfaction			
4.1.1 Level of satisfaction for operation process	9.42 (0.97) Excellence	10.00 (0.00) Excellence	9.71 (0.49) Excellence
4.1.2 Level of satisfaction for information and contact channel	9.45 (0.75) Excellence	10.00 (0.00) Excellence	9.73 (0.38) Excellence
4.1.3 Level of satisfaction for service staffs	9.80 (0.39) Excellence	10.00 (0.00) Excellence	9.90 (0.20) Excellence
4.1.4 Level of satisfaction for infrastructure and facilities	9.79 (0.41) Excellence	10.00 (0.00) Excellence	9.90 (0.21) Excellence
Total	9.62 (0.63) Excellence	10.00 (0.00) Excellence	9.81 (0.32) Excellence

วิจารณ์

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของสหกรณ์โคนมมีोनารออกมาเป็น 2 ผลิตภัณฑ์คือ ลูกชิ้นเนื้อและเนื้อผอย ถือว่าอยู่บนหลักการของการนำเศษเหลือและส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้น้อยมาสร้างมูลค่าเพิ่มผ่านกระบวนการคิดค้นผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ความต้องการของตลาดและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ให้โดดเด่นจากการสนับสนุนงบประมาณการดำเนินงานวิจัยจากสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ให้แก่สถาบันอุดมศึกษาของรัฐเป็นกลไกดำเนินงานบนฐานความรู้และศักยภาพถือเป็นแนวทางปฏิบัติที่ดี ซึ่งเป็นไปตามผลการวิจัยของ Al-Ghaswyneh (2023) ที่ค้นพบว่า ภาคการผลิตปศุสัตว์ทั้งปัจจัยการผลิต ตลาด และข้อกำหนดมาตรฐานมีผลกระทบทางตรงต่อความมั่นคงและยุทธศาสตร์ทางอาหาร นอกจากนี้ ยังเน้นย้ำถึงความจำเป็นที่หน่วยงานภาครัฐต้องให้ความสำคัญกับภาคการผลิตปศุสัตว์ อาทิ การลดภาษีเงินได้ของเกษตรกรปศุสัตว์และลดต้นทุนปศุสัตว์ หน่วยงานภาครัฐควรอำนวยความสะดวกให้กับการเจรจาทางการค้าที่สร้างสรรค์เพื่อสร้างตลาดโลกสำหรับการส่งออกผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ นอกจากนี้ภาครัฐควรเป็นหน่วยเชื่อมโยงกระบวนการผลิตและกระบวนการตลาดทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับระหว่างประเทศ และต้องอาศัยการสนับสนุนจากหน่วยสร้างองค์ความรู้ทั้งเรื่องแหล่งอาหารสัตว์และการจัดตั้งตลาดสำหรับการฆ่า การบรรจุ และการขายเนื้อสัตว์ประเภทเศษเหลือหรือประเภทเฉพาะ ส่วนผลการศึกษาของ Barua et al. (2021) สนับสนุนผลการศึกษารังนี้ว่า การพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับการเรียนรู้ การลงทุน การเข้าถึงตลาด การรับประกันการขาย และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์มีความเชื่อมโยงประสานกันเป็นห่วงโซ่คุณค่า ซึ่งการพัฒนาเกษตรกรให้มีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการผลิตปศุสัตว์และเข้าใจการทำงานของห่วงโซ่อุปทานเหมาะสมเป็นสิ่งที่จะต้องดำเนินการและสนับสนุนอย่างเป็นระบบเพื่อยกระดับการผลิตการเลี้ยงและการแปรรูปปศุสัตว์ให้อยู่ในระดับมาตรฐาน

ส่วนผลการประเมินในภาพรวมถือว่าเป็นโครงการที่ประสบความสำเร็จอยู่ในระดับดีมาก และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านที่เรียงลำดับจากค่าคะแนน

สูงสุดไปยังค่าคะแนนน้อยที่สุดตามตัวแบบชิป (CIPP model) ปรากฏว่า ด้านผลที่ได้รับ (Product) อยู่ในระดับดีมาก ($\mu = 9.81$, $\sigma = 0.32$) มีค่าคะแนนสูงสุดรองลงมาคือ ด้านบริบท (Context) อยู่ในระดับดีมาก ($\mu = 9.69$, $\sigma = 1.59$) ด้านปัจจัยนำเข้า (Input) อยู่ในระดับดีมาก ($\mu = 9.66$, $\sigma = 0.54$) ตามลำดับ และด้านกระบวนการ (Process) อยู่ในระดับดี ($\mu = 8.02$, $\sigma = 0.64$) มีค่าคะแนนน้อยที่สุด ซึ่งจากผลการประเมินจำเป็นต้องมีการทบทวนด้านกระบวนการดำเนินงานให้มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะประเด็นการประชุมหรือพบปะพูดคุยเกี่ยวกับโครงการก่อนเริ่มดำเนินโครงการที่อยู่ในระดับไม่ผ่าน แสดงให้เห็นว่า ก่อนดำเนินโครงการจำเป็นต้องเพิ่มกระบวนการมีส่วนร่วมให้มากขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ตัวแบบชิปในการประเมินโครงการถือว่ามีความเหมาะสมเนื่องจากทำให้เห็นพลวัตและห่วงโซ่คุณค่าของโครงการอย่างชัดเจนรวมถึงเป็นประโยชน์กับกลุ่มเกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถมองเห็นจุดแข็งและจุดอ่อนของการดำเนินโครงการอันนำไปสู่การพัฒนากระบวนการผลิตปศุสัตว์ที่ยั่งยืนได้ ซึ่งสอดคล้องกับความเห็นของ Chaiphawang (2019) ที่ว่า “การประเมินผลโดยการใช้ CIPP Model ทำให้เห็นว่า การสร้างความยั่งยืนของวิสาหกิจชุมชนจำเป็นต้องอาศัยการประเมินกระบวนการตั้งแต่เริ่มต้น จนถึงสิ้นสุดโครงการ เพื่อให้สามารถวัดผลการดำเนินงานในแต่ละระยะได้อย่างมีประโยชน์ คือ วิสาหกิจชุมชนก่อตั้งขึ้นภายใต้บริบทของชุมชนอย่างแท้จริง ผลิตภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์ ที่มาจากทรัพยากรในชุมชน มีการสร้างสรรค์สินค้าภายใต้ความคิดสร้างสรรค์ของวิสาหกิจชุมชน มีการดำเนินงานอย่างเป็นระบบภายใต้การจัดการเชิงกลยุทธ์อย่างมีอาชีพ เพื่อสร้างความยั่งยืนให้เกิดขึ้นแก่วิสาหกิจชุมชนและประชาชนท้องถิ่น อย่างไรก็ตามผลการศึกษาของ Singjai and Limnirankul (2018) ศึกษาการดำเนินกิจกรรมด้านการเกษตรของโครงการยุวเกษตรกรในโรงเรียนศึกษาสงเคราะห์เชียงใหม่ โดยใช้รูปแบบการประเมินแบบ CIPP Model กลับพบว่า ผลการดำเนินกิจกรรมตามตัวแบบชิปนั้น ด้านปัจจัยนำเข้ามีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ ด้านกระบวนการ ด้านบริบท และ

ด้านผลที่ได้รับ ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันผลการศึกษารายของ Prakobkit and Madchoochot (2023) ก็มีข้อสรุปที่แตกต่างจากผลการวิจัยเช่นกัน ซึ่งพบว่าผลการประเมินโครงการยกระดับเศรษฐกิจและสังคมรายตำบลแบบบูรณาการของวิทยาลัยชุมชนสงขลาโดยรวมผลการดำเนินงานอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ทุกด้านอยู่ในระดับมากด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ด้านกระบวนการ รองลงมาคือด้านผลที่ได้รับ ด้านบริบท และด้านปัจจัยนำเข้า ตามลำดับ ทั้งนี้จากที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของผลการดำเนินงานตามตัวแบบชิปแต่ละโครงการอย่างเป็นเอกภาพโดยการให้ค่าความสำคัญขององค์ประกอบตัวแบบชิปย่อมขึ้นอยู่กับบริบทของแต่ละโครงการ

การดำเนินโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของสหกรณ์โคนนมมือนารอจำเป็นต้องมีกลยุทธ์ที่สามารถเชื่อมโยงแต่ละกลไกเข้าด้วยกัน ซึ่งจากผลการดำเนินโครงการสามารถกำหนดกลยุทธ์การขับเคลื่อนเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการดำเนินงานโดยอาศัยกลไกที่สำคัญ คือ การจัดการความรู้ การสร้างเครือข่าย และการผลิตชุดข้อมูลขับเคลื่อน กล่าวคือ กลไกแรกคือ การจัดการความรู้ เป็นการสร้างความรู้ความเข้าใจทั้งเกษตรกรในฐานะผู้ประกอบการและคู่เจรจา คู่ค้าในบริบททางเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม จะนำมาซึ่งการออกแบบและวางแผนการผลิตสินค้าให้สามารถตอบสนองความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคได้อย่างถูกต้องตรงจุด ส่วนกลไกที่สองคือ การสร้างเครือข่ายการผลิตและการตลาดที่ต้องดำเนินงานผ่านการจัดงานเจรจาทางการค้ากับผู้ประกอบการ การจัดแสดงและสาธิตผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ซึ่งเครือข่ายถือเป็นสิ่งสำคัญที่จะสร้างความกว้างขวางก้าวไกลและหลากหลายของการผลิตและการตลาดให้กับผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์ กลไกสุดท้ายคือ การผลิตชุดข้อมูลเพื่อใช้ขับเคลื่อนการตัดสินใจสำหรับรูปแบบการผลิต ช่องทางการตลาดและโอกาสทางการค้าทั้งในประเทศและต่างประเทศ ถือเป็นอีกพันธกิจสำคัญ เนื่องด้วยปัจจุบันข้อมูลถือเป็นทรัพยากรที่ล้ำค่าสำหรับการดำเนินธุรกิจ การได้ครอบครองข้อมูลจะทำให้กลุ่มสามารถมองเห็นภาพอนาคตของการดำเนินงานได้อย่างชัดเจน วัดได้

และเป็นจริง ดังนั้นกลยุทธ์ขับเคลื่อนผลิตภัณฑ์ของสหกรณ์โคนนมมือนารอจำเป็นต้องอาศัยสามกลไกดังกล่าวมาประสานกันอย่างเป็นระบบเพื่อก่อให้เกิดสัมฤทธิ์ผลในการดำเนินงานการผลิตและการตลาดอย่างเป็นรูปธรรมและเกิดผลเชิงประจักษ์

สรุป

การดำเนินโครงการร่วมกับระหว่างเกษตรกรและหน่วยงานภาครัฐส่งผลเกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของสหกรณ์โคนนมมือนารอได้ 2 ผลิตภัณฑ์คือ ลูกชิ้นเนื้อและเนื้อฝอย และการประเมินผลสัมฤทธิ์ด้วยตัวแบบชิปพบว่า โครงการในภาพรวมเป็นโครงการที่ประสบความสำเร็จอยู่ในระดับดีมาก โดยเรียงลำดับจากผลคะแนนมากไปน้อย ดังต่อไปนี้

ด้านผลที่ได้รับ (Product) มีค่าคะแนนสูงสุดและผลสำเร็จอยู่ในระดับดีมาก ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ รองลงมาคือด้านบริบท (Context) มีผลสัมฤทธิ์อยู่ในระดับดีมาก โดยเฉพาะระดับความเข้าใจเกี่ยวกับเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของโครงการ ด้านปัจจัยนำเข้า (Input) มีผลสำเร็จอยู่ในระดับดีมาก โดยเฉพาะระดับความสอดคล้องระหว่างรูปแบบการพัฒนาผลิตภัณฑ์กับความต้องการของชุมชน และด้านกระบวนการ (Process) มีค่าคะแนนน้อยที่สุดและมีผลสำเร็จอยู่ในระดับดี อย่างไรก็ตามด้านกระบวนการรายการส่วนใหญ่มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก โดยเฉพาะระดับการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของผู้ประกอบการหรือชุมชนระหว่างดำเนินโครงการอยู่ในระดับดีมาก ส่วนระดับการประชุมหรือพบปะพูดคุยเกี่ยวกับโครงการก่อนเริ่มดำเนินโครงการอยู่ในระดับไม่ผ่าน สำหรับข้อเสนอแนะผลการวิจัยครั้งนี้คือการดำเนินโครงการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์ภาคใต้ชายแดนต้องให้ความสำคัญกับการประเมินด้านกระบวนการให้มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการประเมินการมีส่วนร่วมก่อนการเริ่มโครงการที่ต้องให้ความสนใจอย่างเคร่งครัดและจริงจังมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ในการวิจัยครั้งต่อไปควรนำเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินโครงการอื่นๆ มาปรับใช้เพื่อศึกษาเชิงเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้มาจากโครงการประเมินผลการดำเนินงานและประเมินผลลัพธ์มูลค่าเพิ่มภายใต้โครงการส่งเสริมการเลี้ยงปศุสัตว์ภาคใต้ชายแดนของกลุ่มสหกรณ์โคเนื้อมีอนารอ อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ผู้เขียนขอขอบคุณรองศาสตราจารย์สุพัตรา จุณณะปิยะ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ Professor Dr. Samihah Khalil @ Halim Universiti Utara Malaysia ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยาลัยการจัดการเพื่อการพัฒนา และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ในฐานะหน่วยงานต้นสังกัดที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

- Al-Ghaswyneh, O.F.M. 2023. Marketing in the livestock sector and its impact on food security in Saudi Arabia. *Journal of Business & Industrial Marketing* 38(5): 1191-1202. <https://doi.org/10.1108/JBIM-08-2021-0363>
- Barua, P., S.H. Rahman and M. Barua. 2021. Sustainable value chain approach for livestock-based livelihood strategies for communities of the southeastern coast of Bangladesh. *Modern Supply Chain Research and Applications* 3(3): 191-225. <https://doi.org/10.1108/MS CRA-08-2020-0021>
- Chaiphawang, K. 2019. The application of CIPP model to evaluate sustainability of communities based enterprises those implemented creative economy strategies. *Journal of Management Science Chiangrai Rajabhat University* 13(2): 60-84.
- National Strategy Secretariat Office. 2018. Thailand's National Strategy A.D. 2018 - 2037: Summary. Office of the National Economic and Social Development Board. Bangkok, Thailand. 22 p.
- Office of the Permanent Secretary, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation. 2021. Memorandum of understanding on the southern border livestock promotion project (Implementing technology and innovation to increase production standards and developing the potential of commercial livestock product development) for fiscal year 2021. Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation. Bangkok, Thailand. 13 p.
- Office of the National Economic and Social Development Board. 2016. The 12th National Economic and Social Development Plan 2017-2021. Office of the Prime Minister. Bangkok, Thailand. 33 p.
- Prakobkit, O. and W. Madchoochot. 2023. Assessment of the project for enhancing the economic and social level of each sub-district (U2T) using CIPP Model : A case study of Songkhla Community College. *Institute of Vocational Education Southern Journal* 3(2): 63-74.
- Singh, R. K. and S. K. Garg. 2008. Strategy development by SMEs for competitiveness: a review. *Benchmarking: An International Journal* 15(5): 525-547.
- Singjai, S. and B. Limnirankul. 2018. Success in implementation of agricultural activities of young farmer project in Sueksa Songkhro Chiang Mai School. *Journal of Agriculture* 34(3): 491-500.
- Stufflebeam, D. L. and C.L.S. Coryn. 2014. Evaluation theory, models, & applications. 2nd ed. Jossey-Bass, San Francisco, CA. 800 p.

ผลของสารละลายน้ำตาลซูโครสและการบรรจุแบบสุญญากาศ
ต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาแช่เยือกแข็ง

The Effects of Sucrose Solution and Vacuum Packaging on β -carotene Content in Frozen
Champedak (*Artocarpus integer* Merr.) Pulp

จตุพร คงทอง^{1*}, จันทิรา วงศ์วิเชียร¹, จุฑามรณ ลิ้มสุวรรณมณี¹, นฤมล มีบุญ¹
Jatuporn Khongtong^{1*}, Chantira Wongwichien¹, Jutaporn Limsuwanmanee¹ and
Naruemon Meeboon¹

Received: October 24, 2024

Revised: January 2, 2025

Accepted: January 6, 2025

Abstract: Champedak is a distinctive fruit of Nakhon Si Thammarat province and a significant source of β -carotene for local residents. This study aimed to investigate the effects of soaking chapedak pulp in sucrose solutions at concentrations of 20°Brix and 40°Brix, as well as vacuum packaging, on the β -carotene content and color quality of frozen champedak pulp to compare with fresh champedak. Experiment was conducted after defrost the frozen champedak. Quality assessments were conducted at 0 and 6 months. The results showed that cell damage by freezing process was significantly reduced the β -carotene content ($p \leq 0.05$). Soaking champedak pulp in 40°Brix sucrose solutions could preserve the β -carotene content. However, vacuum packaging did not significantly affect the β -carotene content or color quality ($p > 0.05$). This study suggests that using high concentrations of sucrose solution combined with techniques to reduce ice crystal size could be a promising approach to preserving β -carotene in frozen champedak pulp. Although the β -carotene content in champedak may be lower than that in other fruits, consuming locally produced food promotes the utilization of native plants, contributing to long-term food security.

Keywords: Beta-carotene, Champedak, Frozen, Sucrose, Vacuum

บทคัดย่อ: จำปาตะ เป็นผลไม้เอกลักษณ์ของจังหวัดนครศรีธรรมราชและเป็นพืชที่เป็นแหล่งของเบต้าแคโรทีนของประชาชนในพื้นที่ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเตรียมเนื้อจำปาตะในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 20 องศาบริกซ์ และ 40 องศาบริกซ์ และการบรรจุแบบสุญญากาศต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและคุณภาพทางด้านสีของเนื้อจำปาตะเมื่อผ่านการละลายหลังจากการแช่เยือกแข็ง เปรียบเทียบกับเนื้อจำปาตะสด วิเคราะห์ผลที่ระยะเวลา 0 และ 6 เดือน ผลการศึกษาพบว่า การแช่เยือกแข็งทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การแช่เนื้อจำปาตะในสารละลายน้ำตาลซูโครสช่วยรักษาปริมาณเบต้าแคโรทีนได้ โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ อย่างไรก็ตามการบรรจุแบบสุญญากาศไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและคุณภาพทางด้านสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) การศึกษานี้จึงเสนอแนะว่าการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นสูงขึ้นร่วมกับการควบคุมเพื่อลดขนาดของผลึกน้ำแข็งอาจเป็น

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จ.นครศรีธรรมราช 80280

¹Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat 80280

*Corresponding author: Jatuporn_kho@nstru.ac.th

วิธีการที่ช่วยรักษาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็งให้คงอยู่ได้ ถึงแม้ว่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะอาจน้อยกว่าพืชชนิดอื่น แต่การเลือกบริโภควัตถุดิบที่เป็นผลผลิตภายในท้องถิ่น ย่อมเป็นการช่วยส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพืชพื้นถิ่น ซึ่งส่งผลต่อความมั่นคงทางอาหารต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: เบต้าแคโรทีน, จำปาตะ, แช่เยือกแข็ง, ซูโครส, สุกญากาศ

คำนำ

จำปาตะ (*Champedak*) ชื่อวิทยาศาสตร์ (*Artocarpus integer* Merr.) เป็นไม้ผลยืนต้นอยู่ในตระกูล Moraceae family มีความคล้ายคลึงกับขนุน (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) แต่จำปาตะผลจะเล็กและเนื้อนุ่มกว่า เมื่อสุกจะอมจะมีกลิ่นเฉพาะตัวคล้ายทุเรียนซึ่งเป็นที่ยอมรับสำหรับผู้บริโภคบางกลุ่ม สารระเหยเด่นที่พบในเนื้อจำปาตะแล้วทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะตัวได้แก่ กลุ่มของ 3-methylbutanoic acid 3-methylbutanol 2-acetyl-1-pyrroline และ tentatively identified 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone ซึ่งจะมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสายพันธุ์ (Mantana *et al.*, 2014)

จำปาตะพบมากในประเทศเขตร้อนชื้นได้แก่ มาเลเซีย สุมাত্রา ชวา บอร์เนียว สุลาเวสี มลูลู นิวกินี และประเทศไทย โดยในประเทศไทยนิยมปลูกมากในภาคใต้สายพันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่ ขวัญสตุล สายน้ำผึ้ง (สตุล) ทองตายงค์ แม่ยุพิน (พังงา) ยวงทองนาทวี หรือ ปลัดทอง ทองตาปาน (สงขลา) ทองเลี้ยว ทองยุพิน (พัทลุง) จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศและดินที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชชนิดนี้ โดยเกษตรกรมักปลูกจำปาตะร่วมกับพืชอื่นในระบบผสมผสาน ซึ่งช่วยเพิ่มความยั่งยืนและลดความเสี่ยงในการทำเกษตรแบบพืชเชิงเดี่ยว (ภาวสินี, 2558)

อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช มีการปลูกจำปาตะหลายสายพันธุ์ โดยส่วนใหญ่พันธุ์ที่ปลูกมีคุณลักษณะเน้นที่ความทนทานต่อสภาพแวดล้อมและคุณภาพของผลผลิต จำปาตะในพื้นที่อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าเป็นที่ต้องการในตลาดจีน ในฤดูกาลผลผลิตของจำปาตะจะมีพ่อค้าชาวจีนเข้ามารวบรวมผลจำปาตะถึงในพื้นที่ โดยกำหนดลักษณะความยาวไม่เกิน 1 ฟุตหนักไม่เกิน 3 กิโลกรัม ทรงพิกเขียว ซึ่งตรงกับพันธุ์

ทองเลี้ยวที่มีลักษณะพันธุ์ที่ปลูกในจังหวัดพัทลุง ส่วนลักษณะผลที่ไม่ตรงตามตลาดที่จีนต้องการจึงส่งออกยังประเทศมาเลเซีย และบริโภคภายในประเทศ (สถานีวิจัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2566) เกษตรกรผู้ปลูกจำปาตะในพื้นที่ลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราชมีรายได้จากการจำหน่ายจำปาตะผลสดเฉลี่ย 3,000 บาทต่อต้น รายได้จากการจำหน่ายจำปาตะเฉลี่ย 100,000 บาทต่อปี จำปาตะต้นหนึ่งมีผลเฉลี่ยราว 50 ลูก (บางต้นมี 100-300 ลูก) น้ำหนักเฉลี่ยลูกละ 4 กิโลกรัม (น้ำหนักที่ผู้บริโภคส่วนมากนิยม เพราะผลไม่โตมากจนเกินไป) ถ้าใน 1 ผล มีน้ำหนักในช่วง 6-10 กิโลกรัม มักจะขายออกนอกพื้นที่หรือกลุ่มแม่ค้าที่ต้องการนำไปทอด ราคาจำปาตะอยู่ที่กิโลกรัมละ 15-25 บาท (แต่ถ้าออกฤดูกาล ขายได้ในราคากิโลกรัมละ 80-85 บาท) เนื้อจำปาตะนอกจากผู้บริโภคจะนิยมรับประทานแบบสดและชุบแป้งทอดแล้ว ยังนิยมรับประทานแบบกวนด้วย (สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์, 2567)

ในฤดูกาลที่ผลผลิตจำปาตะมีจำนวนมาก จำปาตะจะมีราคาถูกและล้นตลาด เกษตรกรที่ปลูกจำปาตะจึงแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากจำปาตะ เช่น จำปาตะทอด จะนิยมเก็บผลผลิตเนื้อจำปาตะไว้ในรูปแช่เยือกแข็ง โดยตามหลักการแช่เยือกแข็งนั้น การแช่เยือกแข็งไม่ได้ทำให้ปริมาณสารอาหารลดลงหากผ่านวิธีการเก็บรักษาที่ถูกต้อง เพราะความเย็นจะเป็นตัวช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และช่วยคงคุณภาพและรสชาติของอาหารไว้ได้ (รัชชานนท์ และคณะ, 2563) อย่างไรก็ตามการแปรรูปเนื้อจำปาตะที่ผ่านการแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลานาน ทำให้มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อจำปาตะลดลงด้วยเช่นกันวิจัยของ รัชชานนท์ และคณะ (2563) ที่แช่เยือกแข็งพักทองแล้วสารเบต้าแคโรทีนในพักทองลดลง

เบต้าแคโรทีนนี้จะมีมากในกลุ่มผัก ผลไม้ สีเหลือง ส้ม (Lim, 2011) สารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาจะมีปริมาณเท่ากับ 40 ไมโครกรัม มีค่าน้อยกว่าขนุนซึ่งมีค่าเท่ากับ 78 ไมโครกรัม ใกล้เคียงกับในทุเรียนหมอนทองซึ่งเท่ากับ 46 ไมโครกรัม และมากกว่าแตงโมเหลืองซึ่งมีค่าเท่ากับ 21 ไมโครกรัม (สำนักโภชนาการ, 2561) ซึ่งการลดลงของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์เกิดจากปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเกิดจากทั้งเอนไซม์และกระบวนการที่ไม่ใช่เอนไซม์ ซึ่งปริมาณเบต้าแคโรทีนนั้นจะแปรผันโดยตรงกับค่าความเป็นสีเหลืองด้วย (รัชชานนท์ และคณะ, 2563) การเก็บรักษาที่สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสามารถลดการสูญเสียเบต้าแคโรทีนได้ (Kmieciak *et al.*, 2020) โดยปกติเบต้าแคโรทีนเป็นองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ซึ่งอยู่ในพลาสติดโครโมพลาสต์ของเซลล์พืช ประกอบไปด้วยพันธะคู่จำนวน 11 คู่ จึงทำให้ เบต้าแคโรทีนอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียร เมื่อสัมผัสกับอากาศซึ่งมีออกซิเจนจะทำให้ ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย โดยเฉพาะหากยังมีแสงและความร้อนด้วย ยังสามารถเร่งปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากรูปทรานส์-เบต้าแคโรทีน ไปเป็น ซิส-เบต้าแคโรทีน ซึ่งมีความไม่เสถียรมากกว่าและส่งผลให้ความเป็นสีเหลืองเข้มจางลง นอกจากนี้ในระหว่างกระบวนการเปลี่ยนรูปจาก ทรานส์ ไปเป็น ซิส-เบต้าแคโรทีนนั้น สามารถทำให้ปริมาณ เบต้าแคโรทีนสลายตัวได้ (Dahlan, 2019; Netlak *et al.*, 2023)

สารละลายน้ำตาลเป็นสารปกป้องเซลล์ชนิดหนึ่งที่ใช้กันมากในการป้องกันความเสียหายจากความเย็นในระหว่างการแช่แข็งโดยเฉพาะในผลไม้ โดยสามารถรักษาคุณภาพสุดท้ายของวัตถุดิบได้อย่างมีนัยสำคัญ (James and James, 2010) ซึ่งจะใช้น้ำตาลเพื่อเตรียมวัตถุดิบให้พร้อมก่อนการแช่แข็งโดยใช้กระบวนการออสโมซิสเข้ามาช่วยเพื่อให้สารละลายน้ำตาลซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อของวัตถุดิบได้ โดยการจุ่มวัตถุดิบลงในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นกว่าปริมาณน้ำตาลในผลไม้ ความแตกต่างของความดันออสโมติกระหว่างสองระบบ

ช่วยให้สารละลายแทรกซึมผ่านเนื้อผลไม้ได้ (Mujica-Paz *et al.*, 2003)

สารละลายน้ำตาลที่ใช้เป็นสารปกป้องเซลล์นี้จะช่วยลดความเสียหายของเนื้อเยื่อพืชโดยลดการเกิด Drip loss ภายหลังการละลาย ซึ่งส่งผลต่อการรักษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สี และ กลิ่นรสของผลไม้ไว้ได้ (Chaves and Zaritzky, 2018) ยิ่งไปกว่านั้นน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของผลไม้ยังช่วยขัดขวางออกซิเจนไม่ให้เข้าไปทำปฏิกิริยาในผลไม้ จึงช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ (Bilge *et al.*, 2005)

งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาผลของการเตรียมเนื้อจำปาที่เก็บเกี่ยวได้จากพื้นที่ อ.ลานสกา จ.นครศรีธรรมราชในสารละลายน้ำตาลซูโครส ความเข้มข้น 20 องศาบริกซ์และ 40 องศาบริกซ์ และการบรรจุแบบสุญญากาศต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนและคุณภาพทางด้านสีของเนื้อจำปา การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส และทำการละลายประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยเพิ่มเติม คือสามารถเก็บรักษาเนื้อจำปาได้ไว้ใช้ประโยชน์ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากจำปาได้เช่น จำปาดะทอด จำปาดะกวน เป็นต้น ในฤดูกาลที่ขาดแคลนจำปาดะหรือจำปาดะมีราคาแพง และผู้ประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากจำปาดะสามารถจำหน่ายผลิตภัณฑ์ได้ตลอดทั้งปี

อุปกรณ์และวิธีการ

จำปาดะจาก “สวนพืชวิญญู” ตำบลเขาแก้ว อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช ระยะ 2 วัน หลังเก็บเกี่ยว ขนาดผล 3-4 กิโลกรัม ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) อยู่ในช่วง 30 – 40 องศาบริกซ์ ล้างทำความสะอาดผิวเปลือกภายนอก แล้วแบ่งออกเป็น 2 การทดลองคือ

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาแช่เยือกแข็ง

ผู้ผ่าเปลือกจำปาดะออกตามแนวยาวของผล นำเนื้อออกจากผลโดยไม่ต้องนำเมล็ดออก เตรียมเนื้อจำปาตามชุดการทดลองทั้ง 6 ชุด

(Table 1) จากนั้นจึงนำเนื้อจำปาตะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือชุดการทดลองที่ไม่ต้องแช่เยือกแข็งร่วมกับ สารละลาย เนื้อจำปาตะออกจากผลโดยไม่ต้อง นำเมล็ดออกวางบนถาดแสดงตนเลขขนาด 50x30 เซนติเมตร ให้มีระยะห่าง วางถาดละ 30 ชิ้น (Figure 1) ชุดการทดลองละ 2 ซ้ำ นำไปแช่เยือกแข็งแบบ แช่ด้วยตู้ cabinet freezer ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้เนื้อจำปาตะแข็งตัวในเบื้องต้น หลังจากนั้นจึงนำเนื้อจำปาตะที่ผ่านการ แช่เยือกแข็งด้วยตู้ cabinet freezer ซึ่งแข็งตัวดีแล้ว บรรจุในถุงลามิเนต PP/Nylon/PE ความหนา 120 ไมครอน ขนาด 50x30 เซนติเมตร ซิลปิดปากถุงให้สนิทโดยไม่ต้องดึงอากาศออก

ส่วนชุดการทดลองที่ต้องแช่เนื้อจำปาตะ พร้อมสารละลายน้ำตาลซูโครส (Table 1) ให้เนื้อ จำปาตะพร้อมสารละลายน้ำตาลซูโครสมาบรรจุ ในถุงลามิเนต PP/Nylon/PE ความหนา 120 ไมครอน ขนาด 50x30 เซนติเมตร แล้วจึงแช่เยือก แข็งแบบแช่ด้วยตู้ cabinet freezer ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้เนื้อจำปา ตะแข็งตัวในเบื้องต้น และเพื่อควบคุมให้สภาวะการ แช่เยือกแข็งเหมือนกับเนื้อจำปาตะที่แช่เยือกแข็ง เฉพาะเนื้อโดยปราศจากสารละลาย หลังจากนั้นจึง นำเนื้อจำปาตะทั้ง 6 ชุดการทดลองเก็บรักษาโดย วางถุงแนวนอนในตู้ chest freezer ที่อุณหภูมิ

$$\beta\text{-carotene (mg/100g)} = 0.216A_{663} - 1.22A_{645} - 0.304A_{505} + 0.452A_{453}$$

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการบรรจุแบบสุญญากาศต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็ง

เปิดเปลือกจำปาตะออกตามแนวยาวของผล นำเนื้อออกจากผลโดยไม่ต้องนำเมล็ดออก วางบน ถาดแสดงตนเลข ขนาด 50x30 cm ให้มีระยะห่าง วางถาดละ 30 ชิ้น (Figure 1) จำนวน 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 2 ซ้ำ นำไปแช่เยือกแข็งแบบแช่ด้วยตู้ cabinet freezer ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้เนื้อจำปาตะ

-18 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน

การประเมินคุณภาพการบริโภค

นำตัวอย่างมาประเมินสารเบต้าแคโรทีน ควบคู่กับค่าสี ($L^* a^* b^*$) วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter ในเดือนที่ 3 และ 6 เทียบกับเนื้อจำปาตะสดที่ไม่ได้ผ่านการแช่เยือกแข็ง

ละลายน้ำแข็งตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ค่า ทุกครั้งโดยการนำตัวอย่างออกจากตู้ freezer พร้อมบรรจุภัณฑ์วางพักไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกจากถุงวางพักไว้บนกระชอนให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซับน้ำ ส่วนเกินที่ติดบนชิ้นจำปาตะหลังการสะเด็ดน้ำด้วย กระดาษชอก แล้วจึงนำไปตรวจวัด

1) วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter ยี่ห้อ Konica Minolta รุ่น CR-400

2) วิเคราะห์หาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน ตามวิธีของ รัชชานนท์ และคณะ (2563) ด้วยการนำ ตัวอย่างเนื้อจำปาตะมา 1 กรัม เติมน้ำ Acetone : Hexane อัตราส่วน 4:6 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไป บดให้ละเอียดด้วยเครื่อง Hand Blender เป็นเวลา 1 นาที กรองแยกนำส่วนของสารละลายวัดค่าการ ดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Biochrom รุ่น Libra s70 ที่ค่าการดูดกลืนแสง (A) 663, 645, 505 และ 453 นาโนเมตร (nm) ดังสมการ

แข็งตัวในเบื้องต้น หลังจากนั้นจึงนำเนื้อจำปาตะทั้ง 2 ชุดการทดลองที่แข็งตัวดีแล้วบรรจุในถุงลามิเนต PP/Nylon/PE ความหนา 120 ไมครอน ขนาด 50x30 เซนติเมตร แล้วจึงแบ่ง 1 ชุดการทดลองสำหรับการ บรรจุแบบสุญญากาศ และอีกชุดการทดลองสำหรับการบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติซิลปิดปากถุงให้สนิท (Figure 2) ทั้ง 2 ชุดการทดลองเก็บรักษาโดย วางถุงแนวนอนในตู้ chest freezer ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 เดือน แล้วจึงประเมินคุณภาพการบริโภคเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

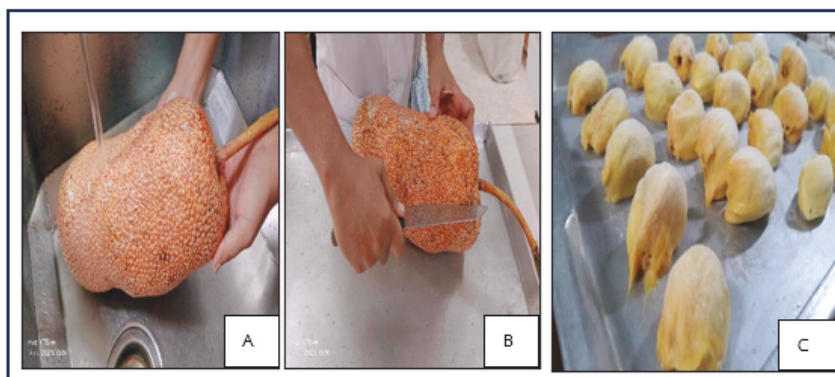


Figure 1 The preparation of champedak flesh pulp before freezing, A = washing outside the fruit, B = opening the fruit, C = removing the flesh from the fruit without removing the seeds and place it on a stainless steel tray

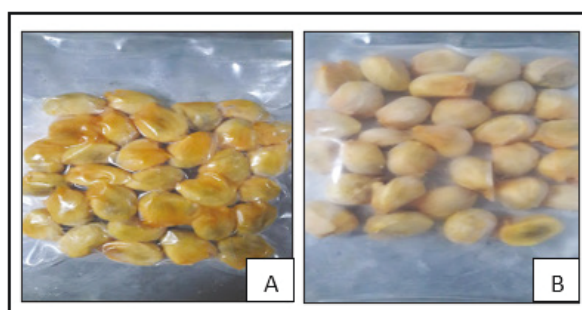


Figure 2 Champedak fresh pulp in vacuumed packaging (A) and unvacuumed packaging (B)

Table 1 The preparation of champedak pulp before freezing.

Treatments	Solution
Treatment 1	champedak 500 g without solution
Treatment 2	champedak 500 g was immersed in 500 mL of distilled water
Treatment 3	champedak 500 g was immersed in 500 mL of 0.2% (w/v) calcium chloride solution for 10 minutes, followed by 500 mL of 20°Brix sucrose solution for 60 minutes, then drained the extra solution.
Treatment 4	champedak 500 g was immersed in 500 mL of 0.2% (w/v) calcium chloride solution for 10 minutes, followed by 500 mL of 40°Brix sucrose solution for 60 minutes, then drained the extra solution.
Treatment 5	champedak 500 g was immersed in 500 mL of 0.2% (w/v) calcium chloride solution for 10 minutes, followed by 500 mL of 20°Brix sucrose solution for 60 minutes, then frozen with the solution.
Treatment 6	champedak 500 g was immersed in 500 mL of 0.2% (w/v) calcium chloride solution for 10 minutes, followed by 500 mL of 40°Brix sucrose solution for 60 minutes, then frozen with the solution.

Note: All 6 experimental sets in Table 1 were filled without vacuum.

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ

completely randomized design (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan new's multiple range test ที่ความเชื่อมั่น 95% ($p \leq .05$)

ผลการทดลอง

ผลของสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็ง

ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็ง (Table 2) เมื่อผ่านการเตรียมวัตถุดิบตามชุดการทดลองทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง ดังมีรายละเอียดใน (Table 1) เปรียบเทียบกับเนื้อจำปาตะสดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งผลพบว่า ปริมาณเบต้าแคโรทีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น จาก 0.47 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เหลือปริมาณอยู่ในช่วง 0.22 – 0.44 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งโดยเฉลี่ยลดลงประมาณ เกือบ 50 เปอร์เซ็นต์จากผลสด โดยที่การแช่เนื้อจำปาตะในสารละลายซูโครสแล้วนำขึ้นออกจากสารละลายแล้วจึงแช่เยือกแข็งต่อนั้นส่งผลต่อการคงอยู่ของสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะน้อยกว่าการนำเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็งไปพร้อมสารละลาย ซึ่งพบว่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น จาก 0.47 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เหลือ 0.45 – 0.47 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เมื่อพิจารณาผลของสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อความคงตัวของเบต้า

แคโรทีนที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลาเท่ากัน ผลพบว่า สารละลายน้ำตาลซูโครสมีแนวโน้มส่งผลต่อการเก็บรักษาเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็งเมื่อต้องเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานคือ ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนจะยังคงสภาพอยู่ได้ในเนื้อจำปาตะในปริมาณสูงกว่าการที่ไม่ใช้สารละลายซูโครส และจะเห็นผลชัดเจนขึ้นเมื่อต้องเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานขึ้น ซึ่งการแช่เยือกแข็งร่วมกับสารละลายน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 องศาบริกซ์ และ 40 องศาบริกซ์ ให้ผลในการรักษาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) ที่ระยะเวลาการแช่เยือกแข็ง 3 เดือน เมื่อเทียบกับการแช่ในสารละลายน้ำตาลแล้วนำขึ้นแช่เยือกแข็ง แต่เมื่อระยะเวลาการแช่เยือกแข็งนานขึ้นเป็น 6 เดือน พบว่า การแช่ร่วมกับสารละลายน้ำตาลหรือ การเพียงแช่แล้วนำขึ้นแช่เยือกแข็งนั้น ไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) แต่ทั้งนี้พบว่าการใช้สารละลายน้ำตาลจะมีแนวโน้มช่วยคงสภาพปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาตะแช่เยือกแข็งไว้ได้ดีกว่าการไม่ใช้สารละลายน้ำตาลและสารละลายซูโครสความเข้มข้นสูงมีแนวโน้มจะช่วยคงสภาพเบต้าแคโรทีนได้ดีกว่าที่สารละลายความเข้มข้นต่ำ

Table 2 The effect of sucrose solution on the β -carotene content in frozen champedak pulp

Treatment	Frozen time (months)		
	0 ^{ns}	3	6
β -Carotene (mg/100g)			
Fresh champedak	0.47±0.04	0.47±0.04a	0.47±0.04 ^a
1	0.47±0.04	0.37±0.01b	0.23±0.01 ^{bc}
2	0.48±0.01	0.36±0.00b	0.22±0.01 ^c
3	0.44±0.02	0.33±0.04b	0.25±0.06 ^{ab}
4	0.46±0.03	0.35±0.01b	0.31±0.01 ^{ab}
5	0.44±0.02	0.45±0.04a	0.38±0.01 ^{ab}
6	0.46±0.03	0.47±0.01a	0.44±0.01 ^a

The letter a, b, c, ... showing in the same column means statistically significant difference at 95% confident ($p \leq .05$)

The letter ns showing in the same column means non statistically significant difference at 95% confident ($p > .05$)

The detail of treatment 1 – 6 was shown in table 1

เมื่อพิจารณาผลของค่าสี (Table 3) ซึ่งผลไม่มีสารสีเหลืองหมายความว่ามีการมีอยู่ของสารเบต้าแคโรทีนด้วย (Table 3) พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลงจาก 51.89 ในเนื้อจำปาสด เป็น 36.25 – 52.96 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือน และ เป็น 29.25 – 41.79 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ซึ่งสัมพันธ์กับผลของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนใน (Table 2) ที่ลดลงตามระยะเวลาการแช่เยือกแข็งที่นานขึ้น สารละลายน้ำตาลซูโครสส่งผลต่อค่าสีเหลือง (b^*) คือเมื่อละลายน้ำแข็งออกจากเนื้อจำปาแล้วเนื้อจำปาจะมีการแช่สารละลายหรือแช่เยือกแข็งร่วมกับสารละลายน้ำตาลซูโครสจะมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงกว่าเนื้อจำปาที่ไม่มีการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสแต่จะพบว่าเนื้อจำปาที่ไม่มีการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสจะมีค่าสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นจากเดิมคือ 4.97 เป็น 6.02 – 13.29 ที่ระยะเวลาการแช่เยือกแข็ง 3 เดือน และ เป็น 6.37-12.89 ที่ระยะเวลาการแช่เยือกแข็ง 6 เดือน ซึ่งค่าสีแดงจะมีแนวโน้มคงที่เมื่ออายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น นอกจากนี้หลังการละลายน้ำแข็งแล้วยังพบว่าเนื้อจำปามีความคล้ำลง (L^*) จากเนื้อจำปาสด คือ ลดลงจาก 73.91 เป็น 64.99 – 71.55 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือน

และ เป็น 53.41 – 65.93 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ซึ่งหมายความว่าเนื้อจำปาจะปรากฏลักษณะของความเป็นสีน้ำตาลมากขึ้น และเมื่อระยะเวลาการแช่เยือกแข็งนานขึ้นพบว่าหลังการละลายน้ำแข็งแล้ว ลักษณะของความเป็นสีน้ำตาลในเนื้อจำปาจะปรากฏชัดขึ้นโดยเฉพาะในเนื้อจำปาที่ไม่ผ่านการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส การแช่เยือกแข็งไปพร้อมกับสารละลายน้ำตาลซูโครสจะช่วยรักษาสีของเนื้อจำปาได้หลังจากการละลายไว้ได้ใกล้เคียงกับเนื้อจำปาสดมากที่สุด คือค่าสี ($L^* a^* b^*$) อยู่ในช่วง ($L^* : 70.22 - 71.55$) ($a^* : 6.02 - 6.64$) ($b^* : 45.39 - 52.96$) สำหรับระยะเวลาการแช่เยือกแข็ง 3 เดือน และอยู่ในช่วง ($L^* : 62.72 - 65.93$) ($a^* : 6.37 - 6.60$) ($b^* : 38.40 - 41.79$) สำหรับระยะเวลาการแช่เยือกแข็ง 6 เดือน สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์จะสามารถช่วยรักษาสีของเนื้อจำปาได้ดีกว่าที่ความเข้มข้น 20 องศาบริกซ์ ส่วนการแช่เยือกแข็งแบบไม่มีสารละลายน้ำตาลซูโครสช่วย การแช่เยือกแข็งไปพร้อมกันกับน้ำเปล่าจะทำให้ลักษณะปรากฏด้านสีของเนื้อจำปาแย่ที่สุด คือมีแนวโน้มค่าความสว่างลดลง ค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น และค่าความเป็นสีเหลืองลดลงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเบต้าแคโรทีนที่มีแนวโน้มลดน้อยลงเช่นเดียวกัน

Table 3 The effect of sucrose solution on the color ($L^* a^* b^*$) of frozen champedak pulp after thawing.

Treatment	Frozen time (months)					
	0			3		
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}	L^{*ns}	a^*	b^*
Fresh champedak	73.91±0.64	4.97±2.09	51.89±7.75	73.91±0.64	4.97±2.09 ^c	51.89±7.75a
1	73.91±0.64	4.97±2.09	51.89±7.75	64.99±6.01	11.85±0.78 ^{ab}	36.25±0.73 ^c
2	74.01±1.79	6.36±1.22	53.11±4.68	67.32±2.55	13.29±2.99 ^a	38.02±4.50 ^c
3	68.42±5.76	5.46±2.99	44.13±5.95	66.73±3.68	7.76±1.93 ^{bc}	41.74±7.38 ^c
4	70.22±2.16	5.62±3.11	45.89±7.64	69.20±6.16	7.36±1.22 ^c	44.34±5.91 ^{bc}
5	68.42±5.76	5.46±2.99	44.13±5.95	70.20±6.49	6.64±3.23 ^c	45.39±1.04 ^{abc}
6	70.22±2.16	5.62±3.11	45.89±7.64	71.55±6.74	6.02±3.02 ^c	52.96±8.52 ^{ab}

Table 3 (continue)

Treatment	Frozen time (months)		
	6		
	L*	a*	b*
Fresh champedak	73.91±0.64 ^a	4.97±2.09 ^c	51.89±7.75 ^a
1	53.41±2.07 ^{cd}	11.67±2.18 ^a	34.96±2.95 ^{bc}
2	53.89±2.35 ^d	12.89±2.29 ^a	29.25±2.24 ^c
3	60.02±2.78 ^c	10.82±3.61 ^{ab}	35.55±6.58 ^{bc}
4	62.03±2.09 ^{bc}	8.63±3.01 ^{abc}	36.25±0.73 ^{bc}
5	62.72±2.92 ^{bc}	6.60±0.99 ^{bc}	38.40±4.13 ^b
6	65.93±4.24 ^b	6.37±1.95 ^{bc}	41.79±7.86 ^b

The letter a, b, c, ... showing in the same column means statistically significant difference at 95% confident ($p \leq .05$)

The letter ns showing in the same column means non statistically significant difference at 95% confident ($p > .05$)

The detail of treatment 1 – 6 was shown in table 1

ผลของการบรรจุแบบสุญญากาศต่อปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาแช่เยือกแข็ง

การบรรจุเนื้อจำปาแช่แบบสุญญากาศและการบรรจุในสภาวะที่ไม่ได้ดึงอากาศออกในระหว่างการแช่เยือกแข็งไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4) แต่พบว่าปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของเนื้อจำปาแช่ที่เก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะมีปริมาณลดลงเทียบกับจำปาแช่สดเมื่ออายุการเก็บรักษาในระหว่างการแช่เยือกแข็งนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในการทดลองที่ 1 คือ การแช่เยือกแข็งเนื้อจำปาแช่ที่ระยะเวลา 3 และ 6 เดือน เมื่อผ่านการ

ละลายจะมีปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเมื่อผ่านการละลายจะลดลง ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าสี ($L^* a^* b^*$) (Table 5) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 คือ ค่าสี L และ b จะลดลงเมื่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนลดลง แต่ค่าสีแดง (a^*) กลับเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ค่าสีของการบรรจุแบบสุญญากาศยังพบว่า การบรรจุแบบสุญญากาศไม่ได้ช่วยรักษาลักษณะปรากฏด้านสีที่ดีของเนื้อจำปาแช่เมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุแบบไม่ดึงอากาศ ($p > .05$) โดยพิจารณาจากค่าสีที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) ของการบรรจุทั้ง 2 สภาวะที่เวลาการแช่เยือกแข็ง 3 เดือน และ 5 เดือนแคโรทีนที่มีแนวโน้มลดน้อยลงเช่นเดียวกัน

Table 4 The effect of vacuum and non-vacuum packing on the β -Carotene content in frozen

Treatment	Frozen time (months)		
	0 ^{ns}	3	6
	β -Carotene (mg/100g)		
Fresh Champedak	0.54±0.02	0.54±0.02 ^a	0.54±0.02 ^a
Vac	0.54±0.02	0.49±0.03 ^b	0.39±0.04 ^b
N Vac	0.54±0.02	0.47±0.04 ^b	0.37±0.01 ^b

Vac means vacuum packing / N Vac means non vacuum packing

The letter a, b showing in the same column means statistically significant difference at 95% confident ($p \leq .05$)

The letter ns showing in the same column means non statistically significant difference at 95% confident ($p > .05$)

Table 5 The effect of vacuum and non vacuum packing on the color (L* a* b*) of frozen champedak.

Treatment	Frozen time (months)					
	0			3		
	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}	L* ^{ns}	a*	b*
Fresh champedak	70.22±2.16	9.89±5.82	40.30±4.20	70.22±2.16 ^a	9.89±5.82	40.30±4.20 ^a
Vac	70.22±2.16	9.89±5.82	40.30±4.20	68.18±2.04 ^a	10.05±4.93	36.25±0.73 ^{ab}
N Vac	70.22±2.16	9.89±5.82	40.30±4.20	58.63±2.70 ^b	13.29±2.99	31.36±1.38 ^b

Treatment	Frozen time (months)		
	6		
	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b*
Fresh champedak	70.22±2.16 ^a	9.89±5.82	40.30±4.20 ^a
Vac	59.36±3.55 ^b	13.16±5.93	31.36±1.38 ^b
N Vac	53.89±2.35 ^b	13.38±2.07	29.25±2.24 ^b

Vac means vacuum packing / N Vac means non vacuum packing

The letter a, b showing in the same column means statistically significant difference at 95% confident (p≤.05)

The letter ns showing in the same column means non statistically significant difference at 95% confident (p>.05)

วิจารณ์

ผลของสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

การลดลงของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนเมื่อระยะเวลาการแช่เยือกแข็งนานขึ้นมีความเป็นไปได้ของการลดลงจาก 2 สาเหตุคือ สาเหตุที่ 1 ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่ลดลงเนื่องจากการเก็บรักษาด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งเป็นเวลานานส่งผลต่อผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดโตขึ้นในระหว่างการแช่เยือกแข็งจนทำให้ความเสียหายให้กับเซลล์ผลไม้ เมื่อละลายน้ำแข็งปรากฏว่าสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่ถูกบรรจุอยู่ในโครโมพลาสต์วไลซอลหลุดออกมาออกเซลล์พร้อมกับน้ำแข็งที่ละลายด้วย ทำให้สูญเสียปริมาณสารเบต้าแคโรทีนจากเนื้อจำปาตะแช่แข็งที่ผ่านการละลาย (รัชชานนท์ และ คณะ, 2563) สาเหตุที่ 2 การเกิดออกซิเดชันของสารเบต้าแคโรทีนกับออกซิเจนในระหว่างการละลายน้ำแข็งเนื่องจากในระหว่างการละลายน้ำแข็งนั้นไม่ได้ละลายภายใต้สภาวะสุญญากาศและกระทำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิการแช่เยือกแข็งจึงมีโอกาสสูงมากที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันจากแสง

ร่วมด้วยซึ่งจะทำให้ปริมาณสารเบต้าแคโรทีนมีโอกาสดลดลง (Dahlan, 2019; Netlak *et al.*, 2023)

สารละลายน้ำตาลซูโครสมีส่วนช่วยลดการสูญเสียปริมาณสารเบต้าแคโรทีนคือสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงหรือการสัมผัสกับสารละลายน้ำตาลเป็นระยะเวลาที่นานพอน้ำตาลจะสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อผลไม้แล้วไปเคลือบที่ผิวของเนื้อผลไม้ทำให้ช่วยเสริมความแข็งแรงของเซลล์พืชได้เซลล์ซึ่งมีน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นจะทำให้เซลล์พืชมีความแข็งแรงทนต่อการฉีกขาดเนื่องจากผลึกน้ำแข็งได้มากขึ้น (สุภาวดี, 2563) จึงทำให้ผลการทดลองพบว่าการแช่เยือกแข็งเนื้อจำปาตะสดร่วมกับสารละลายน้ำตาลซูโครส 40 องศาบริกซ์ มีแนวโน้มคงไว้ซึ่งปริมาณสารเบต้าแคโรทีนได้สูงกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งประสิทธิภาพของน้ำตาลซูโครสที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของเซลล์พืชนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสและระยะเวลาการที่สารละลายซูโครสสัมผัสกับเซลล์พืชด้วย ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองของ จตุรงค์ และคณะ (2566) ที่แช่เยือกแข็งผลมะขวิดสดก่อนการอบแห้งโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครส 50 องศาบริกซ์ และ

แช่ผลมะยมชนิดสดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ก่อนการแช่เยือกแข็ง พบว่าปริมาณของสารเบต้าแคโรทีนและคุณภาพด้านอื่นๆ ของผลมะยมชนิดสดมีคุณภาพที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับผลมะยมชนิดที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

นอกจากการแช่เยือกแข็งจะส่งผลต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่ลดลงแล้ว ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนของค่าสี L^* : ความสว่าง a^* :ความเป็นสีแดง และ b^* :ความเป็นสีเหลือง ในเนื้อจำปาด้วย โดยพบว่าหลังจากการแช่เยือกแข็งแล้วค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) จะลดลงแต่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความสว่าง (L^*) กลับเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถเชื่อมโยงไปถึงลักษณะความเป็นสีน้ำตาลในเนื้อผลไม้ ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อผลไม้ในที่นั้นจัดเป็นการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากสารประกอบฟีนอลในเนื้อผลไม้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนโดยมีเอนไซม์ Peroxidase (POD) ที่ถูกบรรจุอยู่ในเซลล์พืชเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งส่งผลให้สีของผลไม้เป็นสีน้ำตาลและมีสีคล้ำขึ้น โดยปกติการแช่เยือกแข็งจะช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาจากเอนไซม์นี้ได้ แต่การแช่เยือกแข็งเนื้อจำปาคะเป็นเวลานานทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่สามารถทำลายไลโซโซมและแวคิวโอล เมื่อละลายน้ำแข็งแล้วสารประกอบฟีนอลที่อยู่ในเซลล์จึงถูกปล่อยออกมาเนื่องจากการเสียหายของเซลล์มาเจอกับสับสเตรตโดยมีเอนไซม์ POD ร่วมด้วย จึงสามารถทำปฏิกิริยากันได้

สารละลายน้ำตาลซูโครสมีส่วนช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้โดย สารละลายน้ำตาลซูโครสช่วยลดโอกาสการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์ POD กับ ออกซิเจน ถึงแม้ว่าการแช่เยือกแข็งจะใช้อุณหภูมิต่ำถึง -18 องศาเซลเซียส ในระหว่างการแช่เยือกแข็ง ซึ่งปฏิกิริยาจากเอนไซม์ POD จะทำงานได้น้อยมากแต่ในงานวิจัยนี้เป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้าเพราะฉะนั้นปฏิกิริยาจากเอนไซม์ POD จึงยังไม่ถูกยับยั้งทันทีแต่จะยังคงทำงานและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีในเนื้อจำปาคะได้ตั้งแต่ก่อนการละลายน้ำแข็ง นอกจากนี้เมื่อนำเนื้อจำปาคะมาละลายน้ำแข็งหลังจากการแช่เยือกแข็งที่ระยะเวลา 3 เดือน และ 6 เดือน ระหว่างการละลาย

น้ำแข็งนั้นเอนไซม์ POD จะยังสามารถกลับมาทำงานได้อีกครั้ง และการเกิดสีน้ำตาลมีแนวโน้มจะเกิดได้มากกว่าในเนื้อจำปาคะสดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็งเนื่องจากเอนไซม์ POD และสารประกอบฟีนอล ที่ถูกเก็บอยู่ภายในเซลล์ผลไม้ เมื่อผลไม้โดนความร้อนหรือกระแทกจะทำให้เซลล์เสียหายและเปิดโอกาสให้เอนไซม์ สับสเตรตทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่ายขึ้น โดยมีเอนไซม์ POD เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะฉะนั้นหากเซลล์พืชเสียหายมากโอกาสปฏิกิริยาจะมีมากขึ้นด้วย (สงวนศรี, 2558)

ผลของการบรรจุแบบสุญญากาศต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

การคงอยู่ของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนนั้นขึ้นกับ การมีอยู่ของออกซิเจน แสง ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ (Kmieciak *et al.*, 2020) การรักษาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนให้คงอยู่ได้นั้นจึงเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยในเรื่องเหล่านี้เป็นสำคัญ งานวิจัยนี้จึงได้นำเนื้อจำปาคะสดมาบรรจุในถุงลามิเนต PP/Nylon/PE ความหนา 120 ไมครอนขนาด 50x30 เซนติเมตร แล้วจึงดึงอากาศออกเพื่อให้เกิดภาวะสุญญากาศเปรียบเทียบกับเนื้อจำปาคะสดที่บรรจุไว้ในถุงชนิดเดียวกันแต่ไม่ดึงอากาศออก พบว่าการบรรจุแบบสุญญากาศหรือไม่ได้เป็นสุญญากาศไม่ได้ส่งผลต่อการคงอยู่ของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) และรวมไปถึงค่าสีที่ไม่ได้ส่งผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าปริมาณออกซิเจนไม่ได้ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเมื่อเก็บรักษาที่สภาวะการแช่เยือกแข็ง แต่การแช่เยือกแข็งส่งผลต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนที่ลดลงและค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อจำปาคะสด

สรุป

จากผลการทดลองทั้งหมดจึงสามารถสรุปได้ว่าการแช่เยือกแข็งเนื้อจำปาคะสดที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ร่วมกับสารละลายน้ำตาลซูโครส 40 องศาบริกซ์ มีแนวโน้มคงไว้ซึ่งปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

ได้สูงกว่าชุดการทดลองอื่น รวมถึงคงไว้ซึ่งความเป็นสีเหลืองของเนื้อจำปาตะได้ดีกว่าชุดทดลองอื่นเช่นเดียวกัน ส่วนผลของสภาวะการบรรจุนั้นพบว่าการบรรจุแบบสุญญากาศหรือไม่ได้เป็นสุญญากาศไม่ได้ส่งผลต่อการคงอยู่ของปริมาณสารเบต้าแคโรทีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) และรวมไปถึงค่าสีที่ไม่ได้ส่งผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยเช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสควรเตรียมที่ความเข้มข้นสูงกว่า 50 องศาบริกซ์ เพื่อให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่าง TSS ในเนื้อจำปาตะ (30-35 องศาบริกซ์) กับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล และควรแช่ให้สารละลายน้ำตาลสัมผัสกับเนื้อจำปาตะเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมงเพื่อให้เป็นระยะเวลานานพอที่เนื้อจำปาตะจะอิ่มตัวด้วยสารละลายน้ำตาล

2. ถึงแม้ว่าการแช่เยือกแข็งพร้อมกับสารละลายน้ำตาลซูโครสจะมีแนวโน้มให้ผลที่ดีในทางปฏิบัติแต่การต้องแช่เยือกแข็งร่วมกับสารละลายเป็นปริมาณมากนั้นจะต้องอาศัยทรัพยากรตั้งแต่อุปกรณ์การแช่เยือกแข็งและเสียค่าพลังงานเพื่อใช้ในการเก็บรักษาสูงกว่าการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสและนำขึ้นเพื่อแช่เยือกแข็ง เพราะฉะนั้นในทางปฏิบัติเชิงค้าผู้วิจัยจึงแนะนำให้ใช้วิธีการแช่เนื้อจำปาตะในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 50 องศาบริกซ์ซึ่งให้มีความต่างของความเข้มข้นสารละลายกับความเข้มข้นของน้ำตาลในเนื้อจำปาตะซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 30-35 องศาบริกซ์ ความต่างของความเข้มข้นนี้จะช่วยเพิ่มอัตราการแพร่ของสารละลายน้ำตาลเข้าสู่เนื้อจำปาตะได้ดีกว่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ต่ำกว่าคือ 20 องศาบริกซ์ และใกล้เคียงกับเนื้อจำปาตะคือ 40 องศาบริกซ์ ดังเช่นในการทดลองนี้ ควรแช่เนื้อจำปาตะเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมงเพื่อให้เป็นระยะเวลานานพอที่เนื้อจำปาตะจะอิ่มตัวด้วยสารละลายน้ำตาลก่อน แล้วจึงวางไว้ให้สะเด็ดสารละลายส่วนเกินแล้วค่อยดำเนินการบรรจุในบรรจุภัณฑ์และแช่เยือกแข็ง

3. การพิจารณานำเนื้อจำปาตะมาแช่เยือกแข็งโดยการใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสเป็น

สารปกป้องเซลล์ในสภาวะแบบไดนนั้น ควรคำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของเนื้อจำปาตะหลังการละลายน้ำแข็งว่าเหมาะสมและยังคงลักษณะที่จะนำไปประกอบอาหารต่อไปได้โดยไม่เกิดปัญหาหรือไม่ หรือรสชาติอื่นเกิดจากการแช่ในสารละลายน้ำตาลเพื่อแปรรูปเป็นอาหารต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณแหล่งทุนวิจัย Fundamental Fund ปี 2566 ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิทยาการการประกอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ประกอบการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จตุรงค์ ลังกาพินธุ์, สุนัน ปานสาคร และอรวิทย์ อุปถัมภานนท์. 2566. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มะยงชิดอบสโมคิล. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 28(3): 2034-2053.
- ภาวิณี คามวุฒิ. 2558. วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตจำปาตะในพื้นที่ภาคใต้ตอนบน. รายงานการวิจัย. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพมหานคร. 60 หน้า.
- รัชชานนท์ ทองแผ่น, เกศสุดา พวงรอด, วชิรญา อิมสบาย และอัญมณี อาวุธานนท์. 2563. ผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการแช่แข็งและระยะเวลาในการแช่แข็งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในเนื้อพักทอง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 3(3): 90-97.
- สงวนศรี เจริญเหรียญ. 2558. เทคโนโลยีการแช่แข็งอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สหมิตรพรีนติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด, กรุงเทพมหานคร. 305 หน้า.

- สถานีวิทยุมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2566. โอกาสทองผลไม้ได้ “จำปาตะ” ดูแลง่าย ราคาดี มีอนาคต. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://www.psub.psu.ac.th/> (17 ตุลาคม 2567).
- สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์. 2567. จำปาตะลานสกา. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://www.lansakachampedak.com/about-3-1> (30 ตุลาคม 67).
- สุภาวดี สมคะเน. 2563. การศึกษาอิทธิพลของการแช่เยือกแข็งต่อกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีอบสไมติกและคุณภาพของมะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพมหานคร. 115 หน้า.
- สำนักโภชนาการ. 2561. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพมหานคร.
- Bilge, A., V.G. Barbosa-Canovas, M.L.J. Danilo, G.V. Barbosa-Cánovas, B. Altunakar and D.J. Mejía-Lorío. 2005. Freezing of fruits and vegetables. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Dahlan, D. N. 2019. Analysis of beta-carotene content differences in cempedak (*Artocarpus champaden* Lour.) jam using traditional and carbides fruit ripening methods. Food Science and Technology Journal 2(2): 35-40.
- Chaves, A. and N. Zaritzky. 2018. Cooling and freezing of fruits and fruit products. Food Engineering Series. Springer, New York.
- James, C. and S. J. James. 2010. Freezing and thawing. Wiley-Blackwell, New Jersey.
- Kmiecik, W., G. Jaworska and Z. Lisiewska. 2000. Effect of sucrose, L-ascorbic acid and pectin on the quality of frozen strawberries. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities 3(2): 1-10.
- Lim, T. K. 2011. *Artocarpus integer*. pp. 337-343. In: Edible Medicinal and Non-Medicinal plants. Springer, Netherlands.
- Mantana, B., K.I. Buttara, and R.C. Keith. 2014. Characterization of potent odorants in Thai chempedak fruit (*Artocarpus integer* Merr.), an exotic fruit of Southeast Asia. Food Research International 66: 388-395.
- Mújica-Paz, H., A. Valdez-Fragoso, A. López-Malo, E. Palou and J. Welti-Chanes. 2003. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. Journal of Food Engineering 57: 305-314.
- Netlak, P., R. Boonruangrod, C. Ampomah-Dwamena, A.C. Allan and W. Imsabai. 2023. β -carotene and lutein accumulation, and carotenoid biosynthetic gene expression during fruit development and fruit ripening of a genome banana. Scientia Horticulturae 307, doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111484

ความต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่มในหญ้าข้าวนกต้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าว

Multiple-Herbicide Resistance in Pyribenzoxim Resistant Barnyardgrass

(*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.) in Paddy Fields

จิราพร อินเต็ม¹ จำเนียร ชมภู¹ และทศพล พรพรหม^{1*}

Jiraphon Intem¹, Jamnian Chompoo¹ and Tosapon Pornprom^{1*}

Received: November 14, 2024

Revised: January 2, 2025

Accepted: January 6, 2025

Abstract: Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.) is a serious weed in paddy fields, which is most often controlled by pyribenzoxim, acetolactate synthase (ALS) inhibitors. Currently, failures in controlling this weed have been reported by farmers in Krachan sub-district, U-Thong district, Suphan Buri, after several years of successful control. This study was conducted to elucidate whether barnyardgrass populations have developed resistance to pyribenzoxim and to evaluate multiple herbicide resistance to other mechanisms of action that farmers commonly used to control barnyardgrass in paddy fields. Weed seeds were collected from farmer's fields to determine the physiological response to pyribenzoxim under greenhouse conditions. Both the resistant and susceptible barnyardgrass biotypes were investigated for I_{50} based on its visual injury at 7, 10, 14 and 21 days after application and GR_{50} based on plant height and fresh weight at 14 and 21 days after application. The resistance index of the resistant barnyardgrass was 25.70-42.74 folds higher than that of the susceptible biotype. Additionally, multiple-resistance of pyribenzoxim-resistant barnyardgrass for alternative management strategies using across mode of action of herbicides were determined. From the results, pyribenzoxim-resistant barnyardgrass have developed multiple resistance to clomazone (DOXP synthase Inhibitors) and cyhalofop-butyl (ACCase Inhibitors). However, it did not produce multiple resistance to propanil (Photosystem II Inhibitors) and profoxydim (ACCase Inhibitors). The results suggest that the alternative herbicides used to control pyribenzoxim-resistant barnyardgrass were controlled by propanil and profoxydim at the recommended rate of each herbicide. Farmers should rotate propanil to control and reduce the probability of pyribenzoxim-resistant barnyardgrass in paddy fields.

Keywords: Acetolactate synthase (ALS) inhibitors, Barnyardgrass, Multiple-resistance, Pyribenzoxim

บทคัดย่อ: หญ้าข้าวนกเป็นวัชพืชร้ายแรงที่พบทั่วไปในนาข้าว ส่วนใหญ่ถูกควบคุมโดยการใช้อยู่ไพริเบนโซซิม ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetolactate synthase (ALS) ในปัจจุบันเกษตรกรหลายรายในพื้นที่ ต.กระเจัน อ.อุทุมพร จ.สุพรรณบุรี เริ่มสังเกตเห็นว่าการใช้อยู่ไพริเบนโซซิมไม่สามารถควบคุมหญ้าข้าวนกได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งก่อนหน้านี้มีประสิทธิภาพในการควบคุมได้ดี การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์

¹ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

¹Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: agrtpp@ku.ac.th

ให้แน่ชัดว่า หญ้าข้าวนกมีการพัฒนาความต้านทานต่อสารสารไพริเบนโซซิม จริงหรือไม่ ตลอดจนทดสอบความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารกำจัดวัชพืชที่มีตำแหน่งปฏิกิริยาในการยับยั้งพืชที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นสารกำจัดวัชพืชที่เกษตรกรนิยมนำมาใช้ในการควบคุมหญ้าข้าวนกในนาข้าว เก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าข้าวนกจากแปลงเกษตรกรที่มีปัญหาเนื่องจากการใช้สารไพริเบนโซซิม เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสารไพริเบนโซซิมในสภาพเรือนทดลอง เมื่อพิจารณาค่า I_{50} จากความเป็นพิษ ที่ 7 10 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร และค่า GR_{50} จากความสูงและน้ำหนักสดของหญ้าข้าวนกทั้งสองไบโอไทป์ ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า ไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีของความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์ที่อ่อนแอมากถึง 25.70-42.74 เท่า จากนั้น ศึกษาความต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่มของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารไปยังสารในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน พบว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร มีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร โคลมาโซน (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ DOXP synthase) และไซฮาโลฟอป-บิวทิล (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) แต่ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารไพโรฟานิล (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ระบบแสง II) และไพโรพอกซิดิม (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารไพริเบนโซซิมได้ตามอัตราแนะนำ จากข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้ เกษตรกรควรมีการสลับเปลี่ยนกลุ่มการใช้สารเป็นไพโรฟานิลและไพโรพอกซิดิม เพื่อควบคุมและลดจำนวนประชากรของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าวต่อไป

คำสำคัญ: สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS, ความต้านทานสารหลายกลุ่ม, หญ้าข้าวนก, สารไพริเบนโซซิม

คำนำ

ในปัจจุบัน Heap (2024) ได้รายงานว่ามีวัชพืชจำนวน 273 ชนิด (วัชพืชใบเลี้ยงคู่ 156 ชนิดและใบเลี้ยงเดี่ยว 117 ชนิด) ที่ต้านทานสารกำจัดวัชพืชประมาณ 533 ชนิดทั่วโลก ซึ่งวัชพืชได้มีการพัฒนาความต้านทานตำแหน่งการเข้าทำลาย 31 ตำแหน่งจากสารกำจัดวัชพืช 168 ชนิด บริเวณพื้นที่แปลงปลูกพืช 101 ชนิด ใน 72 ประเทศ พบว่า วัชพืชต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetolactase synthase (ALS) มากที่สุด จำนวน 175 ชนิด เป็นวัชพืชใบแคบ 107 ชนิด และใบกว้าง 68 ชนิด รองลงมา คือ สารกลุ่มยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง ระบบแสง II (Photosystem II Inhibitors) จำนวน 87 ชนิด เป็นวัชพืชใบแคบ 53 ชนิด และวัชพืชใบกว้าง 34 ชนิด สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPs) จำนวน 60 ชนิด เป็นวัชพืชใบแคบ 28 ชนิด ใบกว้าง 32 ชนิด สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetyl CoA carboxylase (ACCase) จำนวน 51

ชนิด เป็นวัชพืชใบแคบทั้งหมด สำหรับสถานการณ์การเกิดวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชในประเทศไทยนั้น ได้มีรายงานการระบาดของหญ้าดอกขาว (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees) ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase (Maneechote *et al.*, 2005) เช่นเดียวกับ Pornprom *et al.* (2006) รายงานว่า หญ้าดอกขาวต้านทานสาร fenoxaprop-P-ethyl ในนาข้าวบางพื้นที่ในเขตสะพานสูง กรุงเทพฯ จากนั้น สุตานันท์ และคณะ (2558) รายงานว่า หญ้าข้าวนกต้านทานต่อสาร bispyribac-sodium ต่อมา วัชรา และคณะ (2560) รายงานว่า หญ้าแดงต้านทานสาร bispyribac-sodium เช่นเดียวกับ กนกวรรณ และคณะ (2565) รายงานว่า หญ้าแดง (*Ischaemum rugosum* Salisb.) ต้านทานสาร pyribenzoxim นอกจากนี้ Pinyosak and Pornprom (2017) ได้รายงานที่ กทมหวดปลาดุก (*Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl) ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าว จะสังเกตได้ว่าการเกิดวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืช

ส่วนใหญ่มักจะพบในเขตพื้นที่ภาคกลาง และในเขตจังหวัดภาคเหนือตอนล่างของประเทศ ในปัจจุบันนี้มีการทำนาข้าวหวานน้ำตมกันอย่างแพร่หลาย วัชพืชเป็นปัญหาหลักที่สำคัญในนาข้าว การแข่งขัน ของวัชพืช ทำให้ข้าวเจริญเติบโตช้า ปริมาณ และคุณภาพของผลผลิตข้าวลดลง ซึ่งวัชพืชโดยทั่วไปที่พบในนาข้าว ได้แก่ เทียนนา (*Ludwigia hyssopifolia* (G.Don)) ผักปอดนา (*Spenoclea zeylanica* Gaertn.) ตาลปัตรฤๅษี (*Limnocharis flava* (L.) Buchenau) หญ้าดอกขาว หญ้าแดง หญ้าข้าวนก กกทราย (*Cyperus iria* L.) กกขนาก (*Cyperus difformis* L.) และหนวดปลาดุก เป็นต้น (พิสิฐ และคณะ, 2550) เกษตรกรนิยมนำสารกำจัดวัชพืชมาใช้ในการควบคุมวัชพืช เนื่องจากประหยัดเวลาและแรงงาน (Borah, 2023) อย่างไรก็ตาม การใช้สารกำจัดวัชพืชชนิดเดิมซ้ำ ๆ ติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้เกิดมีวิวัฒนาการวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชได้

ในช่วง 2 - 3 ปี ที่ผ่านมา เกษตรกรหลายรายในเขตพื้นที่ ต.กระจัน อ.อุทุมพร จ.สุพรรณบุรี ได้รายงานว่ามีภาวะระบาดของหญ้าข้าวนกในนาข้าว การใช้สารไพริเบนโซซิมมีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกลดลง ซึ่งก่อนหน้านี้หลายปีการใช้สารชนิดนี้ มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกได้ดี ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประชากรของหญ้าข้าวนกมีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานต่อสารไพริเบนโซซิมในนาข้าวหรือไม่ และพิสูจน์ให้แน่ชัดว่าประชากรของหญ้าข้าวนกที่ต้านทานสารไพริเบนโซซิม อาจจะทำให้เกิดความต้านทานไปยังสารกำจัดวัชพืชกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งของสารภายในพืชที่แตกต่างกัน ที่นิยมนำมาใช้สำหรับการควบคุมหญ้าข้าวนกในนาข้าว จากผลการวิจัยในครั้งนี้ สามารถเป็นแนวทางให้เกษตรกรสามารถเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชได้หลายกลุ่มที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งของสารภายในพืชที่แตกต่างกัน โดยมีการสับเปลี่ยนหมุนเวียนสารกำจัดวัชพืช เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมกำจัดหญ้าข้าวนกที่ต้านทานสารไพริเบนโซซิมได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ ไม่เป็นพิษต่อข้าว และประหยัดต้นทุนสำหรับการทำนาหวานน้ำตมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าข้าวนก

เก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าข้าวนกที่สุกแก่ทางสรีรวิทยา จากแปลงนาข้าวหวานน้ำตมของเกษตรกรในเขตพื้นที่ ต.กระจัน อ.อุทุมพร จ.สุพรรณบุรี จำนวน 20 แปลง ในช่วง 2-3 ปี ที่ผ่านมา โดยมีพื้นที่จำนวน 17 แปลง เกษตรกรเริ่มสังเกตเห็นว่าการใช้สารไพริเบนโซซิมไม่สามารถควบคุมหญ้าข้าวนกได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งก่อนหน้านี้มีประสิทธิภาพในการควบคุมได้ดี ซึ่งคาดว่าจะน่าจะเป็น ไบโอไทป์ต้านทานสาร (resistant-biotype) ในขณะที่พื้นที่อีก 3 แปลง การใช้สารไพริเบนโซซิมมีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกได้ ซึ่งคาดว่าจะน่าจะเป็น ไบโอไทป์ที่อ่อนแอ (susceptible-biotype) จากนั้น นำเมล็ดใส่ของกระดาสีน้ำตาล เก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 40 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งทำการทดลอง ก่อนทำการทดลองนำไปทำลายการพักตัวในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสารไพริเบนโซซิม

นำเมล็ดหญ้าข้าวนกทั้งสองไบโอไทป์จำนวน 50 เมล็ด เพาะลงในหัวกระถางพลาสติกสีดำ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว สูง 6 นิ้ว ที่บรรจุดินเหนียวจากแปลงนาที่ปราศจากวัชพืช วางกระถางไว้ในโรงเรือนทดลองของภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม รดน้ำให้ชุ่มทุกวัน ๆ ละ 1 ครั้ง เวลา 8.00 น. เมื่อต้นกล้าหญ้าข้าวนกอายุได้ 10 วัน หลังปลูก (หรือมีใบจริง 2-4 ใบ) ถอนแยกให้เหลือ 20 ต้นต่อกระถาง แล้วพ่นสารกำจัดวัชพืชทันที วางแผนการทดลองแบบ Split plot in CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยปัจจัยหลัก คือ อัตราการใช้สาร pyribenzoxim จำนวน 6 อัตรา ได้แก่ 0 15.63 31.25 62.50 125 และ 250 g a.i./ ha (อัตราแนะนำ คือ 31.25 g a.i./ ha) ส่วนปัจจัยรอง คือ หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่

อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสารพ่นสารกำจัดวัชพืชด้วยถังพ่นสารแบบสูบโยกสะพายหลังที่สามารถควบคุมแรงดันได้ ขนาดความจุ 15 ลิตร ใช้หัวฉีดรูปพัด (flat fan type) อัตราการพ่นสาร 80 ลิตรต่อไร่

การบันทึกข้อมูลระดับความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืชที่พืชได้รับ ที่ 7 10 14 และ 21 วันหลังพ่นสาร โดยประเมินระดับความเป็นพิษด้วยระดับสายตา ให้คะแนนเป็นเปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยที่ 0 หมายถึง ไม่เป็นพิษต่อพืช และ 100 หมายถึง พืชตาย (Burritt *et al.*, 1976) จากนั้น วัดความสูงลำต้นวัชพืช (หน่วย: เซนติเมตร) และชั่งน้ำหนักสด (หน่วย: กรัมต่อต้น) ของหญ้าข้าวนก จำนวน 5 ต้นต่อกระถาง ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร

จากนั้น นำข้อมูลการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสารไพริเบนโซซิม วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Fisher's protected least significant difference test (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ด้วยโปรแกรม R version 4.0.2 (Development Core Team, 2020) พิจารณาค่า I_{50} (คือ ปริมาณสารกำจัดวัชพืชที่ทำให้พืชตายไป 50 เปอร์เซ็นต์ของประชากรทั้งหมด) และ GR₅₀ (คือ ปริมาณของสารกำจัดวัชพืชที่ทำให้การเจริญเติบโต

ของพืชลดลง 50 เปอร์เซ็นต์) ด้วยวิธีของ PROC PROBIT ระดับความเชื่อมั่น 99% ตามโปรแกรม PriProbit program version 1.63 (Sakuma, 1998) และพิจารณาค่าดัชนีความต้านทานสาร (Resistance index) จากสัดส่วนของไบโอไทป์ต้านทานสารต่อไบโอไทป์ที่อ่อนแอ ตามวิธีของ Valverde *et al.* (2000) จากสมการ ดังนี้

ดัชนีความต้านทานความเป็นพิษของสาร = I_{50} ของไบโอไทป์ต้านทานสาร / I_{50} ของไบโอไทป์ที่อ่อนแอ

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

นำเมล็ดหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารจำนวน 50 เมล็ด เพาะลงในกระถางที่บรรจุดินเหนียวจากแปลงนาที่ปราศจากวัชพืช นำไปไว้ในเรือนทดลองวางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ เมื่อต้นกล้าของหญ้าข้าวนกมี อายุ 10 วันหลังออก ทำการถอนให้เหลือหญ้าข้าวนก 20 ต้นต่อกระถาง พ่นสารกำจัดวัชพืชแต่ละชนิดตามอัตราแนะนำของสาร (Table 1) โดยมีหญ้าข้าวนกที่ไม่ได้พ่นสารกำจัดวัชพืชเป็นตัวเปรียบเทียบความต้านทาน (ชุดควบคุม)

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

Herbicide	Site of action	a.i. (%)	Dosage (g a.i./ha)	Application timing (DAS)
1. Control	-	-	-	-
2. pyribenzoxim	ALS Inhibitors	5% EC	31.25	7-12
3. clomazone	DOXP synthase Inhibitors	48% EC	25	7-12
4. cyhalofop-butyl	ACCase Inhibitors	20% EC	150	15
5. profoxydim	ACCase Inhibitors	7.5% EC	121.88	12-15
6. propanil	Photosystem II Inhibitors	36% EC	2025	15

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

DAS = days after sowing, and EC = emulsifiable concentrate

ผลการทดลองและวิจารณ์ การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มี ต่อสารไพริเบนโซซิม

จากการประเมินความเป็นพิษของสารไพริเบนโซซิมด้วยสายตา ที่ 7 10 14 และ 21 วันหลังพ่นสาร พบว่า การใช้สารไพริเบนโซซิม ทำให้หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอ แสดงอาการได้รับพิษในระดับปานกลางถึงรุนแรง แม้ว่าจะใช้สารต่ำกว่าอัตราแนะนำก็ตาม โดยที่หญ้าข้าวนกจะแสดงอาการได้รับพิษเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้สารกำจัดวัชพืชในอัตรามากขึ้นและเวลานานขึ้น ในขณะที่หญ้าข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร แสดงอาการได้รับพิษเล็กน้อย ไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อใช้สารระดับความเข้มข้นมากขึ้นจากอัตราแนะนำ 31.25 g a.i./ha จนถึง 250 g a.i./ha โดยที่ 7 วันหลังพ่นสาร หญ้าข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร แสดงอาการเป็นพิษน้อยกว่าใบโอโทปที่อ่อนแอ อยู่ในช่วง 2.00-2.55 เท่า (Figure 1A) จากนั้นที่ 10 วันหลังพ่นสาร พบว่า หญ้าข้าวนกข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร แสดงอาการเป็นพิษน้อยกว่าใบโอโทปที่อ่อนแอ อยู่ในช่วง 2.00-2.46 เท่า (Figure 1B) ในขณะที่ 14 วันหลังพ่นสาร หญ้าข้าวนกข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร แสดงอาการเป็นพิษน้อยกว่าใบโอโทปที่อ่อนแอ อยู่ในช่วง 2.76-2.86 เท่า (Figure 1C) ส่วนที่ 21 วันหลังพ่นสาร พบว่า หญ้าข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร แสดงอาการเป็นพิษน้อยกว่า ใบโอโทปที่อ่อนแอ อยู่ในช่วง 1.76-2.57 เท่า (Figure 1D)

การตอบสนองต่อการเจริญเติบโตด้านความสูง ที่ 14 และ 21 วันหลังพ่นสาร พบว่า การใช้สารไพริเบนโซซิมในแต่ละอัตรากับหญ้าข้าวนกทั้งสองใบโอโทป มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยที่การตอบสนองด้านความสูงจะลดลงตามอัตราการใช้สารที่สูงขึ้น กล่าวคือ เมื่อได้รับสารไพริเบนโซซิม อัตรา 15.63 - 250

g a.i./ ha หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอมีการเจริญเติบโตด้านความสูงน้อยกว่าใบโอโทปด้านทานสาร พบว่า ความสูงของหญ้าข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้สารไพริเบนโซซิมในอัตราสูงกว่าอัตราแนะนำ 125 และ 250 g a.i./ha ในขณะที่การใช้สารอัตราแนะนำ ทำให้หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอ มีความสูงลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้สารอัตรา 125 และ 250 g a.i./ha ทำให้หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอ มีความสูงลดลง 15.43 และ 10.46 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ที่ 14 วันหลังพ่นสาร (Figure 2A) อย่างไรก็ตาม ที่ 21 วันหลังพ่นสาร หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอ ไม่สามารถวัดความสูงได้หรือตาย เมื่อใช้สารในอัตราดังกล่าวข้างต้น (Figure 2B)

การตอบสนองต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสด ที่ 14 วันหลังพ่นสาร (Figure 3A) พบว่า การใช้สารในอัตราแนะนำ ทำให้หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอและใบโอโทปด้านทานสาร มีน้ำหนักสด เท่ากับ 34.38 และ 83.08 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งใบโอโทปด้านทานสารมีน้ำหนักสดมากกว่าใบโอโทปที่อ่อนแอ เท่ากับ 2.42 เท่า เมื่อใช้สารอัตรา 62.35, 125 และ 250 g a.i./ha หญ้าข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร มีการสะสมน้ำหนักแห้งมากกว่าใบโอโทปที่อ่อนแอ เท่ากับ 2.46, 3.56 และ 4.38 เท่า ตามลำดับ ส่วนการสะสมน้ำหนักสดของหญ้าข้าวนกที่ 21 วันหลังพ่นสาร (Figure 3B) พบว่า การใช้สารอัตรา 15.63, 31.25 และ 62.50 g a.i./ha หญ้าข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร มีการสะสมน้ำหนักแห้งมากกว่า ใบโอโทปที่อ่อนแอเท่ากับ 1.63, 2.63 และ 4.78 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้สารในอัตรา 125 และ 250 g a.i./ha ทำให้หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอ ตาย ในขณะที่ใบโอโทปด้านทานสาร มีการสะสมน้ำหนักสด 57.27 และ 47.27 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

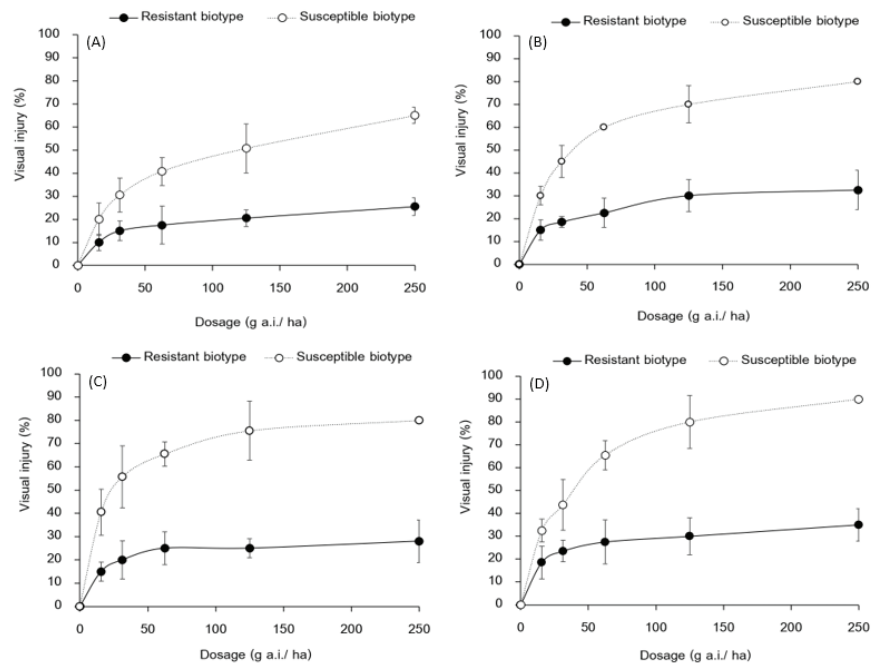


Figure 1 Visual injury of pyribenzoxim on susceptible- and resistant-biotypes at 7 (A), 10 (B), 14 (C) and 21 (D) days after application. Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error (n = 4).

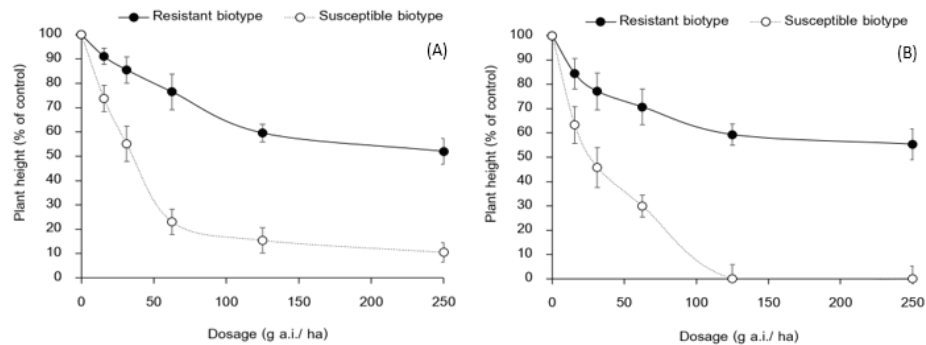


Figure 2 Effect of pyribenzoxim on plant height of susceptible- and resistant-biotypes at 14 (A) and 21 (B) days after application. Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error (n = 4).

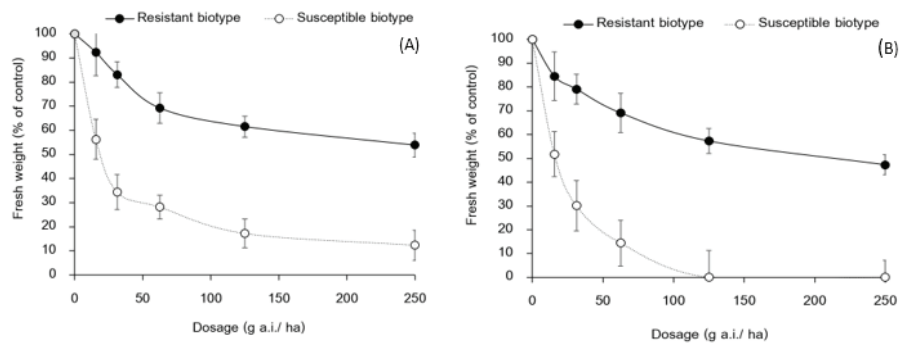


Figure 3 Effect of pyribenzoxim on fresh weight of susceptible- and resistant-biotypes at 14 (A) and 21 (B) days after application. Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error (n = 4).

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีของความต้านทานสารจากอาการที่พืชได้รับพิษทั้งใบไอบีที่อ่อนแอและใบไอบีที่ต้านทานสาร ที่ 7 10 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า หญ้าข้าวนกใบไอบีที่อ่อนแามีค่า I_{50} เท่ากับ 38.29 40.02 52.14 และ 41.29 g a.i./ ha ตามลำดับ และใบไอบีที่ต้านทานสารมีค่า I_{50} เท่ากับ 1105.20 1235.50 1634.74 และ 1064.22 g a.i./ ha ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานความเป็นพิษของสาร 28.90 25.70 31.39 และ 25.77 เท่า ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสารจากความสูงที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า หญ้าข้าวนกใบไอบีที่อ่อนแามีค่า GR_{50} เท่ากับ 14.59 และ 19.91 g a.i./ ha และใบไอบีที่ต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 573.73 และ 795.30 g a.i./ ha ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 39.52 และ 39.95 เท่า เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสารจากน้ำหนักสด ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า หญ้าข้าวนกใบไอบีที่อ่อนแามีค่า GR_{50} เท่ากับ 21.41 และ 31.57 g a.i./ ha และใบไอบีที่ต้านทานสารมีค่า GR_{50} เท่ากับ 915.04 และ 1072.63 g a.i./ ha ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 42.74 และ 33.98 เท่า (Table 2)

ความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสารไพโรเบนโซซิม

การศึกษาความต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่มของหญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสารไปยังสารในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน ไปยังสารโคลมาโซน (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ DOXP synthase) ไชฮาโลฟอป-บิวทิล และไพโรพอกซิม (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) และไพโรพานิล (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ระบบแสง II) ซึ่งมีกลไกการเข้าทำลายพืชที่แตกต่างกัน (Table 1) พบว่า หญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสาร มีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารโคลมาโซน และไชฮาโลฟอป-บิวทิล แต่ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารไพโรพานิล และไพโรพอกซิม

เมื่อพิจารณาจากระดับความเป็นพิษของหญ้าข้าวนกที่ 7 10 14 และ 21 วัน หลังจากได้รับสาร รวมทั้งพิจารณาจากความสูงและน้ำหนักสด ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร (Table 3) พบว่า การประเมินความเป็นพิษความสูง และน้ำหนักสดของสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยหลังจากได้รับสารไพโรพอกซิม และไพโรพานิล หญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสาร แสดงอาการได้รับพิษมีการชะงักการเจริญเติบโต และตายไปในที่สุด ในขณะที่เมื่อ ได้รับสารโคลมาโซน และไชฮาโลฟอป-บิวทิล แสดงอาการเป็นพิษเล็กน้อย มีการชะงักการเจริญเติบโตในช่วงแรก แต่สามารถเจริญเติบโตเป็นปกติได้ในเวลาต่อมา ดังนั้น การใช้สารชนิดนี้ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสารลดลง จากการประเมิน การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสารไพโรเบนโซซิม ไปยังสารกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน พบว่า หญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสารไพโรเบนโซซิม มีการพัฒนาเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารโคลมาโซน และไชฮาโลฟอป-บิวทิล อย่างไรก็ตาม หญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสารไพโรเบนโซซิม ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารไพโรพานิล และไพโรพอกซิม จากการศึกษาของ Kanan et al. (2020) พบว่า ประชากรหญ้าข้าวนก 24 ประชากร จาก 38 ประชากร เกิดความต้านทานสารฟีนอกซีแรม โดยที่การใช้สารในอัตราสูงกว่าอัตราแนะนำ (>20.2 g a.i./ ha) จึงจะสามารถทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งลดลง 50 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้ยังพบว่า จำนวน 14 ประชากร ใน 24 ประชากร ที่ต้านทานสารฟีนอกซีแรมสามารถต้านทานสารไพโรพอกซิมได้ ในขณะที่ Hwang et al. (2022) ได้ศึกษาหญ้าข้าวนกที่ต้านทานและอ่อนต่อสารในกลุ่มยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ACCase ได้แก่ ไชฮาโลฟอป-บิวทิล ฟิโนซาพโรป-เอทิล และควิซาโลฟอป-เอทิล พบว่าหลังพ่นสารไชฮาโลฟอป-บิวทิล และฟิโนซาพโรป-เอทิล หญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานและอ่อนต่อสารมีอัตราส่วน

ความต้านทานต่อความอ่อนแอ เท่ากับ 7.9-14.4 ส่วนการพ่นสารและควิซาโลฟอป-เอทิล หญ้าข้าวนกมีอัตราโดยที่ไปโอโทปีที่ต้านทานมีอัตราส่วนความต้านทานต่อความอ่อนแอ เท่ากับ 2.4-3.1 ซึ่งหญ้าข้าวนกมีความต้านทานสารไซฮาโลฟอป-บิวทิลมากกว่า 1.6 เท่า หลังจากพ่นสาร 24 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่า หญ้าข้าวนกเป็นวัชพืชที่ร้ายแรงที่พบมากในนาข้าว สามารถปรับตัวต้านทานต่อสารกำจัดวัชพืชได้หลากหลายชนิดและหลายกลุ่ม โดยที่ Qiong *et al.* (2019) รายงานว่า หญ้าข้าวนกต้านทานสารกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เกิดความต้านทานไปยังสารควินคลอแรก ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการสังเคราะห์ cellulose นอกจากนี้ มงคล และคณะ (2565) รายงานว่า หญ้าข้าวนกต้านทานสารพิน็อกซูแรม สามารถเกิดความต้านทานสารข้ามไปยังสารบิสไพริเบค-โซเดียม ไพริเบนซอกซิม และไตรอะฟาโมน ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าหญ้าข้าวนกไปโอโทปีนั้นสามารถต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารควินคลอแรก (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอริโมนพืช) ไพริฟอกซิมและเมทามิฟอป (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) และไพริพานิล (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง ระบบแสง II) ซึ่งแตกต่างไปจากงานวิจัยที่มีการใช้สารไพริพานิล ในอัตราแนะนำ 2,025 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดหญ้าข้าวนก ทำให้หญ้าข้าวนกตาย 100 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารกำจัดวัชพืชที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งของสารภายในพืชที่แตกต่างกันที่เกษตรกร

นิยมนำมาใช้ในการควบคุมหญ้าข้าวนกในนาข้าว โดยพิจารณาจากการตอบสนองทางด้าน สรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกไปโอโทปีที่ต้านทานสาร เมื่อพิจารณาที่ระดับค่า I_{50} และ GR_{50} จากที่อัตราแนะนำของสารกำจัดวัชพืช แต่ละชนิด (Table 3) พบว่า หญ้าข้าวนกไปโอโทปีที่ต้านทานสารได้รับความเป็นพิษจากการใช้สารไพริพานิลมากที่สุด ส่งผลทำให้ มีการเปลี่ยนแปลงของความสูงและน้ำหนักแห้ง มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ สารไพริฟอกซิม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้สารดังกล่าวนี้ ในอัตราแนะนำ (หรือการใช้สารในอัตราที่มากกว่า) ทำให้ไม่สามารถเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารโคลมาโซนและไซฮาโลฟอป-บิวทิล ที่มีการนำมาใช้สำหรับควบคุมหญ้าข้าวนกในนาข้าว ดังนั้น แนวทางการเปลี่ยนชนิดของสารกำจัดวัชพืชที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งของสารภายในพืชที่แตกต่างกัน และการหลีกเลี่ยงไม่ใช้ สารกำจัดวัชพืชชนิดเดิมซ้ำ ๆ ติดต่อกันในพื้นที่เดียวกันเป็นเวลานาน เป็นวิธีการป้องกันและการจัดการวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืช นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้ร่วมกับการเปลี่ยนชนิดสารกำจัดวัชพืช เช่น การปลูกพืชหมุนเวียน เนื่องจากวัชพืชที่ขึ้นในแปลงจะเปลี่ยนไปตามชนิดของพืชปลูก หรือการเกษตรกรรมที่มีการลดการใช้สารกำจัดวัชพืช โดยใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักรในการกำจัดวัชพืช ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถแนะนำเป็นแนวทางให้เกษตรกรเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และนำมาใช้ในการควบคุมและป้องกันการแพร่ระบาดของประชากรหญ้าข้าวนกต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

Table 2 Resistance index levels of barnyardgrass populations to pyribenzoxim.

Biotypes of barnyard grass	Visual injury (I_{50})				Plant height (GR_{50})		Fresh weight (GR_{50})	
	7 DAA	10 DAA	14 DAA	21 DAA	14 DAA	21 DAA	14 DAA	21 DAA
Resistant-biotypes	1105.20	1235.50	1634.74	1064.22	573.73	795.30	915.04	1072.63
Susceptible-biotypes	38.29	48.02	52.12	41.29	14.59	19.91	21.41	31.57
Resistance index	28.90	25.70	31.39	25.77	39.32	39.95	42.74	33.98

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

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

DAA = Day after application

Table 3 Multiple-resistance of pyribenzoxim barnyardgrass resistant to the other herbicides mechanism of action.

	Visual injury (%)				Plant height (cm)		Fresh weight (g)	
	7 DAA	10 DAA	14 DAA	21 DAA	7 DAA	10 DAA	14 DAA	21 DAA
1. Control	0 f	0 f	0 f	0 f	22.1 a	29.3 a	0.87 a	1.00 a
2. pyribenzoxim	25.0 de	30.0 d	30.5 e	25.0 d	17.2 b	25.0 c	0.33 c	0.55 c
3. clomazone	30.0 cd	30.5 d	40.0 d	27.5 d	17.4 b	24.1 c	0.30 c	0.67 bc
4. cyhalofop-butyl	35.0 c	54.0 c	47.5 c	37.5 c	17.5 b	27.0 b	0.43 b	0.63 bc
5. profoxydim	52.5 b	67.5 b	75.0 d	65.0 b	12.8 c	19.3 d	0.15 d	0.20 d
6. propanil	90.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a	0.0 d	0.0 e	0.0 e	0.0 d
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	13.6	8.6	9.5	10.3	4.6	3.6	4.5	2.1

DAA = Day after application

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

สรุป

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าว
นกโบไโอไพบีต้านทานสารและโบไโอไพบีที่อ่อนแอต่อ
สารไพริเบนโซซิม (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์
ALS) เมื่อพิจารณาจาก I_{50} จากระดับความเป็นพิษ
และ GR_{50} จากความสูงและน้ำหนักสด พบว่า หญ้า
ข้าวนกโบไโอไพบีต้านทานสารมีค่าดัชนีความต้านทาน
สารสูงกว่าโบไโอไพบีที่อ่อนแอมากถึง 31.43-62.36 เท่า
จากนั้น ศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้า
ข้าวนกโบไโอไพบีต้านทานสารไปยังสารในกลุ่มอื่น ๆ
ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืช
ที่แตกต่างกัน พบว่า หญ้าข้าวนกโบไโอไพบีต้านทาน
สารมีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่ม
ไปยังสาร โคโลมาโซน (สารที่ยับยั้งการทำงานของ
เอนไซม์ DOXP synthase) และไซฮาโลฟอป-บิวทิล
(สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) แต่ไม่
เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารไพโรพานิล
(สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ระบบ
แสง II) และไพพรอกซิดิม (สารที่ยับยั้งการทำงานของ
เอนไซม์ ACCase) จึงทำให้มีประสิทธิภาพใน
การควบคุมหญ้าข้าวนกโบไโอไพบีต้านทานสาร
ไพริเบนโซซิมได้ตามอัตราแนะนำ ดังนั้น ควรแนะนำ
ให้เกษตรกรมีการสลับเปลี่ยนหมุนเวียนไปใช้สาร
ไพโรพานิล และไพพรอกซิดิม เพื่อควบคุมและ
ลดจำนวนประชากรของหญ้าข้าวนกโบไโอไพบี
ต้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าวต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ ดาราหมาน, จำเนียร ชมภู และทศพล
พรพรม. 2565. การเกิดความต้านทานสาร
กำจัดวัชพืชหลายกลุ่มในประชากรหญ้าแดง
ต้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าว.
วารสารเกษตร 38(1): 63-75.
- มงคล ศรีเพียงจันทร์, จำเนียร ชมภู และทศพล
พรพรม. 2565. ทางเลือกการใช้สารกำจัด
วัชพืชในการจัดการหญ้าข้าวนกต้านทาน
สารฟีนอกซีแลมในนาข้าว. เกษตร
50(3): 760-771.
- วัชรามณฑาทิพย์, จำเนียร ชมภู และทศพล พรพรม.
2560. หญ้าแดง (*Ischaemum rugosum*
Salisb.) ต้านทานต่อสารปีสไพริเบค-
โซเดียมในข้าวนาหว่านน้ำตม. หน้า 933-
946. ใน: การประชุมวิชาการอรัญวิทยา
แห่งชาติ ครั้งที่ 13 ณ โรงแรมเรือรัฐฯ, ตรัง.
- พิสิฐ พรหมนารถ, อาทิตย์ กุคำอู, ปัญญา ร่มเย็น,
สุรพล จตุพร, นิตยา รื่นสุข, สำนัญ อินแถลง,
เฉลิมชาติ ฤาไชยคาม, อมรรัตน์ อินทรมัน
และพีระ ดุงสูงเนิน. 2550. คู่มือการป้องกัน
กำจัดวัชพืชในนาข้าว. โรงพิมพ์ชุมนุม
สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด,
กรุงเทพมหานคร. 87 หน้า.
- สุตานันท์ โพธิ์สวัสดิ์, สุรพล อินทากานันท์, จำเนียร
ชมภู และทศพล พรพรม. 2558. การศึกษา

- หญ้าข้าวนกต่านทานสารปีสไฟรีแบค-ไฮเดียมในนาหว่านน้ำตม. หน้า 116-117. ใน: การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 12. ณ โรงแรมดุสิตไฮสแลนด์ รีสอร์ท, เชียงราย.
- Borah, D. 2023. Different methods of weed management. *AgroScience Today* 4(9): 660-662.
- Burrill, L.C., J. Cardenas and E. Locatelli. 1976. Field manual for weed control research. International Plant Protection center, Oregon State University, Corvallis. 63 p.
- Development Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. (Online). Available Source: <http://www.R-project.org> (November 1, 2024).
- Heap, I. 2024. The international herbicide-resistant weed database. (Online): Available Source: <http://www.weedscience.org> (November 1, 2024).
- Hwang, J.-I., J.K. Norsworthy, F. González-Torralva, L.B. Piveta, L.T. Barber and T.R. Butts. 2022. Cross-resistance of barnyardgrass [*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.] to aryloxyphenoxypropionate herbicides. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 184: 105089, doi: 10.1016/j.pestbp.2022.105089.
- Kacan, K., N. Tursun, H. Ullah and A. Datta. 2020. Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.) resistance to acetolactate synthase-inhibiting and other herbicides in rice in Turkey. *Plant, Soil and Environment* 66(7): 357-365.
- Maneechote, C., S. Samanwong, X.-Q. Zhang and S.B. Powles. 2005. Resistance to ACCase-inhibiting herbicides in sprangletop (*Leptochloa chinensis*). *Weed Science* 53(3): 290-295.
- Phinyosak, R. and T. Pornprom. 2017. Resistance of *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl populations to acetolactate synthase-inhibiting herbicides. In: The 26th Asian-Pacific Weed Science Society Conference. 19-22 September 2017, at Kyoto Research Park, Kyoto, Japan.
- Pornprom, T., P. Mahatamnuchoke and K. Usui. 2006. The role of altered acetyl-CoA carboxylase in conferring resistance to fenoxaprop-P-ethyl in Chinese sprangletop (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees). *Pest Management Science* 62(11): 1109-1115.
- Qiong, P., H. Heping, Y. Xia, B. Lianyang, Y. Qin and S.B. Powles. 2019. Quinclorac resistance in *Echinochloa crus-galli* from China. *Rice Science* 26(5): 300-308.
- Sakuma, M. 1998. Probit analysis of preference data. *Applied Entomology and Zoology* 33(3): 339-347.
- Valverde, B.E., C.R. Riches and J.C. Caseley. 2000. Prevention and Management of Herbicide-Resistant Weeds in Rice: Experiences from Central America with *Echinochloa colona*. *Camara de Insumos Agropecuarios de Costa Rica*, San Jose.
- Wang, X.L., Z.Y. Zhang, X.M. Xu and G. Li. 2019. The density of barnyard grass affects photosynthesis and physiological characteristics of rice. *Photosynthetica* 57(2): 705-711.

เปรียบเทียบความเข้มข้นของ IAA ต่อการเจริญเติบโตและออกรากของท่อนพันธุ์ ปักชำมันเลือด

Comparison of IAA Concentrations on Growth and Rooting in Vine Cuttings of *Dioscorea alata*

อนุสรา จบศรี^{1*} และนพรัตน์ ไพโรจน์¹

Anussara Chopsri^{1*} and Nopparat Piroj¹

Received: October 25, 2024

Revised: January 6, 2025

Accepted: January 16, 2025

Abstract: The present research aimed to study the concentration of IAA on the growth and rooting of vine cuttings of *Dioscorea alata* L. The 6 months-old vines were cut and divided into groups and subsequently soaked in IAA at the concentrations of 50, 100, 150, 200, and 0 ppm (control). The treated cuttings were transferred and grown in the media. It was found that all of the IAA-treated groups tended to have above-ground growth after cutting, which were vine length and number of leaves, better than the control group. The cuttings soaked in 100 ppm IAA tended to have the greatest vine length after cutting for 35 days (44.86 ± 22.38 cm), while the application of 50 ppm IAA resulted in the greatest number of leaves, equal to 6.00 ± 3.87 and 6.40 ± 3.91 leaves after cutting for 28 and 35 days, respectively. After 90 days of cutting, the survival percentage was found the highest survival rate of 73 in the cuttings treated with 150 ppm IAA. IAA at 100 ppm was the best concentration that promoted the growth of the underground part considering the number of roots and root length and the fresh weight of the mini-tuber with values equal to 9.31 ± 2.98 roots, 42.46 ± 6.51 centimeters, and 4.84 ± 1.65 grams, respectively. The use of 50 ppm IAA was inferior effective to those in 100 ppm IAA but gave the lowest percentage of survival (47%). An increased concentration of IAA to 150 and 200 ppm was not different from the control group in the results of the underground growth.

Keywords: Hormone, Propagation, Yam

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสาร IAA ต่อการเจริญเติบโต และการออกรากของท่อนพันธุ์มันเลือดที่ขยายพันธุ์แบบปักชำ โดยตัดเถาของต้นมันเลือดอายุ 6 เดือน แบ่งท่อนพันธุ์เป็นกลุ่มเพื่อจุ่ม IAA ที่ระดับความเข้มข้น 50 100 150 200 และ 0 ppm (กลุ่มควบคุม) แล้วนำไปปักชำ จากผลการทดลองพบว่า การจุ่มท่อนพันธุ์ใน IAA ทุกความเข้มข้นมีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินหลังปักชำคือความยาวเถา และจำนวนใบ ดีกว่ากลุ่มควบคุม โดยการจุ่ม IAA 100 ppm ส่งผลให้ท่อนพันธุ์หลังปักชำ 35 วัน มีแนวโน้มให้ความยาวเถามากที่สุด เท่ากับ 44.86 ± 22.38 เซนติเมตร ในขณะที่การใช้ IAA 50 ppm ส่งผลให้ท่อนพันธุ์มีจำนวนใบมากที่สุด เท่ากับ 6.00 ± 3.87 และ 6.40 ± 3.91 ใบ หลังปักชำเป็นเวลา 28 และ 35 วัน ตามลำดับ ด้านเปอร์เซ็นต์การรอด หลังปักชำเป็นเวลา 90 วัน พบว่าท่อนพันธุ์ปักชำมีการรอดตายสูงสุด เท่ากับ 73 เปอร์เซ็นต์ ที่ในกลุ่ม

¹สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาพิษณุโลก จ.พิษณุโลก 65000

¹Major of Plant Science, Faculty of Science and Agriculture Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok, Phitsanulok 65000

*Corresponding author: anussara@rmul.ac.th

ที่ได้รับ IAA 150 ppm ส่วน IAA ที่ระดับความเข้มข้น 100 ppm ส่งเสริมการเจริญเติบโตของหัวใต้ดินของ มันเลื้อยหลังปักชำดีที่สุด เมื่อพิจารณาจนวนราก และความยาวราก และน้ำหนักสดของหัวที่เกิดใหม่ ที่มีค่าเท่ากับ 9.31 ± 2.98 ราก 42.46 ± 6.51 เซนติเมตร และ 4.84 ± 1.65 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคือการใช้ IAA 50 ppm แต่ให้ เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตต่ำสุด (47%) ในขณะที่การใช้ IAA ที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นคือ 150 และ 200 ppm ให้การเจริญเติบโตของหัวใต้ดินไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ใช้ฮอร์โมน

คำสำคัญ: ฮอร์โมน, การขยายพันธุ์, มันเลื้อย

คำนำ

พืชสกุล *Dioscorea* sp. เป็นแหล่งอาหารสำคัญที่มีการใช้ประโยชน์ทั่วโลก มีรายงานการผลิตมากที่สุดในทวีปแอฟริกา คิดเป็น 93 เปอร์เซ็นต์ของการผลิตมันทั่วโลก ผลผลิตประมาณ 48 ล้านตันต่อปี (Asiedu and Sartie, 2010) มันเลื้อย (*Dioscorea alata* L.) อยู่ในวงศ์ Dioscoreaceae จัดเป็นมันป่าชนิดหนึ่ง จากการสำรวจของ พุทธพงษ์ และคณะ (2565) ในประเทศไทยพบการกระจายพันธุ์ในป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ พื้นที่รกร้าง และพื้นที่เกษตรกรรม ในเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย พบว่าความเสื่อมโทรมจากการรุกป่าพื้นที่ป่า และการขยายพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจเชิงเดี่ยวในปัจจุบัน ส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของธรรมชาติ ทำให้มันเลื้อยหาได้ยากขึ้นหรือสูญหายในบางพื้นที่

มันเลื้อยมีลักษณะการเจริญเติบโตแบบเถาเลื้อยพันทวนเข็มนาฬิกา ใบมีรูปร่างคล้ายหัวใจ ปลายแหลม ใบที่เจริญเติบโตเต็มที่สีเขียวเข้มปนม่วง ส่วนใบอ่อนมีสีชมพูอมแดงหรือม่วงเข้ม ต้นสะสมอาหารในรูปแบบหัวใต้ดิน หัวเปลือกชั้นนอกมีผิวขรุขระเป็นสีน้ำตาล เนื้อในหัวมันมีสีม่วงเข้ม ม่วงอ่อน หรือเป็นจุดม่วงกระจาย (จงรอง, 2560) หัวมันเลื้อยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 98.53 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (Rugchati and Thanacharoenchanaphas, 2010) มีสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน และมีปริมาณแอนโทไซยานินรวมที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 10.26 ± 1.34 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชนาภร และคณะ, 2566) ด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่สูง มันเลื้อยจัดเป็นพืชที่ควรอนุรักษ์

การใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนจำเป็นต้องอาศัยการขยายพันธุ์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มปริมาณต้นพันธุ์ โดยทั่วไปมันเลื้อยสามารถขยายพันธุ์ได้หลายวิธีเช่น ขำตา หัวย่อย หรือเถาปักชำ (จงรอง, 2560) Walsen *et al.* (2020) รายงานว่า *D. alata* สามารถขยายพันธุ์แบบเมล็ด เถา แบ่งหัวหรือตัดแบ่งหัวให้มีขนาด 50 - 55 กรัม ทำให้ได้ผลผลิตมากที่สุด อย่างไรก็ตามการขยายพันธุ์แบบปักชำมักพบปัญหาความไม่เหมาะสมของการเกิดราก และต้นใหม่ รวมทั้งท่อนพันธุ์เน่าตาย

ออกซิน (auxin) เป็นฮอร์โมนที่มีบทบาทสำคัญในการชักนำการเกิดรากในพืช โดย Weigel *et al.* (1984) พบว่าระดับ IAA ซึ่งเป็นออกซินที่สร้างในพืช (endogenous auxin) เพิ่มสูงและสัมพันธ์กับการเกิดรากพิเศษของกิ่งขำ *Chrysanthemum morifolium* ปัจจุบันมีการใช้ออกซินสังเคราะห์อย่างแพร่หลายในการขยายพันธุ์พืช ซึ่งการตอบสนองของพืชหรือชิ้นส่วนของพืชแต่ละชนิดต่อสารออกซินจะแตกต่างกัน ณัฐพงศ์ และคณะ (2560) ศึกษาการใช้ฮอร์โมนในกลุ่มออกซินเพื่อแก้ปัญหาการออกรากไม่สม่ำเสมอในการตัดชำมันเทศประดับ โดยเลือกกิ่งอายุ 60 วัน จุ่มสารละลาย naphthyl acetic acid (NAA) indole butyric acid (IBA) และ indole acetic acid (IAA) พบว่า การใช้ IBA 1,000 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนราก ความยาวรากที่ดีที่สุด และกิ่งที่จุ่ม IAA มีแนวโน้มให้ผลดีด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นหลังปักชำ ได้แก่ จำนวนกิ่งแขนง และความยาวใบ สำหรับกลุ่มไม่ย่นต้น กิ่งปักชำ (stem cuttings) ของ *Ficus Hawaii* เมื่อใช้ IBA และ IAA 50 ppm มีอัตราการรอดตาย การออกราก การเจริญเติบโตด้านลำต้น

ดีกว่าการไม่ใช้ฮอร์โมนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Hassanein, 2013) สำหรับพืชในสกุล *Dioscorea* นั้น รงรอง และคณะ (2560) ศึกษาการใช้สารเร่งราก ในการปักชำมันเลื้อยอายุ 1 ปี โดยใช้ท่อนพันธุ์ของ เถาแฮฮอร์โมน IBA ที่ระดับความเข้มข้น 0 - 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 5 นาที หลังปักชำเป็นเวลา 1 เดือน พบว่า ท่อนมันผ่านการแช่ IBA ที่ระดับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรให้จำนวนท่อนพันธุ์รอดชีวิตมากที่สุดคือ 67.50 เปอร์เซ็นต์ และมีจำนวนราก ต่อต้น ความยาวรากเฉลี่ย มากกว่าการไม่ใช้ฮอร์โมน การจุ่มท่อนพันธุ์ *D. alata* พันธุ์ Bètè-bètè และ Florido เป็นเวลา 24 ชั่วโมงในน้ำมะพร้าวเจือจาง 5 เปอร์เซ็นต์ ในขั้นตอนของการขยายพันธุ์แบบปักชำ ของมัน เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการ ผลิตหัวมัน (Fofana *et al.*, 2019) ซึ่งในน้ำมะพร้าว มี IAA เป็นฮอร์โมนพืชหลักที่พบในน้ำมะพร้าวอ่อนสด ($198.2 \times 10^{-3} \mu\text{M}$) (Tan *et al.*, 2014) ในการขยาย หัวมันป่า (*Dioscorea rotundata* L.) แบบผ่าแบ่งหัว (minisets) พบว่าการทดสอบ IAA ที่ผลิตได้จากเชื้อ *Bacillus subtilis* (CM4-CM5) ให้คุณภาพราก ได้แก่ ความยาวราก น้ำหนักราก และการแตกหน่อดีกว่า ชุดควบคุม (Swain *et al.* 2007) ทั้งนี้ในการขยาย พันธุ์มันเลื้อยยังไม่พบการใช้ IAA ซึ่งเป็นออกซิน หลักที่สำคัญ งานทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ เปรียบเทียบความเข้มข้นของ IAA ต่อการเจริญเติบโต และออกรากของท่อนพันธุ์ปักชำมันเลื้อย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมส่วนขยายพันธุ์

นำส่วนหัวของมันเลื้อยที่เก็บในช่วง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2565 จากแปลงรวบรวมพันธุ์ ของโครงการศึกษาลักษณะประจำพันธุ์และการ เจริญเติบโตของมันพื้นบ้านซึ่งเป็นมันพื้นบ้านที่นำ มาจากพื้นที่พิษณุโลก โดยนำหัวมาปลูกในกระถาง พลาสติกดำขนาด 7.5x5.5 นิ้ว ที่บรรจุดินร่วนเป็นวัสดุ ปลูก ดูแลรักษา ณ โรงเรือนไม้ผล สาขาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก เมื่อต้น พันธุ์มีอายุ 6 เดือน จึงนำมาใช้สำหรับเตรียมส่วน ขยายพันธุ์ในงานทดลอง

วิธีการทดลอง

ตัดเถาท่อนพันธุ์มันเลื้อยที่มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยใช้กรรไกรตัดกิ่ง ตัดเหนือขึ้นมาจาก กระถาง 5 ข้อตา แล้วตัดให้มีความยาวประมาณ 1 นิ้ว ประกอบด้วย 1 ข้อตา และใบ 2 ใบ (Figure 1 A) นำท่อนพันธุ์แช่สารป้องกันกำจัดเชื้อรา (Metalaxyl 25% WP) อัตรา 60 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร เป็นเวลา 5 นาที ผึ่งด้วยพัดลมนาน 5 นาที แล้วนำส่วนขยาย พันธุ์ที่เตรียมไว้ จุ่มลงในสารละลาย Indole-3-acetic acid (IAA), Sisco Research Laboratories pvt. Ltd.) ความเข้มข้น 50 100 150 และ 200 ppm เป็นเวลา 30 วินาที ส่วนชุดควบคุม ท่อนพันธุ์จะไม่ได้แช่ แล้ววางทิ้งไว้พอแห้งหมาด จึงนำมาปักชำใน ถูเพาะชำพลาสติกสีขาวขนาด 8x13 นิ้ว ที่บรรจุวัสดุ ปักชำ คือ แกลบดำผสมทรายอัตราส่วน 1 ต่อ 1 แล้ว รดน้ำทุกวัน วันละครั้ง ณ โรงเรือนที่มีการพรางแสง ด้วยตาข่ายพรางแสง 50 เปอร์เซ็นต์ (อุณหภูมิสูงสุด 35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 18 องศาเซลเซียส)

การบันทึกข้อมูล

หลังปักชำเป็นเวลา 35 วัน บันทึกการเจริญ เติบโตของส่วนเหนือดินของต้นมันเลื้อยที่แตกใหม่ (Figure 1 B) ได้แก่ 1) ความยาวเถา (เซนติเมตร) โดยวัดตั้งแต่ส่วนของลำต้นที่เหนือดินขึ้นไปยังส่วน ปลายยอด และ 2) จำนวนใบ โดยนับใบที่ทางเต็มที่มี สีเขียวอ่อนหรือเขียวแก่ 3) เปอร์เซ็นต์การรอดของ ท่อนพันธุ์โดยนับท่อนพันธุ์ที่มียอดและรากหลังปักชำ และเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของส่วนใต้ดิน ท่อน พันธุ์จะปักชำเป็นเวลา 90 วัน จึงนำท่อนพันธุ์ออก จากถูเพาะชำ 4) นับจำนวนรากหลัก 5) วัดความ ยาวรากหลัก (เซนติเมตร) (Figure 1 C) 6) นับจำนวน หัว และ 7) ชั่งน้ำหนักหัวของมันเลื้อย (กรัม) โดยนำ หัวมันที่แตกใหม่ ล้างน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้งแล้วนำไปชั่ง ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (OHAUS, SPX622 model, USA)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) โดยแบ่ง ท่อนพันธุ์เป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 15 ท่อน เปรียบเทียบ ความเข้มข้นของ IAA จากข้อมูลที่บันทึก โดยวิเคราะห์

ความแปรปรวนทางสถิติทางเดียว (one-way ANOVA) ตามแผนการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

ผลการทดลองและวิจารณ์

การใช้ IAA ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของท่อนพันธุ์ปักชำมันเลือดส่วนเหนือดินเป็นดังนี้ เถาแตกใหม่ของท่อนพันธุ์หลังปักชำที่ใช้ IAA หรือไม่ใช้ มีความยาวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการทดลอง แต่อย่างไรก็ตาม ท่อนพันธุ์กลุ่มที่ผ่านการจุ่ม IAA เป็นเวลา 30 วินาที เถาแตกใหม่หลังปักชำมีค่าเฉลี่ยความยาวมากกว่าท่อนพันธุ์กลุ่มควบคุม (Table 1) โดย IAA ที่ระดับความเข้มข้น 100 ppm มีแนวโน้มให้เถาของต้นที่แตกใหม่หลังปักชำ 35 วัน มีค่าเฉลี่ยความยาวมากที่สุดเท่ากับ 44.86 ± 22.38 เซนติเมตร ในขณะที่การใช้ IAA ที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นคือ 150 และ 200 ppm ความยาวเถาของท่อนพันธุ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.37 ± 29.65 และ 24.71 ± 11.95 เซนติเมตรตามลำดับ

ด้านจำนวนใบ การใช้ IAA ส่งผลต่อจำนวนใบที่แตกใหม่หลังปักชำเป็นเวลา 14 และ 21 วัน ไม่แตกต่างทางสถิติกับกลุ่มที่ไม่ได้รับ IAA ($p>0.05$) โดยหลังปักชำ 28 และ 35 วัน พบว่า จำนวนใบของท่อนพันธุ์ปักชำที่ได้รับ IAA 50 ppm มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.00 ± 3.87 และ 4.00 ± 0.47 ใบ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยจำนวนใบของท่อนพันธุ์ที่จุ่ม IAA 100, 150 และ 200 ppm และชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (Table 2) จากผลทดลองดังกล่าวท่อนพันธุ์มันเลือดตอบสนองต่อการเพิ่มความเข้มข้น IAA สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tien *et al.* (2020) ซึ่งรายงานว่าการเพิ่มความยาวกิ่ง และจำนวนใบมีค่าเฉลี่ยลดลง เมื่อใช้ IAA ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 500 ppm ในการปักชำกิ่ง *Solanum procumbens* นอกจากนี้ Sevik and Guney (2013) รายงานว่า กิ่งชำ *Melissa officinalis* L. ที่ได้รับฮอร์โมน IAA 5000 mg/L ไม่มีการพัฒนาการเจริญเติบโตคือการแตกยอดหรือใบใหม่หลังปักชำเป็นเวลา 60 วัน ในขณะที่กลุ่ม

ที่ได้รับ IAA 1000 mg/L กิ่งชำมีการพัฒนาความยาวกิ่งและจำนวนใบ เมื่อพิจารณาความยาวเถา และจำนวนใบของมันเลือด ที่เป็นส่วนสำคัญในการสร้างอาหารสะสม โดยใบทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงและลำเลียงอาหารสะสมไว้ในหัวใต้ดิน การใช้ IAA ที่ปริมาณความเข้มข้นต่ำสำหรับการขยายพันธุ์มันเลือดแบบปักชำในงานทดลองนี้จึงส่งเสริมการเจริญเติบโตของท่อนพันธุ์หลังปักชำส่วนเหนือดิน โดยท่อนพันธุ์ที่จุ่ม IAA ที่ระดับความเข้มข้น 100 ppm ส่งผลให้เถาแตกใหม่มีแนวโน้มให้ความยาวมากที่สุด และกลุ่มที่ได้รับ IAA 50 ppm มีจำนวนใบที่แตกใหม่มากที่สุด ซึ่งนับจากใบที่กางเต็มที่ จากผลการทดลองดังกล่าว IAA ในระดับที่เหมาะสมอาจส่งผลต่อความสมบูรณ์ของใบ โดย Khudhur and Omer (2015) รายงานว่า กิ่งชำ *Dalbergia sissoo* มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ IAA ที่ระดับความเข้มข้น 300 และ 500 ppm

ความเข้มข้นของ IAA ส่งผลต่อท่อนพันธุ์มันเลือดด้านเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต และการเจริญเติบโตของท่อนพันธุ์ส่วนใต้ดิน หลังปักชำเป็นเวลา 90 วัน ดังนี้ IAA 50 ppm ส่งผลให้ท่อนพันธุ์มีการรอดชีวิตต่ำที่สุดคือ 47 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ท่อนพันธุ์ที่ได้รับ IAA ที่ระดับความเข้มข้น 100 และ 150 ppm ส่งผลต่อการรอดชีวิตเท่ากับ 67 และ 73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าท่อนพันธุ์ปักชำที่ไม่ได้ผ่านการจุ่มฮอร์โมน (ชุดควบคุม) และ IAA 200 ppm ที่มีการรอดชีวิตเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) ซึ่งการรอดชีวิตต่ำในกลุ่มที่ได้รับ IAA 50 ppm อาจเกิดจากความสมบูรณ์ของท่อนพันธุ์โดยเถาของมันเลือดช่วงใกล้โคนต้นมักมีความสมบูรณ์ เมื่อปักชำมักประสบความสำเร็จในการขยายพันธุ์มากกว่าส่วนปลายเถาในงานทดลองนี้ กลุ่มที่ใช้ IAA 100 และ 150 ppm แสดงถึงระดับที่เหมาะสมเนื่องจากการรอดชีวิตสูงของท่อนพันธุ์มันเลือด ในขณะที่การใช้ IAA ที่มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นเท่ากับ 200 ppm การรอดชีวิตมีเปอร์เซ็นต์ลดลง Brice *et al.* (2019) รายงานว่าการชำ *D. rotundata* Poir. โดยการแช่ และให้ท่อนพันธุ์เจริญเติบโตในสารละลาย IAA 25 ppm โดยตรงมีอัตราการรอดชีวิตสูงถึง 93.3 เปอร์เซ็นต์ แต่การใช้ IAA เพิ่มขึ้น

เท่ากับ 50 และ 75 ppm แสดงเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตลดลง โดยมีอัตราการรอดชีวิตไม่แตกต่างทางสถิติกับกลุ่มที่ไม่ได้ใช้ Rosier *et al.* (2004a, 2004b) ศึกษาอิทธิพล auxin ในการขยายพันธุ์ Fraser Fir และ Virginia Pine พบว่า auxin 1-16 mM มีประสิทธิภาพในการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การรอดตายของกิ่งชำทั้งสองชนิด แต่เมื่อได้รับ auxin มากกว่า 32 mM เปอร์เซ็นต์การรอดตายต่ำลงหรือมีกิ่งชำตาย (mortality) เพิ่มขึ้น ลักษณะดังกล่าวแสดงถึงความเป็นพิษต่อกิ่งชำ โดยกิ่งชำมีเปอร์เซ็นต์การตายมากขึ้นสัมพันธ์กับการเพิ่มความเข้มข้นของฮอร์โมน IAA นอกจากนี้ Sevik and Guney (2013) พบว่ากิ่งชำ *Melissa officinalis* L. ที่ได้รับฮอร์โมน IAA 5000 mg/L ไม่เกิดการแตกยอดหรือรากหลังปักชำเป็นเวลา 60 วัน

เมื่อวัดจำนวนราก และความยาวราก หลังปักชำ 90 วัน พบว่าการออกรากในมันเลียดในงานทดลองให้ค่าเฉลี่ย 3.70 ± 1.06 - 9.31 ± 2.98 ราก (Table 3) ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Matsumoto *et al.* (2013) ที่รายงานว่าในการขยายพันธุ์มัน *D. alata* cv. Arata แบบปักชำท่อนพันธุ์ที่ประกอบด้วย 1 ตา ในเวอร์มิคูไลท์ เป็นเวลา 21 วัน มีจำนวนราก 4 - 8 ราก ซึ่งอัตราการเกิดราก และจำนวนรากของท่อนพันธุ์ปักชำมันแปรเชิงบวกตามปริมาณ IAA ในใบของต้นแม่พันธุ์ที่เปลี่ยนแปลงตามอายุการเจริญเติบโต ในงานทดลองนี้ เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของการใช้ IAA ท่อนพันธุ์มันเลียดที่ใช้ปักชำโดยจุ่ม IAA 100 ppm เป็นเวลา 30 วินาที มีประสิทธิภาพดีที่สุดต่อเจริญเติบโตของส่วนใต้ดิน โดยส่งผลให้ท่อนพันธุ์มีจำนวนราก และความยาวรากมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 9.31 ± 2.98 ราก และ 42.46 ± 6.51 เซนติเมตรตามลำดับ รองลงมาคือท่อนพันธุ์ที่ได้รับ IAA 50 ppm (6.46 ± 1.51 ราก และ 32.54 ± 3.10 เซนติเมตร) ในขณะที่การใช้ IAA ที่ระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นคือ 150, 200 ppm และไม่ใช่ IAA มีค่าเฉลี่ยจำนวนราก และความยาวรากไม่

แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (Table 3) ด้านน้ำหนักสดของหัวที่เกิดใหม่ ท่อนพันธุ์ปักชำที่ใช้ IAA 50 และ 100 ppm ให้ค่าน้ำหนักสด คือ 4.18 ± 2.2 และ 4.84 ± 1.65 กรัม ซึ่งมากกว่าการใช้ IAA 150 200 ppm หรือไม่ใช่ IAA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 3)

ออกซินเป็นฮอร์โมนพืชที่สำคัญในการกระตุ้นการเกิดหัว การพัฒนาราก และการเจริญเติบโตในพืชที่มีหัวใต้ดิน เช่น มันฝรั่ง ซึ่งกระบวนการควบคุมที่เกิดขึ้นในลำต้นหรือรากอาจจะทำงานร่วมกับฮอร์โมนพืชชนิดอื่น (Kondhare *et al.*, 2021) ซึ่งจากผลการทดลอง IAA ที่ระดับความเข้มข้น 100 ppm ส่งเสริมการเจริญเติบโตของหัวใต้ดินของมันเลียดที่ขยายพันธุ์หลังปักชำโดยรวมดีที่สุด เมื่อพิจารณาจำนวนราก และความยาวราก และน้ำหนักสดของหัวที่เกิดใหม่ รองลงมาคือการใช้ IAA 50 ppm แต่ให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตต่ำ ในขณะที่การใช้ IAA ที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นคือ 150 และ 200 ppm ให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ใช้ฮอร์โมน ซึ่งลักษณะผลการทดลองดังกล่าว เป็นไปในทิศทางเดียวกับการขยายพันธุ์มัน *D. rotundata* Poir. คือ การชำมันในสารละลาย IAA โดยตรง ที่ระดับความเข้มข้น 25 ppm ส่งผลให้ท่อนพันธุ์มีจำนวนรากมากกว่าท่อนพันธุ์ที่ชำในสารละลาย IAA 75 ppm และชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และ IAA ที่ระดับ 25 และ 50 ppm ส่งผลให้มีจำนวนหัวที่เกิดใหม่มากกว่าท่อนพันธุ์ที่ชำในสารละลาย IAA 75 ppm และการไม่ใช่ IAA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Brice *et al.*, 2019) และ งานวิจัยของ Agele *et al.* (2010) พบว่าการแช่ท่อนพันธุ์ปักชำมัน *D. rotundata* ในน้ำมะพร้าวเจือจาง 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งเสริมการเจริญเติบโตของส่วนใต้ดิน ได้แก่เปอร์เซ็นต์การออกราก (51.15%) จำนวนราก (2.7 ราก) ความยาวราก (2.25 เซนติเมตร) จำนวนหัว (1.1 หัว) หลังปักชำเป็นเวลา 21 วัน ที่ดีกว่าการใช้น้ำมะพร้าว 10 เปอร์เซ็นต์

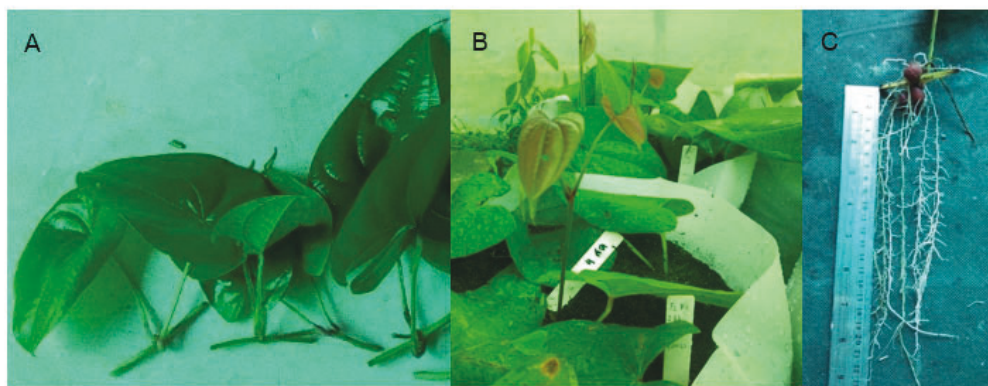


Figure 1 Single-node vine cuttings with two leaves of *Dioscorea alata* L. (A), growth of new shoots (B), and roots (C) after planted in white nursery plastic bags contained burnt rice husk and sand (1:1).

Table 1 A Length of new shoot of yam (*Dioscorea alata*) cuttings after treated with different concentrations of IAA and grew in greenhouse for 35 days.

IAA (ppm)	Length of new shoot at different ages after cuttings (cm) ^{1/}			
	14 days	21 days	28 days	35 days
0 (Control)	9.14±5.15	12.67±5.48	16.67±7.86	21.33±9.77
50	18.50±8.35	23.00±9.38	32.80±22.71	35.20±23.75
100	24.57±24.58	34.57±22.24	40.43±23.22	44.86±22.38
150	16.00±6.16	20.87±22.92	20.00±23.14	26.37±29.65
200	17.66±16.92	18.00±9.46	18.57±11.91	24.71±11.95
F-test	0.75 ^{ns}	1.84 ^{ns}	2.22 ^{ns}	1.45 ^{ns}

^{1/} mean±standard deviation, ns = non-significant (p>0.05)

Table 2 Number of new leave of yam (*Dioscorea alata*) cuttings after treated with different concentrations of IAA and grew in greenhouse for 35 days.

IAA (ppm)	Number of new leave at different ages after cuttings ^{1/}			
	14 days	21 days	28 days	35 days
0 (Control)	1.71±1.11	2.13±1.25	2.38±1.19b	2.56±1.13b
50	3.25±3.20	4.50±3.11	6.00±3.87a	6.40±3.91a
100	2.57±1.62	3.00±1.69	3.00±2.15b	3.63±2.54b
150	1.43±0.54	1.86±0.69	2.70±1.16b	2.73±1.90b
200	1.67±0.52	2.67±0.82	3.11±1.36b	3.80±1.32b
F-test	1.37ns	2.25ns	3.17*	3.57*

^{1/} mean±standard deviation, ns = non-significant (p>0.05)

Means with different letters within column differ significantly (p<0.05)

Table 3 Survival percentage, number of main root, root length and fresh weight of mini-tuber of yam (*Dioscorea alata* cv. Mun-luat) cuttings at 90 days after treated with different concentrations of IAA.

IAA (ppm)	Survival percentage	No. of main root ^{1/}	Root length (cm)	Fresh weight of mini-tuber (g)
0 (Control)	60	4.50±1.73c	26.17±11.19c	2.27±0.85b
50	47	6.46±1.51b	32.54±3.10b	4.18±2.28a
100	67	9.31±2.98a	42.46±6.51a	4.84±1.65a
150	73	3.70±1.06c	21.00±8.71c	2.59±1.17b
200	60	4.27±2.10 c	20.36±4.76c	2.73±1.59b
F-test	-	15.60*	18.88*	5.63*

^{1/} mean±standard deviation

Means with different letters within column differ significantly (p<0.05)

สรุป

การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ IAA ต่อการเจริญเติบโต และออกรากของท่อนพันธุ์ปักชำมันเลือด พบว่าการจุ่มท่อนพันธุ์ใน IAA ทุกความเข้มข้น มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตส่วนเหนือดินหลังปักชำมากกว่าชุดควบคุม คือความยาวเถา และจำนวนใบ การไม่ใช้ IAA โดยท่อนพันธุ์ที่จุ่ม IAA ที่ความเข้มข้น 100 ppm มีแนวโน้มให้ความยาวเถามากที่สุด ในขณะที่ IAA ที่มีความเข้มข้น 50 ppm ส่งผลให้ท่อนพันธุ์มีจำนวนใบมากที่สุด หลังปักชำเป็นเวลา 28 และ 35 วัน ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากลุ่มทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ท่อนพันธุ์ปักชำที่จุ่ม IAA 150 ppm มีเปอร์เซ็นต์การรอดตายสูงสุด รองลงมาคือการใช้ IAA ที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นคือ 150 และ 200 ppm ให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ใช้ฮอร์โมน ในขณะที่การใช้ IAA 50 ppm ให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตต่ำ (47%) โดยรวมเมื่อพิจารณาความยาวเถา เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตจำนวนรากและความยาวรากและน้ำหนักสดของหัวที่เกิดใหม่ หลังปักชำเป็นเวลา 90 วัน IAA ที่ระดับความเข้มข้น 100 ppm มีความเหมาะสมในการขยายพันธุ์มันเลือดแบบปักชำ เนื่องจากสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินหลังปักชำดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณจากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

เอกสารอ้างอิง

- ชนาภร คุณวงศ์, วิลาวัณย์ พร้อมพรม, วรณชัย ชำแท่น และศศิรา คูพิทยานันท์. 2566. ลักษณะทางกายวิภาคปริมาณสารพฤษเคมี และฤทธิ์ทางชีวภาพของ สารสกัดจาก ลำต้นใต้ดินมันเลือด (*Dioscorea alata* L.). วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 42(1): 10-19.
- ณัฐพงศ์ จันจุฬา, ธัญญะ เตชะศีลพิทักษ์ และอนันต์ พิริยะภัทรกิจ. 2560. อิทธิพลของสารในกลุ่มออกซินต่อการเกิดราก และ เจริญเติบโตของมันเทศประดับ. Thai Journal of Science and Technology 6(1): 53-59.
- พุทธพงษ์ สร้อยเพชรเกษม, เชิดศักดิ์ ทัพใหญ่ และพีระศักดิ์ ฉายประสาท. 2565. ความหลากหลายทางชีวภาพของมันป่าทรัพยากรไทยสู่ความมั่นคงทางอาหาร. Science, Technology, and Social Sciences Procedia 2022(4): 1-7.

- รกรอง หอมหวล, มณฑา วงศ์มณีโรจน์, สุลักษณ์
แจ่มจำรัส, สมนึก พรหมแดง, วุฒิชัย
ทองดอนแอ, ประเทือง ดอนสมไพร, รัตนา
เอการัมย์ และสนธิชัย จันทร์เปรม. 2560.
การขยายพันธุ์มันพื้นบ้านสกุล *Dioscorea*
เพื่อเป็นแหล่งอาหารทดแทน. วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ 6(1): 1-13.
- รกรอง หอมหวล. 2560. มันเลือด มันพื้นบ้านมากคุณ
ประโยชน์. เกษตรกริมย์ 3(18): 36-38.
- Agele, S.O., T.G. Ayankanmi and H. Kikuno.
2010. Effects of synthetic hormone
substitutes and genotypes on rooting
and mini tuber production of vines
cuttings obtained from white yam
(*Dioscorea rotundata* Poir). African
Journal of Biotechnology 9(30): 4714-
4724.
- Asiedu, R. and A. Sartie. 2010. Crops that feed
the world 1. Yams. Food Security 2:
305-315.
- Brice, D.K.E., K.A. Michel, A.L.O.D.G. Elisé, E.
B.L.J. Bernard, D.A. Innocent, E.B.
Sidoine and D.A. Emmanuel. 2019.
Effect of plant growth hormones and
liquid fertilizer on rooting and
tuberization of yam (*Dioscorea*
rotundata Poir.) vine cuttings. American
Journal of Plant Sciences 10(10): 1903-
1920.
- Fofana, I.K., Y.C. Brou, D.C. Akmele, E.L. Wognin,
E.O. Tienebo and K.A. Toure. 2019.
Optimisation of yam seed-tuber
production by vine cuttings propagation.
African Crop Science Journal 27(4):
613-629.
- Hassanein, A.M. 2013. Factors influencing
plant propagation efficiency via stem
cuttings. Journal of Horticultural
Science and Ornamental Plants 5(3):
171-176.
- Khudhur, S.A. and T.J. Omer. 2015. Effect of
NAA and IAA on stem cuttings of
Dalbergia sissoo (Roxb). Journal of
Biology and Life Science 6(2): 208-220.
- Kondhare, K.R., A.B. Patil and A.P. Giri. 2021.
Auxin: An emerging regulator of tuber
and storage root development. Plant
Science 306: 110854, doi: 10.1016/j.
plantsci.2021.110854.
- Matsumoto, R., H. Kikuno, H. Shiwachi, H.
Toyohara, Y. Takebayashi, Y. Jikumaru
and Y. Kamiya. 2013. Growth of vine
cuttings and fluctuations of
concentrations of endogenous
plant hormones in water yam
(*Dioscorea alata* L.). Tropical
Agriculture and Development 57(1):
23-30.
- Rosier, C.L., J. Frampton, B. Goldfarb, F.A.
Blazich and F.C. Wise. 2004a. Growth
stage, auxin type, and concentration
influence rooting of stem cuttings of
fraser fir. HortScience 39 (6): 1397-1402.
- Rosier, C.L., J. Frampton, B. Goldfarb, F.C. Wise
and F.A. Blazich. 2004b. Growth stage,
auxin type, and concentration
influence rooting of Virginia pine stem
cuttings. HortScience 39 (6): 1392-1396.
- Rugchati, O. and K. Thanacharoenchanaphas.
2010. Comparison in some
characteristics of yam tubers starch
(*Dioscoraceae* spp.) from Thailand.
International Journal of Environmental
and Rural Development 1(2): 102-106.

- Sevik, H. and K. Guney. 2013. Effects of IAA, IBA, NAA, and GA3 on rooting and morphological features of *Melissa officinalis* L. stem cuttings. The Scientific World Journal 909507, doi: 10.1155/2013/909507.
- Swain, M.R., S.K. Naskar and R.C. Ray. 2007. Indole-3-acetic acid production and effect on sprouting of yam (*Dioscorea rotundata* L.) minisetts by *Bacillus subtilis* isolated from culturable cowdung microflora. Polish Journal of Microbiology 56(2): 103-110.
- Tan, S.N., J.W.H. Yong and L. Ge. 2014. Analyses of phytohormones in coconut (*Cocos nucifera* L.) water using capillary electrophoresis-tandem mass spectrometry. Chromatography 1(4): 211-226.
- Tien, L.H., L.D. Chac, L.T.L. Oanh, P.T. Ly, H.T. Sau, N. Hung and B.B. Thinh. 2020. Effect of auxins (IAA, IBA and NAA) on clonal propagation of *Solanum procumbens* stem cuttings. Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology 21(55-56): 113-120.
- Walsen, A., F. Polnaya, M.K. Lesilolo, H. Rehatta and I.J. Lawalata. 2020. The appropriate of plant propagation technology of yam (*Dioscorea alata* L.) to reduce multiplication ratio. Journal of Physics: Conference Series 1463: 012029, doi: 10.1088/1742-6596/1463/1/012029.
- Weigel, U., W. Horn and B. Hock. 1984. Endogenous auxin levels in terminal stem cuttings of *Chrysanthemum morifolium* during adventitious rooting. Physiologia Plantarum 61(3): 422-428.

ผลของสารกำจัดวัชพืช 2,4-ดี-ไดเมทิลแอมโมเนียม ต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ดินในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดนครราชสีมา

Effect of the Herbicide 2,4-D-dimethylammonium on the Microbial Population of Maize Plots in Nakhon Ratchasima Province

บุญทริก ฉิมชาติ¹ จิตรา เกาะแก้ว¹ อำนาจ เอี่ยมวิจารณ์¹ กนกอร บุญพา¹ สนธยา ขำดี¹ มนต์ชัย มนัสสิลา¹ จันทิมา ผลทอง² และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย^{3*}

Boontarik Chimchart¹, Jitra kokaew¹, Amnat Eamvijarn¹, Kanokon Bunpha¹, Sontaya Khamtib¹, Monchai Manassila¹, Jantima Phonkongand² and Tawatchai Inboonchuay^{3*}

Received: December 6, 2024

Revised: January 29, 2025

Accepted: January 31, 2025

Abstract: This research focuses on the impact of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) dimethylammonium on soil microorganism populations in maize plots where is used in Nakhon Ratchasima Province. The plot was divided into two smaller sections, each measuring 400 square meters. One plot was treated with only 2,4-D herbicide at the recommended rate of 120 grams of active ingredient per rai, with no other pesticide application. The other plot was not treated with 2,4-D. Soil samples were collected from each plot at five intervals: before application, 2 and 4 hours post-application, and 1, 3, and 7 days afterward. Analyses included soil properties and microorganism populations. Results indicated that 2,4-D applications significantly impacted bacterial and fungal populations in the treated plots compared to the control plots. The bacterial growth in the plots treated with 2,4-D at 2 and 4 hours increased significantly compared to the control plot, with values of 6.59 and 6.73 Log₁₀ CFU, respectively. The fungal population in the control plots was higher than in the plots treated with 2,4-D at 2 and 4 hours, with average values of 5.52 and 5.62 Log₁₀ CFU, respectively. However, the actinomycetes cultured on agar media showed no significant statistical difference. The residual 2,4-D concentration in the soil after spraying at 2 and 4 hours was 0.61 and 0.30 milligrams per kilogram of soil, respectively. After spraying 2,4-D, no residual 2,4-D was detected in the soil at 1, 3, and 7 days. The correlation analysis between soil properties, microbial populations, and 2,4-D content, revealed that the amount of 2,4-D was correlated with the bacterial populations. As the concentration of 2,4-D increased, it influenced bacterial growth. Additionally, 2,4-D concentration was also correlated with the amount of organic matter, clay particles, and cation exchange capacity in the soil. Microorganisms that are resistant to the herbicide 2,4-D could be studied as a potential approach to utilizing soil microorganisms for the degradation of residual pesticides in soil.

Keywords: 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid, Maize, Microorganisms, Residues

¹กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹Soil Science Research Group, Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900

²กลุ่มวิจัยวัตถุมีพิษการเกษตร กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

²Agricultural toxic substances research group, Agricultural Production Science Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok 10900

³ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม 73140

³Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: fagrtci@ku.ac.th

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ดินในพื้นที่ที่มีการใช้สารกำจัดวัชพืช 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซีแอซีติก (2,4-D) ไดเมทิลแอมโมเนียม ในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดนครราชสีมา แบ่งแปลงเป็น 2 แปลงย่อย ขนาดแปลงละ 400 ตารางเมตร ได้แก่แปลงที่พ่นเฉพาะสาร 2,4-D ตามอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียวอัตรา 120 กรัมต่อสารออกฤทธิ์ต่อพื้นที่ 1 ไร่ โดยไม่มีการพ่นสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่น และแปลงที่ไม่มีการพ่นสาร 2,4-D เก็บตัวอย่างดินก่อนพ่นสาร และหลังพ่นสารแปลงละ 5 รอบ ได้แก่ หลังพ่นสาร 2 และ 4 ชั่วโมง 1, 3 และ 7 วัน นำมาวิเคราะห์สมบัติดินและนับปริมาณจุลินทรีย์ดินพบว่าในการพ่นสาร 2,4-D ส่งผลกระทบต่อปริมาณแบคทีเรียและราที่เลี้ยงได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อในแปลงควบคุม และแปลงพ่นสาร 2,4-D มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแบคทีเรียแปลงพ่นสาร 2,4-D ที่ 2 และ 4 ชั่วโมงมีการเจริญเพิ่มขึ้นสูงกว่าแปลงควบคุม มีค่า 6.59 และ 6.73 Log₁₀ CFU ปริมาณราในแปลงควบคุมมีปริมาณมากกว่าแปลงพ่น 2,4-D ที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.52 และ 5.62 Log₁₀ CFU ส่วนเอกทิโนไมซีตที่เลี้ยงได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างในดินหลังพ่น 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่า 0.61 และ 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และหลังพ่นสาร 2,4-D ที่ 1, 3 และ 7 วัน ตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างอยู่ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ของสมบัติดิน ปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณ 2,4-D พบว่าปริมาณ 2,4-D มีความสัมพันธ์กับปริมาณแบคทีเรีย คือเมื่อปริมาณ 2,4-D เพิ่มส่งผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ อนุภาคดินเหนียว และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ซึ่งจุลินทรีย์ที่ทนต่อสารกำจัดวัชพืช 2,4-D สามารถนำไปศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์ดินไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชที่ตกค้างในดิน

คำสำคัญ: 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid, ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, จุลินทรีย์ดิน, สารตกค้าง

คำนำ

วัชพืชเป็นปัญหาใหญ่สำหรับการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งการใช้แรงงานมีค่าใช้จ่ายสูงและขาดแคลนแรงงาน เกษตรกรจึงหันมาใช้สารกำจัดวัชพืชแทน การเลือกสารควบคุมวัชพืชก่อนออกจะมีผลกระทบต่อพืชปลูกน้อย สารกำจัดวัชพืชที่ใช้ ได้แก่ อะลาคลอร์ (alachlor) ไกลโฟเซต (glyphosate) กลูโฟซิเนต-แอมโมเนียม (glufosinate-ammonium) และหนึ่งในนั้นก็คือ 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) (สดใส และคณะ, 2554) 2,4-D เป็นสารกำจัดวัชพืชในกลุ่ม Chlorophenoxyacetic acid อยู่ในรูปของกรด (acid) แล้วยังมีอนุพันธ์ที่เป็นเกลือ (salt) และเอสเตอ์ (ester) เป็นสารกำจัดวัชพืชที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยใช้หลังวัชพืชงอกสำหรับกำจัดวัชพืชใบกว้าง (broad-leaf weed) ถูกดูดซึมเข้าทางใบและเคลื่อนย้ายไปยังเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายยอด สารนี้จะออกฤทธิ์โดยทำให้เกิดการแบ่งตัวของเซลล์ในเนื้อเยื่ออย่างไม่สามารถ

ควบคุมได้ทำให้ใบหงิกงอและทำให้พืชตายในที่สุด มีการผลิตเอทิลีนที่ผิดปกติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) สดใส และคณะ (2550) ได้ทดลองควบคุมวัชพืชในไร่ข้าวโพดของเกษตรกร พบว่าการใช้สารควบคุมวัชพืชแบบ หลังออก 2,4-D, กลูโฟซิเนต-แอมโมเนียม, พาราควอต, ไกลโฟเซต, ฟลูรอกซีเพอร์, 2,4-D ผสมพาราควอต และ 2,4-D ผสมไกลโฟเซต ตามหลังการใช้อาหาราขึ้น พบว่าสามารถควบคุมวัชพืชได้ 70-90 เปอร์เซ็นต์ ดีกว่าการใช้อาหาราขึ้นเพียงอย่างเดียว

การย่อยสลายของ 2,4-D สามารถย่อยได้ทั้งวิธีทางกายภาพและชีวภาพ โดยทั่วไปการสลายตัวของ 2,4-D มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 10 วัน (Vogue *et al.*, 2004) ซึ่งการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินจะเกี่ยวข้องกับการบวนการไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) ดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) การย่อยสลายโดยวิธีทางกายภาพ ได้แก่ การย่อยสลายโดยแสง การแตกสลายด้วยน้ำ การรวมตัว การกลายเป็นไอ และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น

(Gervais *et al.*, 2008) จากกระบวนการย่อยสลายดังกล่าวส่งผลให้มี 2,4-D ตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับและเปลี่ยนแปลงของ 2,4-D ในดิน เช่น อินทรีย์วัตถุ pH อนุภาคดิน และปริมาณจุลินทรีย์ในดิน เป็นต้น (Boivin *et al.*, 2005) จากงานวิจัยพบว่า 2,4-D ที่ตกค้างอยู่ในดินจะแตกต่างกันตามเนื้อดินแต่ละชนิด Bekbölet *et al.* (1999) รายงานว่าการดูดซับ 2,4-D ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอนุภาคดินเหนียวและทรายแบ่งในดิน แต่เมื่อมีปริมาณของอนุภาคทรายเพิ่มขึ้น การดูดซับ 2,4-D จะลดลง เช่นเดียวกับ Baumgartner *et al.* (2017) รายงานว่า การดูดซับ 2,4-D มีความสัมพันธ์กับอนุภาคดินเหนียวแต่ไม่พบความสัมพันธ์กับอนุภาคทราย เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวมีประจุที่สามารถดูดซับ 2,4-D ที่ตกค้างในดินได้มากกว่า Ismail *et al.* (2009) ศึกษาการดูดซับและการปลดปล่อย 2,4-D ในดินร่วนเหนียวและดินเหนียวพบว่าในดินร่วนเหนียวมีการดูดซับ 2,4-D มากกว่าดินเหนียว เนื่องจากในดินร่วนเหนียวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่าจึงทำให้ดูดซับสารได้มากกว่า นอกจากนี้ 2,4-D ยังส่งผลต่อโครงสร้างประชากรและการทำงานของจุลินทรีย์ในดินได้ จุลินทรีย์สามารถใช้ 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึม ทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์เพิ่มและมีความหลากหลายทางชีวภาพมากขึ้น จุลินทรีย์บางชนิดสามารถสร้างเอนไซม์เพื่อช่วยละลายธาตุอาหารที่ถูกตรึงอยู่ในดินเพื่อช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารได้ ส่งผลต่อความหลากหลายและหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน (Lerch *et al.*, 2007; Itoh *et al.*, 2013;). Vieublé Gonod *et al.* (2006) กล่าวว่าจุลินทรีย์และสารกำจัดศัตรูพืชต่างมีผลซึ่งกันและกัน การใช้สารกำจัดวัชพืชมีผลต่อจุลินทรีย์ดินได้ 2 ทาง ทางแรกคือสารกำจัดวัชพืชมีความเป็นพิษของต่อจุลินทรีย์และทางที่ 2 คือ จุลินทรีย์สามารถใช้สารกำจัดวัชพืชเหล่านี้เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อใช้ในการเจริญและการปรับตัวได้ Macur *et al.* (2007) ศึกษาอัตราของ 2,4-D

ที่มีผลต่อโครงสร้างประชากรของจุลินทรีย์ โดยศึกษาที่ความเข้มข้น 0-500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบ Burkholderia, Achromobacter และ Rhodanobacter มากที่สุด ในขณะที่ใช้ 2,4-D อัตรา 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในแปลงทดลอง พบ Burkholderia มากที่สุด สรุปได้ว่า Burkholderia สามารถเจริญเติบโตได้เร็วเมื่อความเข้มข้นของ 2,4-D เพิ่มขึ้น Celina and Gómez (2014) ได้แยกเชื้อแบคทีเรียจากดิน เพื่อศึกษาสาร 2,4-D ต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของเชื้อ พบว่า Cupriavidus necator สามารถใช้ 2,4-D ในกระบวนการเมแทบอลิซึมได้ดีที่สุด

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบของสารกำจัดวัชพืชต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ดิน และปัจจัยที่มีผลต่อการตกค้างของสารกำจัดวัชพืชในดิน และจะทำการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ทนต่อสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ต่อไปเพื่อเป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์ดินไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและการย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในดิน

อุปกรณ์และวิธีการ

พ่นสาร 2,4-D แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และการเก็บตัวอย่างดิน

สำรวจพื้นที่แปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บ้านดอนแขวง อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา พิกัดที่ตั้ง 14°34'09.4"N 102°28'44.3"E เดือนพฤษภาคม 2566 โดยแบ่งแปลงเป็น 2 แปลงย่อยขนาดแปลงละ 400 ตารางเมตร ได้แก่แปลงที่พ่นเฉพาะสาร 2,4-D ตามอัตราแนะนำเพียงอย่างเดียว อัตรา 120 กรัมต่อสารออกฤทธิ์ต่อพื้นที่ 1 ไร่ (กลุ่มวิจัยวัชพืช, 2554) โดยไม่มีการพ่นสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น และแปลงที่ไม่มีมีการพ่นสาร 2,4-D ดำเนินปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 339 ทั้ง 2 แปลง มีอายุเก็บเกี่ยวที่ 110 – 115 วัน เมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุครบ 1 เดือน เก็บตัวอย่างดินก่อนพ่นสาร จากนั้นพ่นสาร 2,4-D แล้วเก็บตัวอย่างดินหลังพ่นสารแปลงละ 5 รอบ ได้แก่ หลังพ่นสาร 2 และ 4 ชั่วโมง, 1, 3 และ 7 วัน เก็บตัวอย่างดินตามระยะเวลาด้วยอุปกรณ์

เจาะเก็บตัวอย่างดิน (soil auger) รอบรากพืชที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร เนื่องจากบริเวณรอบรากพืชมีความหลากหลายของจุลินทรีย์สูงกว่าดินในบริเวณอื่น (Morgan *et al.*, 2005) สุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 11 จุด เพื่อนำไปนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน จากนั้นเก็บตัวอย่างดินแบบ Composite sample เพื่อใช้เป็นตัวแทนที่ดีในการวิเคราะห์สมบัติดินที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 20 จุด โดยครอบคลุม 11 จุดที่เก็บดินเพื่อนับปริมาณจุลินทรีย์ด้วย (เจิบ, 2548) นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ การกระจายขนาดอนุภาค (particle size distribution) โดยวิธี Pipette (Gee and Bauder, 1986) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (National Soil Survey Center, 1996) อินทรีย์วัตถุ (organic matter) โดยวิธี Walkley-Black (Nelson and Sommers, 1996) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) (Thomas, 1982) และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity; CEC) โดยใช้การชะละลายแคตไอออนด้วยสารละลาย 1M NH₄OAc ที่ pH 7.0 (Chapman, 1965) กรรมวิธีการทดลองมี 2 กรรมวิธี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 แปลงควบคุมที่ไม่มีการพ่นสาร 2,4-D

กรรมวิธีที่ 2 แปลงที่พ่นเฉพาะสาร 2,4-D ตามอัตราแนะนำของกรมวิชาการเกษตร

การนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน

สุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายให้ทั่วแปลง ๆ ละ 11 จุด เพื่อนำไปนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน ได้แก่ รา แอคติโนไมซีต และแบคทีเรีย ที่แยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยวิธี Plate count บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) สำหรับรา, Starch Casein Agar (SCA) สำหรับแอคติโนไมซีต และ Nutrient Agar (NA) สำหรับแบคทีเรีย (กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา, 2566) นำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม XLSTAT version 2022

วัดปริมาณ 2,4-D ในดินโดย High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

ชั่งตัวอย่างปริมาณ 10±0.02 กรัม ใส่ใน centrifuge tube ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายผสมระหว่าง methanol: water: acetic acid (อัตราส่วน 80: 20: 2.5) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แยกสารโดยใช้เครื่อง ultrasonic cleaner (sonicator) นาน 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงตกตะกอนด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความเร็ว 4,000 rpm นาน 20 นาที สกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Ultra-High Performance Liquid Chromatograph (UHPLC) ยี่ห้อ Agilent Technology รุ่น 1290 หัวตรวจวัดชนิด Diode Array Detector (DAD) ที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร ใช้สารละลาย 5 mM ammonium formate (pH 4.0) และ methanol และใช้ Thermo Scientific™ Hypersil™ BDS C₁₈ column เป็น stationary phase (Amarante *et al.*, 2003; Sutherland *et al.*, 2003)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลปริมาณจุลินทรีย์ที่นับได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 11 ค่าไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม XLSTAT version 2022 โดยนำไปวิเคราะห์ F-test two-sample for variances ถ้าผลที่ได้แตกต่างกัน นำข้อมูลไปวิเคราะห์ t-test: two-sample assuming unequal variances ถ้าผลที่ได้จาก F-test two-sample for variances ไม่แตกต่างกัน จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ t-test: two-sample assuming equal variances และหาความสัมพันธ์ correlation matrix (r) ของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติดิน ปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณ 2,4-D และนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบ (correlation of principal component ; PCA) ของปัจจัยต่าง ๆ เพื่อดูความสัมพันธ์กับกรรมวิธีการทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดนครราชสีมา พบว่าแปลงควบคุม มี pH เป็นกรดจัด มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับ

ปานกลางถึงต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความจุ แลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง แผลงพ่นสาร 2,4-D มี pH เป็นกรดจัด มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับ ปานกลางถึงต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความจุ แลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง (เอิบ, 2548; Soil Survey Division Staff, 1993) (Table 1)

ผลวิเคราะห์ดินจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาความสัมพันธ์กับปริมาณจุลินทรีย์ดินและสารตกค้างในดินซึ่งปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง อาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณ 2,4-D ต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ ส่งผลต่อความหลากหลายและหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน (Itoh *et al.*, 2013)

Table 1 General characteristics of soils.

Treatments	pH (1:1)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P (mg kg ⁻¹)	Exch. K (mg kg ⁻¹)	CEC (cmol kg ⁻¹)	Particle size distribution (%)			Textural class
						Sand	Silt	clay	
Control									
2 H AS1	5.32	19.68	46.75	148.25	27.64	35.70	18.04	46.26	Clay
4 H AS	5.26	19.43	45.21	145.81	27.58	30.85	19.50	49.65	Clay
1 D AS	5.27	19.59	41.71	143.51	26.32	36.68	19.55	43.77	Clay
3 D AS	5.29	20.43	41.30	143.56	27.61	33.12	21.91	44.97	Clay
7 D AS	5.32	12.83	42.64	141.19	24.03	36.50	21.10	42.40	Clay
2,4-D									
2 H AS1	5.53	14.04	50.01	160.54	27.36	33.19	18.71	48.10	Clay
4 H AS	5.55	18.44	47.58	151.28	25.26	33.85	20.13	46.02	Clay
1 D AS	5.36	19.10	45.89	164.70	25.29	36.87	20.45	42.68	Clay
3 D AS	5.54	19.88	47.77	160.77	25.41	35.38	21.61	43.01	Clay
7 D AS	5.44	20.57	49.61	161.01	25.40	39.69	18.51	41.80	Clay

Remark: ¹ AS = After spraying 2,4-D

OM = Organic matter; Avail. P = Available phosphorus; Exch. K = Exchangeable potassium;

CEC = Cation exchange capacity

2. การนับปริมาณจุลินทรีย์ดิน

ปริมาณแบคทีเรียในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ระหว่างแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นสาร 2,4-D ใน (Table 2) พบว่าแปลงควบคุมที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย 5.46 และ 5.52 Log₁₀ CFU ที่ 1, 3 และ 7 วัน มีค่า 5.62, 5.61 และ 5.28 Log₁₀ CFU ส่วนแปลงที่พ่นสาร 2,4-D หลังพ่นสารที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีปริมาณแบคทีเรีย 6.59 และ 6.73 Log₁₀ CFU ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าแปลงควบคุม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียต่อกรัมดินที่วัดได้ของแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D โดยใช้ independent sample

t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ พบว่า t Stat แต่ละช่วงเวลา มีค่ามากกว่า t critical two-tail แสดงให้เห็นว่าแปลงพ่นสาร 2,4-D มีปริมาณแบคทีเรียมากกว่าแปลงควบคุมอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากแบคทีเรียสามารถใช้สาร 2,4-D เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนเพิ่มการเจริญได้ (Celina and Gómez, 2014) Maltseva *et al.* (1996) ศึกษาการย่อยสลาย 2,4-dichlorophenoxyacetic acid โดย แบคทีเรียที่เจริญได้ดีในสภาวะที่มี ความเข้มข้นของเกลือสูง (haloalkaliphilic bacteria) พบว่าแบคทีเรียมียีน *tfdA* ที่สังเคราะห์เอนไซม์เพื่อย่อย

ย่อยสลายสาร 2,4-D แล้วนำคาร์บอนไปใช้ในการเจริญได้ เช่นเดียวกับ Smith and Mortensen (1991) รายงานว่า *Pseudomonas testosteroni* เป็นแบคทีเรียที่พบบริเวณพื้นที่ ๆ มีการใช้ 2,4-D ตลอดทั้งปี ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้ใช้ 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญ

ปริมาณราดินระหว่างแปลงควบคุมและแปลงที่พ่นสาร 2,4-D พบว่าแปลงควบคุม เมื่อครบ 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.52 และ 5.62 Log₁₀ CFU ที่เวลา 1, 3 และ 7 วัน นับปริมาณราต่อกรัมดิน ได้ 5.61, 5.28 และ 4.55 Log₁₀ CFU ส่วนแปลงที่พ่นสาร 2,4-D พบว่าหลังพ่นสาร 2,4-D 2 และ 4 ชั่วโมง นับปริมาณราต่อกรัมดินได้ 4.69 และ 4.59 Log₁₀ CFU เมื่อเปรียบเทียบโดยใช้ independent sample t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า t Stat แต่ละช่วงเวลา มีค่ามากกว่า t critical two-tail แสดงให้เห็นว่าปริมาณราแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ของ 2,4-D มีการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา นอกจากนี้ 2,4-D อาจมีผลต่อการลดลงของปริมาณราในแปลงที่พ่นสาร Duan *et al.* (2023) ศึกษาผลของ 2,4-D ต่อการยับยั้งการเจริญและการก่อให้เกิดโรคของ *Fusarium graminearum* พบว่า 2,4-D มีผลยับยั้งอัตราการเจริญของรา โดยไปลดการเจริญของโคนิเดียม (conidium) และท่อสืบพันธุ์ (germ tube) ของรา

ปริมาณแอกทิโนไมซีตระหว่างแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D พบว่าแปลงควบคุม เมื่อครบ 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.94 และ 6.13 Log₁₀ CFU ที่เวลา 1, 3 และ 7 วัน นับปริมาณแอกทิโนไมซีตได้ 6.12, 6.05 และ 6.12 Log₁₀ CFU ส่วนแปลงที่พ่นสาร 2,4-D พบว่าหลังพ่นสาร 2,4-D 2

และ 4 ชั่วโมง นับปริมาณแอกทิโนไมซีตได้ 5.95 และ 6.16 Log₁₀ CFU เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า t Stat แต่ละช่วงเวลา มีค่าน้อยกว่า t critical two-tail แสดงให้เห็นว่าปริมาณแอกทิโนไมซีตแปลงควบคุมและแปลงพ่นสาร 2,4-D ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสาร 2,4-D ที่ตกค้างในดิน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสาร 2,4-D ที่ตกค้างในตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง (Table 3) พบว่าแปลงที่ใช้เป็นแปลงควบคุมตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างในดินตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง เมื่อทำการพ่นสาร 2,4-D ทั้ง 2 และ 4 ชั่วโมง ตรวจพบปริมาณ 2,4-D 0.61 และ 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ ตัวอย่างดินหลังพ่นสาร 2,4-D ที่ 1, 3 และ 7 วัน ตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างอยู่ เนื่องจาก 2,4-D ส่วนใหญ่มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 7 วัน (Boivin *et al.*, 2005) เช่นเดียวกับ Vogue *et al.* (2004) รายงานว่าค่าครึ่งชีวิตของ 2,4-D ในรูปของ acid, diethylamine salt และ ester ในดินมีค่าประมาณ 10 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคดินมีผลต่อการดูดซับประจุของ 2,4-D จากรายงาน Meftaul *et al.* (2020) ได้ศึกษาการดูดซับและเคลื่อนย้ายของ 2,4-D ในดินที่มีเนื้อดินต่างกัน ได้แก่ ดินร่วน ร่วนปนทราย ร่วนปนทรายแป้ง ทราย ทรายปนร่วน และเหนียว พบว่าในดินที่มีเศษซากอินทรีย์วัตถุอยู่ การดูดซับ 2,4-D จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณอนุภาคดินเหนียว อะลูมินัมออกไซด์และเหล็กออกไซด์เพิ่มขึ้นจากผลการทดลอง ดินร่วน (ATC) ที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 7.66 เปอร์เซ็นต์ สามารถดูดซับ 2,4-D ได้ 58.31 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ดินทรายปนร่วน (MAR) ซึ่งมีปริมาณ

Table 2 Quantities of microorganisms in Nakhon Ratchasima province.

Treatments	Bacteria				Fungi (Log ₁₀ CFU g ⁻¹)				Actinomycetes			
	BS ¹	2 HAS ²	4 HAS	1 DAS	3 DAS	7 DAS	BS	2 HAS	4 HAS	1 DAS	3 DAS	7 DAS
Control	-*	5.46	5.52	5.62	5.61	5.28	-	5.52*	5.62*	5.61*	5.28*	4.55
2,4-D	6.62	6.59*	6.73*	6.26	6.59*	6.67*	4.71	4.69	4.59	4.62	4.68*	6.09
t Stat	-	-9.45	-14.48	-2.04	-11.17	-9.51	-	9.95	14.75	16.66	4.86	-2.92
t Critical two-tail	-	2.11	2.07	2.07	2.09	2.1	-	2.07	2.11	2.07	2.13	2.11

Remark: ¹ BS = Before spraying 2,4-D; ² AS = After spraying 2,4-D; * Significance level of 0.05

* Not analyzed.

Table 3 Amount of 2,4-D-dimethylammonium in soil at Nakhon Ratchasima provinces

Treatments	2,4-D (mg kg ⁻¹)				
	2 HAS ¹	4 HAS	1 DAS	3 DAS	7 DAS
Control	ND*	ND	ND	ND	ND
2,4-D	0.61	0.30	ND	ND	ND

Remark: ¹ AS = After spraying 2,4-D

* ND = Not detected (< Limit of detection (LOD) = 0.03 mg kg⁻¹)

อินทรีย์คาร์บอนต่ำสุด (0.21 เปอร์เซ็นต์) ดูดซับเพียง 26.00 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม การดูดซับในดิน MAR มากกว่าในดินทราย (SAL) ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าเล็กน้อย อาจเป็นเพราะ ดิน MAR มีอนุภาคดินเหนียวในปริมาณที่มากกว่าดิน SAL กล่าวคือในดินที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวและปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงส่งผลต่อการดูดซับ 2,4-D สูงตามไปด้วย ในขณะที่มีบางตัวอย่างดินที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำแต่มีการดูดซับ 2,4-D สูง อาจเนื่องจากตัวอย่างดินนี้มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงจึงส่งผลต่อการดูดซับ 2,4-D ได้เช่นเดียวกัน สรุปได้ว่าปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์คาร์บอนมีบทบาทร่วมกันต่อการดูดซับ 2,4-D

4. ปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ดิน

ความสัมพันธ์ของสมบัติดิน ปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณ 2,4-D โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ XLSTAT version 2022 (Table 4 และ Figure 1) พบว่าเมื่อปริมาณ 2,4-D เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย อาจกล่าวได้ว่าแบคทีเรีย

สามารถใช้สาร 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อเพิ่มการเจริญได้ (Celina and Gómez, 2014) นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าในดินมีปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนและปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงก็ส่งผลต่อการตกค้างของ 2,4-D ในดินเช่นเดียวกัน เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบสามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 61.37 เปอร์เซ็นต์ โดยองค์ประกอบหลักที่ 1 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 40.93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแปลงที่พ่นสาร 2,4-D ที่หลังพ่น 2 และ 4 ชั่วโมง โดยปริมาณ 2,4-D มีความสัมพันธ์กับปริมาณแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ อนุภาคดินเหนียว และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน โดยในดินเนื้อละเอียด อนุภาคดินเหนียวมีประจุที่สามารถดูดซับ 2,4-D ได้มากกว่าอนุภาคทรายและทรายแป้ง (Baumgartner *et al.*, 2017) Boivin *et al.* (2005) รายงานว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ pH ขนาดอนุภาคดิน และปริมาณจุลินทรีย์ในดินมีผลต่อการดูดซับและเปลี่ยนแปลงของ 2,4-D ในดิน

Table 4 Correlation matrix (r) between quantities of microorganisms with quantities of 2,4-D-dimethylammonium and soils properties.

	pH (1:1)	OM	CEC	Sand	Silt	Clay	Bacteria	Fungi	Actinomycetes	2,4-D
pH (1:1)	1.00									
OM	0.48	1.00								
CEC	0.27	0.80	1.00							
Sand	0.11	-0.47	-0.77	1.00						
Silt	-0.56	-0.63	-0.40	-0.18	1.00					
clay	0.19	0.77	0.94	-0.86	-0.34	1.00				
Bacteria	0.05	0.12	0.03	0.19	-0.08	-0.14	1.00			
Fungi	0.22	0.18	0.44	-0.33	-0.26	0.45	-0.59	1.00		
Actinomycetes	-0.25	-0.17	-0.15	-0.02	0.32	-0.15	0.06	-0.04	1.00	
2,4-D	0.05	0.50	0.48	-0.35	-0.27	0.47	0.50	-0.33	-0.12	1.00

Remarks: Values in bold are different from 0 with a significance level $\alpha=0.05$ (n = 30).

OM = Organic matter; CEC = Cation exchange capacity

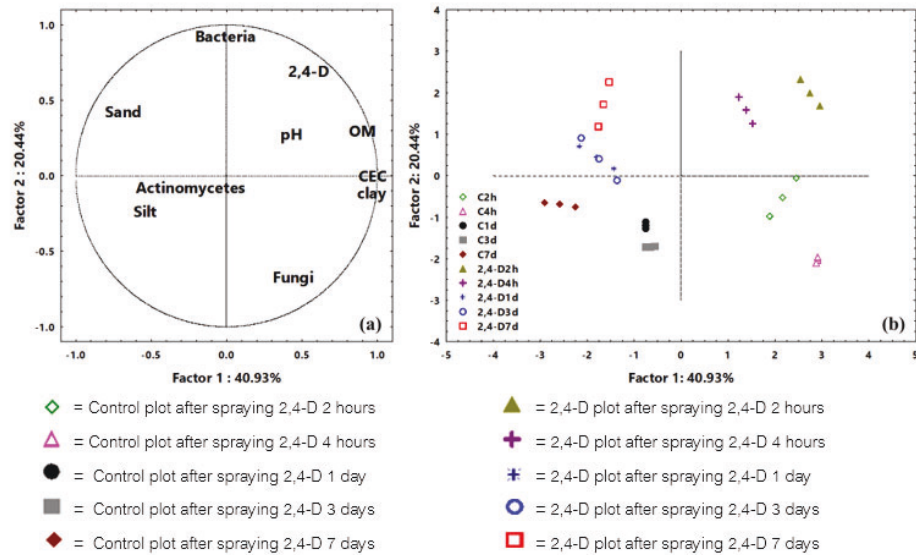


Figure 1 Correlation of principal component analysis of quantities of microorganisms with quantities of 2,4-D-dimethylammonium and soils properties.

สรุป

จากการทดลอง พบว่าสาร 2,4-D ส่งผลต่อปริมาณแบคทีเรียที่เลี้ยงได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในแปลงพ่นสาร 2,4-D หลังพ่นสารที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีปริมาณแบคทีเรีย 6.59 และ 6.73 $\log_{10}$ CFU ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าแปลงควบคุม โดยแบคทีเรียมีการเจริญเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากใช้ 2,4-D เป็นแหล่งคาร์บอน จึงมีส่วนช่วยในการเพิ่มการเจริญได้ ปริมาณวาในแปลงควบคุมมีปริมาณมากกว่าแปลงพ่น 2,4-D ที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.52 และ 5.62 $\log_{10}$ CFU ส่วนแอคติโนมัยซีตที่เลี้ยงได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างในดินหลังพ่นสารที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่า 0.61 และ 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ สรุปได้ว่าปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์คาร์บอนมีบทบาทร่วมกันต่อการดูดซับ 2,4-D และหลังพ่นสาร 2,4-D ที่ 1, 3 และ 7 วัน ตรวจไม่พบปริมาณ 2,4-D ที่ตกค้างอยู่ เนื่องจาก 2,4-D ส่วนใหญ่มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 7 วัน

เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ของสมบัติดิน

ปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณ 2,4-D พบว่าเมื่อปริมาณ 2,4-D เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย และถ้าในดินมีปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงก็ส่งผลต่อการตกค้างของ 2,4-D ในดินเช่นเดียวกัน เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบสามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 61.37 เปอร์เซ็นต์ โดยองค์ประกอบหลักที่ 1 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 40.93 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแปลงที่พ่นสาร 2,4-D ที่หลังพ่น 2 และ 4 ชั่วโมง โดยปริมาณ 2,4-D มีความสัมพันธ์กับปริมาณแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ อนุภาคดินเหนียว และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ซึ่งจุลินทรีย์ที่ทนต่อสารกำจัดวัชพืช 2,4-D สามารถนำไปศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์ดินไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและการย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในดินต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2553. 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซีอะซีติก แอซิด (2,4-ดี) = 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) /สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ. สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย, กรุงเทพมหานคร. 76 หน้า.
- กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา. 2566. คู่มือการตรวจวิเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพ. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร. 62 หน้า.
- กลุ่มวิจัยวัชพืช. 2554. คำแนะนำการป้องกันกำจัดวัชพืชและการใช้สารกำจัดวัชพืช ปี 2554. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร. 149 หน้า.
- สดีโส ช่างสลัก ทศพล พรพรม นรุต วรามิตร และรังสิต สุวรรณมรรคา. 2554. การใช้สารกำจัดวัชพืชในการผลิตข้าวโพดฝักสด ปี 2552. หน้า 282-287. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- สดีโส ช่างสลัก สมชัย ลิ้มอรุณ รังสิต สุวรรณมรรคา และสมชาย โพธิสาร. 2550. การควบคุมวัชพืชในไร่ข้าวโพดของเกษตรกร. หน้า 188-196. ใน: การประชุมวิชาการข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ ครั้งที่ 33. โรงแรม ทีเค พาเลซ, กรุงเทพมหานคร.
- เอิบ เขียวรณรงค์. 2548. การสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 733 หน้า.
- Amarante, D.O.P., N.M. Brito, T.C.R.D. Santos, G.S. Nunes and M.L. Ribeiro. 2003. Determination of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and its major transformation product in soil samples by liquid chromatographic analysis. *Talanta* 60: 115-121.
- Baumgartner, D., E.G. de Souza, S.R.M. Coelho and M.F. Maggi. 2017. Correlation between 2,4-D herbicide residues and soil attributes in southern of Brazil. *Revista Ciencia Agronomica* 48(3): 428-437.
- Bekbölet, M. O. Yenigün and I. Yüce. 1999. Sorption studies of 2, 4-D on selected soils. *Water Air and Soil Pollution* 111: 75-88.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil science* 59: 39-45.
- Boivin, A., S Amellal, M. Schiavon and M.Th. van Genuchten. 2005. 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) sorption and degradation dynamics in three agricultural soils. *Environmental Pollution* 138: 92-99.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. pp. 891-901. In: C.A. Black (Ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI.
- Duan, K., Q. Shen, P. Xiang, Y. Shi, C. Yang, C. Jiang, G. Wang, J. R. Xu and X. Zhang. 2023. Herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid interferes with MAP kinase signaling in *Fusarium graminearum* and is inhibitory to fungal growth and pathogenesis. *Stress Biology* 3:31, doi: 10.1007/s44154-023-00109-x.

- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis, pp. 961-1010. In A. Klute, ed. *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Gervais, J.; B. Luukinen, K. Buhl and D. Stone. 2008. 2,4-D Technical Fact Sheet; National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. (Online). Available Source: <https://npic.orst.edu/factsheets/archive/2,4-DTech.html> (November 19, 2024).
- Ismail, B.S., M. Sameni and M. Halimah. 2009. Adsorption, desorption and mobility of 2, 4-D in two Malaysian agricultural soils. *Asian Journal of Agricultural Research* 3(3): 67-77.
- Itoh, K., M. Kinoshita, S. Morishita, M. Chida and K. Suyama. 2013. Characterization of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid and 2, 4, 5- trichlorophenoxyacetic acid-degrading fungi in Vietnamese soils. *FEMS Microbiology Ecology* 84: 1574-6941.
- Lerch T, M-F. Dignac, E. Barrius, G. Bardoux and A. Mariotti. 2007. Tracing 2, 4-D metabolism in *Cupriavidus necator* JMP134 with ^{13}C -labelling technique and fatty acid profiling. *Journal of Microbiological Methods* 71: 162-174.
- Macur, R.E., J.T. Wheeler, M.D. Burr and W.P. Inskeep. 2007. Impacts of 2, 4-D application on soil microbial community structure and on populations associated with 2, 4-D degradation. *Microbiological Research* 162: 37-45.
- Maltseva O, C. McGowan, R. Fulthorpe and P. Oriel. 1996. Degradation of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid by haloalkaliphilic bacteria. *Microbiology*. *Microbiology* 142: 1115-1122, doi: 10.1099/13500872-142-5-1115.
- Meftaul, I.M., K. Venkateswarlu, R. Dharmarajan, P. Annamalai and M. Megharaj. 2020. Movement and fate of 2, 4-D in urban soils: a potential environmental health concern. *ACS Omega* 5: 13287-13295.
- Morgan, J.A.W., G.D. Bending, P.J. and White. 2005. Biological costs and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany* 56: 1729-1739.
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No.42, Version 3.0. Natural Conservation Service, (NRCS), USDA.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon and organic matter. pp. 961-1010. In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke and R.H. Loeppert, eds. *Methods of Soil Analysis. Part III. Chemical Method*. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Smith, A.E. and K. Mortensen. 1991. Degradation of waste 2, 4-D residues using a soil bacterium in a sprayer tank system. *Canadian Journal of Soil Science* 71: 243-246.
- Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil Survey Manual*. United States Department of Agriculture, Washington, DC. 437 p.

- Sutherland, D.J., G.K. Stearman and M. J.M. Wells. 2003. Development of an analytical scheme for simazine and 2,4-D in soil and water runoff from ornamental plant nursery plots. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51: 14-20.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. pp. 159-165. *In*: C.A. Black (Ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Vogue, P.A., E.A. Kerle and J.J. Jenkins. 2004. OSU extension pesticide properties database; Oregon State University: Corvallis, OR
- Vieubl  Gonod, L., F. Martin-Laurent and C. Chenu. 2006. 2,4-D impact on bacterial communities and the activity and genetic potential of 2,4-D degrading communities in soil. *FEMS Microbiology Ecology* 58: 529-537.
- Zabaloy, C. M. and M.A. Gómez. 2014. Isolation and characterization of indigenous 2,4-D herbicide degrading bacteria from an agricultural soil in proximity of Sauce Grande River, Argentina. *Annals of Microbiology* 64: 969-974.

ผลของโภชนาการที่ย่อยได้ทั้งหมดในอาหารข้นสูตรทางการค้าต่อสมรรถภาพการผลิต
ลักษณะซาก และต้นทุนค่าอาหารในการขุนโคนมเพศผู้ตอน

Effect of Total Digestible Nutrient in Commercial Concentrates on Feedlot Performance,
Carcass Characteristics and Feed Cost of Daily Steers

อัญชลี คงประดิษฐ์¹, คงปฐม กาญจนเสริม¹, ประหยัด ทิราวงศ์¹, วัชรภรณ์ บุญแสน¹,
มณิสร์ ศรีสุภา¹, โสภิตา บัวบาน¹, ปาจารย์ กรวยทรัพย์¹, บุษบา แก้วโกมุท และ
สุริยะ สะวานนท์^{1*}

Anchalee Khongpradit¹, Kongpatom Karnjanasim¹, Prayad Thirawong¹,
Watcharaporn Boonsaen¹, Mansion Srisupha¹, Sopita Buaban¹, Pajaree Gruaysap¹,
Busaba Kaewkomut¹ and Suriya Sawanon^{1*}

Received: November 19, 2024

Revised: February 18, 2025

Accepted: February 20, 2025

Abstract: Concentrated diets are an important factor for feedlot cattle to achieve good performance. This study aimed to evaluate the using different commercial concentrate with similar crude protein content (13.08 ± 0.44 %DM) but different total digestible nutrient (TDN, 66.43 vs 70.68 %DM) in feedlot dairy steers. Thirty dairy steers (26 to 28 months old) with an average weight of 493.32 ± 31.65 kg were used. They were randomly divided into two groups of 15 steers each. The experiment was conducted using a completely randomized design. The steers received two commercial concentrate formulas: commercial concentrate A (high fiber and low TDN) and commercial concentrate B (low fiber and high TDN). The feeding was divided into 2 stages: the early and late stages of feedlot by feeding 7 and 8 kg of concentrate/head/day, respectively, and Napier grass silage ad libitum. In the late stage of the feedlot, 1 kg of rice straw/head/day was added. The steers were maintained in a feedlot until they attained an average body weight of 667.0 ± 39.60 kg, at which point their carcass characteristics were analyzed. The data collected were subjected to statistical analysis using a sample t-test. The findings revealed that dairy steers fed with commercial concentrate B exhibited significantly greater weight gain and average daily growth rates in comparison to those fed with commercial concentrate A ($P < 0.05$), resulting in a 61-day reduction in the feedlot period. Moreover, steers fed with concentrate B demonstrated a lower feed cost per kilogram of weight gain, leading to a reduction in overall feedlot expenses relative to that fed concentrate A. However, no significant differences in carcass characteristics were observed among steers slaughtered at a body weight of 667.0 ± 39.60 kg ($P > 0.05$). In conclusion, a concentrate with similar protein content but a higher TDN levels may enhance feedlot performance and reduce the duration of the feedlot period.

Keywords: Concentrate, Dairy steers, Feedlot performance, Fiber, Total digestible nutrient

¹ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม 73140

¹Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: agrsusa@ku.ac.th

บทคัดย่อ: อาหารชั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเลี้ยงโคขุนให้มีสมรรถภาพการผลิตที่ดี การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการใช้อาหารทางการค้าที่มีปริมาณโปรตีนหยาบใกล้เคียงกัน (13.08 ± 0.44 เปอร์เซ็นต์ตัวต่งแห้ง) แต่มีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดแตกต่างกัน (66.43 vs 70.68 เปอร์เซ็นต์ตัวต่งแห้ง) ในการขุนโคนมเพศผู้ โดยใช้โคนมเพศผู้ตอน (อายุ 26 ถึง 28 เดือน) น้ำหนักเฉลี่ย 493.32 ± 31.65 กิโลกรัม จำนวน 30 ตัว แบ่งโคออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 15 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ สุ่มโคแต่ละกลุ่มให้ได้รับอาหารชั้นทางการค้าหนึ่งสูตร จาก 2 สูตร คือ อาหารชั้นทางการค้า A (มีเยื่อใยสูงและโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดต่ำ) และอาหารชั้นทางการค้า B (มีเยื่อใยต่ำและโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดสูง) แบ่งการให้อาหารออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกและระยะท้ายของการขุน โดยให้อาหารชั้น 7 และ 8 กิโลกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ และให้หญ้าเนเปียร์หมักกินอย่างเต็มที่ โดยในระยะท้ายของการขุนเสริมฟางข้าว 1 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ทำการเลี้ยงโคขุนจนกระทั่งโคมีน้ำหนักเฉลี่ย 667.0 ± 39.60 กิโลกรัม และนำโคเข้าแปรรูป นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมด้วย Sample T-test ผลการศึกษาพบว่าโคขุนที่ได้รับอาหารชั้นทางการค้า B มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันสูงกว่าโคที่ได้รับอาหารชั้นทางการค้า A ($P < 0.05$) ทำให้ลดระยะเวลาในการขุนโคลงได้ 61 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าโคที่ได้รับอาหารชั้นทางการค้า B มีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม น้อยกว่าหรือลดต้นทุนค่าอาหารในการขุนโคลงได้ เมื่อเทียบกับการให้อาหารชั้นทางการค้า A ในขณะที่โคขุนที่มีน้ำหนักเข้าฆ่า 667.0 ± 39.60 กิโลกรัม มีลักษณะซากไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) สรุปได้ว่าอาหารชั้นที่มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกันและมีโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดสูง จะทำให้โคขุนมีสมรรถภาพการผลิตที่ดีและช่วยลดระยะเวลาในการขุนโคลงได้

คำสำคัญ: อาหารชั้น, โคนมเพศผู้, สมรรถภาพการขุน, เยื่อใย, โโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด

คำนำ

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จในการประกอบธุรกิจการเลี้ยงโคขุน คือ การใช้โคพันธุ์ดี อาหารที่มีคุณภาพดีตรงกับความต้องการของโคในระยะขุน การจัดการฟาร์มที่ดีเพื่อควบคุมและป้องกันโรค รวมทั้งการจัดการสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนหรือการจัดการฟาร์มที่ดี การเลี้ยงโคขุนเพื่อผลิตโคเนื้อที่มีคุณภาพ (เนื้อโคมีไขมันแทรกและมีความนุ่ม) การเลือกใช้พันธุ์โคดีและมีราคาต่ำพันธุ์ไม่สูงมากเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากต้นทุนในการซื้อโคเข้าขุนคิดเป็นต้นทุนการผลิตโคขุนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนรวม (สุริยะ และคณะ, 2554; อัญชลี และคณะ, 2565, 2566) การเลือกใช้โคนมเพศผู้มาเลี้ยงขุนเพื่อผลิตเนื้อโคคุณภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเนื่องจากโคนมเพศผู้ก่อนขุน น้ำหนักประมาณ 350-400 กิโลกรัม มีราคาถูกกว่าโคเนื้อลูกผสมสายเลือดโคเมืองหนาว เช่น โคลูกผสมวากิว โคลูกผสมแองกัส โคลูกผสมชาร์โรเลส์หรือโคพันธุ์กำแพงแสน ประมาณ 20-25 บาทต่อกิโลกรัม (ชนนภัต และคณะ, 2560; จุฑามาศ และคณะ 2563; อัญชลี และคณะ, 2566)

โคนมเพศผู้เมื่อนำมาเลี้ยงขุนจะให้เนื้อที่มีความนุ่มมากกว่าโคลูกผสมสายเลือดโคเมืองหนาว แต่มีเปอร์เซ็นต์ซากก้นหรือซากเย็นและพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันน้อยกว่าโคลูกผสมสายเลือดโคเมืองหนาว (คงปฐม และคณะ, 2562; Chaosap *et al.*, 2021) นอกจากนี้โคนมเพศผู้เมื่อนำมาเลี้ยงขุนโคจะมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสูงกว่าโคลูกผสมเมืองหนาวเฉลี่ย 13.3 เปอร์เซ็นต์ (อัญชลี และคณะ, 2566) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขุนโคคุณภาพต้องใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงขุนเป็นเวลานาน (มากกว่า 10 เดือน) ทำให้ต้องใช้อาหารในปริมาณมาก ซึ่งจะส่งต่อต้นทุนการผลิตโคคุณภาพ โดยต้นทุนค่าอาหารทั้งอาหารชั้นและอาหารหยาบในการขุนโคคุณภาพสูงคิดเป็นประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนทั้งหมด (อัญชลี และคณะ, 2565; 2566; Pintadis *et al.*, 2020; Khongpradit *et al.*, 2022) ดังนั้นการใช้อาหารที่เหมาะสมสำหรับโคขุนนอกจากจะต้องมีคุณค่าทางโภชนะเป็นไปตามที่โคขุนต้องการแล้ว โโภชนะนั้นจะต้องมีความสามารถในการย่อยได้และการดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในตัวสัตว์ได้สูงด้วยการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่สัตว์ได้รับจะประเมิน

จากค่าการย่อยได้ของโภชนะ (total digestibility nutrients: TDN) ซึ่งเป็นการประเมินพลังงานที่ย่อยได้ของอาหาร Jeong *et al.* (2010) รายงานว่าค่า TDN ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain; ADG) และไขมันแทรกในกล้ามเนื้อโคของโคขุนระยะสุดท้ายดีขึ้น ทำให้จำนวนวันเลี้ยงและต้นทุนการผลิตลดลง (Chung *et al.*, 2015) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของค่า TDN ช่วยปรับปรุงการกินได้ในรูปวัตถุแห้งให้เพิ่มขึ้น และทำให้โคได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น (Hwang *et al.*, 2014)

แต่ในทางปฏิบัติการขึ้นทะเบียนอาหารทางการค้า และการจัดแจ้งคุณค่าทางโภชนะของอาหารสัตว์ที่ภาชนะบรรจุไว้เท่าที่กฎหมายกำหนด คือ ปริมาณโปรตีนหยาบ ไขมัน เยื่อใยรวม และความชื้นเท่านั้น (กองควบคุมอาหารและยาสัตว์, 2558) โดยไม่ได้บ่งบอกถึงปริมาณโภชนะที่ย่อยและสัตว์ใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด ทำให้เกษตรกรที่ซื้ออาหารสัตว์ทางการค้าไปใช้ในฟาร์มโคขุนเข้าใจผิดและคิดว่าอาหารสัตว์ที่มีปริมาณโปรตีนหยาบสูง (ราคาแพง) เป็นอาหารสัตว์ที่ดีและมีคุณภาพมากกว่าอาหารสัตว์ที่มีปริมาณโปรตีนหยาบต่ำ (ราคาถูก) หรืออาหารสัตว์ที่มีปริมาณโปรตีนเท่ากันแต่ราคาแตกต่างกัน เกษตรกรจะเลือกซื้ออาหารสัตว์ทางการค้าที่มีราคาถูกกว่า ความคิดดังกล่าวอาจจะไม่ถูกต้องเสมอไป ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของอาหารชั้นสูตรทางการค้าสำหรับโคขุนที่มีปริมาณโปรตีนหยาบใกล้เคียงกันแต่ปริมาณเยื่อใยหรือปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดแตกต่างกัน ต่อสมรรถภาพการผลิต ลักษณะซาก และต้นทุนการขุนโคนมเพศผู้ในระยะสุดท้าย

อุปกรณ์และวิธีการ

สัตว์และโรงเรือนทดลอง

โคนมลูกผสมสายพันธุ์โฮลสไตรฟ์เรเนียน (มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์) เพศผู้ตอน (อายุ 26 ถึง 28 เดือน) น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 493.32 ± 31.65 กิโลกรัม จำนวน 30 ตัว โคถูกเลี้ยงขุนในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ภายใต้โรงเรือนเปิดหลังคากระเบื้อง พื้นคอนกรีต มีระบบน้ำหยดและพัดลมระบายอากาศ โคถูกเลี้ยง

ในคอกขังเดี่ยวขนาดพื้นที่ 2.5×4.5 ตารางเมตร มีรางอาหารอยู่ด้านหน้าและอ่างน้ำสะอาดอยู่ด้านหลัง โคสามารถกินน้ำและอาหารได้ตลอดเวลา ก่อนเริ่มการทดลองทำการถ่ายพยาธิภายใน โดยการกรอกปากด้วยอัลเบนดาโซล (Albendazole) และฉีดด้วยไอโวเม็ก-เอฟ (Ivomec-F) ฉีดวัคซีนป้องกันโรคปากและเท้าเปื่อยชนิด 3 ซีโรไทป์ (ไอ เอ และเอเซียวัน) และทำวัคซีนตามโปรแกรมทุก ๆ 4 เดือน ทำการเลี้ยงสัตว์ทดลองที่หน่วยวิจัยสัตว์เคี้ยวเอื้อง ภาควิทยาศาสตร์ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ภายใต้มาตรฐานการเลี้ยงสัตว์ทดลองของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ACKU66-AGK-014)

อาหารและการให้อาหาร

โคได้รับอาหารชั้นทางการค้าสำหรับโคขุนที่มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกัน (13 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) 2 สูตร คือ อาหารชั้นทางการค้า A เป็นอาหารที่มีปริมาณเยื่อใยสูง (10.25 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) และโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดต่ำ (66.43 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) และอาหารชั้นทางการค้า B เป็นอาหารที่มีปริมาณเยื่อใยต่ำ (7.67 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) และโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดสูง (70.68 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง) และใช้หญ้าเนเปียร์อายุการตัด 70 วัน หมักในถุงดำเป็นเวลาอย่างน้อย 14 วันเป็นแหล่งอาหารหยาบ โดยให้กินหญ้าเนเปียร์หมักอย่างเต็มที่ (ให้มีอาหารเหลือไม่น้อยกว่า 2 กิโลกรัม/วัน) โดยแบ่งการให้อาหารเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะแรกของการขุน (83 วันแรกของการขุน) ให้อาหารชั้นวันละ 7 กิโลกรัม/ตัว ร่วมกับให้หญ้าเนเปียร์หมักอย่างเต็มที่ ระยะสุดท้ายของการขุนจนกระทั่งโคน้ำหนักมากกว่า 670 กิโลกรัม ให้อาหารชั้นวันละ 8 กิโลกรัม/ตัว ร่วมกับให้หญ้าเนเปียร์หมักอย่างเต็มที่ และเสริมฟางข้าวให้แบบจำกัดวันละ 1 กิโลกรัม/ตัว เพื่อช่วยให้โคมีการเคี้ยวเอื้องเพิ่มขึ้นและลดการเป็นกรดในกระเพาะรูเมน (Khongpradit *et al.*, 2022) การให้อาหารชั้นวันละ 7 และ 8 กิโลกรัมเป็นปริมาณที่เหมาะสมเมื่อคิดจากต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (Pintadis *et al.*, 2020)

การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์

1. สมรรถภาพการขุน ทำการชั่งน้ำหนักโค ก่อนเริ่มการทดลอง และทำการชั่งน้ำหนักโคทุก ๆ 1 เดือน ด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล นำมาคำนวณอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain; ADG) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (feed conversion ratio; FCR)

2. สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารชั้นทางการค้า หญ้าเนเปียร์หมัก และฟางข้าวเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) ไขมันรวม (ether extract, EE) เยื่อใย (crude fiber, CF) เถ้า (ash) แคลเซียม (calcium) ฟอสฟอรัส (phosphorus) อินทรีย์วัตถุ (organic matter) (AOAC, 2019; ISO/IEC 17025) เยื่อใยในรูปผนังเซลล์ (neutral detergent fiber; NDF) เยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลสหรือเยื่อใยที่ไม่ละลายในกรด (acid detergent fiber; ADF) และลิกนิน (acid detergent lignin; ADL) (AOAC, 2016; ISO/IEC 17025) คำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (nitrogen free extract, %NFE) = $100 - (\%CP + \%EE + \%Ash + \%CF)$ คำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (non-fiber carbohydrate, %NFC) = $100 - (\%CP + \%EE + \%Ash + \%NDF)$ และคำนวณหาปริมาณโภชนาการที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient, %TDN) = $40.3227 + 0.5398 (\%CP) + 0.4448 (\%NFE) + 1.4218 (\%EE) - 0.7007 (\%CF)$ (กองอาหารสัตว์, 2547)

3. หลังจากสิ้นสุดการขุน โคจำนวน 30 ตัว (น้ำหนักเฉลี่ย 667.0 ± 39.60 กิโลกรัม) ถูกส่งเข้าโรงฆ่าสัตว์ที่ได้มาตรฐานและทำการชำโคตามวิธีการฆ่าที่ถูกต้องตามหลักสากลและทำการแช่ซากโคที่อุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน ณ โรงฆ่าโคและกระบือ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และนำซากโคไปทำการตัดแต่งซากแบบสากลที่สหกรณ์เครือข่ายโคเนื้อ จำกัด อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ทำการเก็บข้อมูลลักษณะซาก ได้แก่ น้ำหนักก่อนเข้าฆ่าหลังจากอดอาหารอย่างน้อย 18 ชั่วโมง น้ำหนักซากอุ่น (hot carcass weight) น้ำหนัก

ซากเย็น (cold carcass weight) หลังจากบ่มซากที่อุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน ทำการตัดแบ่งซากซีกซ้ายบริเวณกระดูกซี่โครงคู่ที่ 12 และ 13 เพื่อวัดความหนาไขมันสันหลัง (Khongpradit et al., 2022) วัดค่า pH ของเนื้อโดยใช้เครื่องวัด pH (TESTO205 pH/temperature meter; Testo Pty Ltd., Croydon South, VIC, Australia) แทะปลาย electrode เข้าไปในชิ้นเนื้อ วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (loin eye area) ด้วยเครื่อง LI-3100c Area Meter (Li-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA) ตามวิธีของ Cacere et al. (2014) ประเมินระดับของไขมันแทรกตามมาตรฐานของ มกษ. 6001-2547 (จุฑารัตน์ และญานิน, 2548) โดยใช้เจ้าหน้าที่ของสหกรณ์เครือข่ายโคเนื้อ จำกัด ที่มีความเชี่ยวชาญจำนวน 5 คนเป็นผู้ประเมิน

4. การเก็บข้อมูลต้นทุนค่าอาหาร อาหารชั้นทางการค้า A ราคา 10.0 บาท/กิโลกรัม อาหารชั้นทางการค้า B ราคา 11.0 บาท/กิโลกรัม ค่าอาหารหยาบ (หญ้าเนเปียร์ราคา 1.5 บาท/กิโลกรัม น้ำหนักสด และฟางข้าวราคา 2.0 บาท/กิโลกรัม น้ำหนักสด)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้านสมรรถภาพการขุน ได้แก่ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมดในรูปวัตถุแห้ง และลักษณะซากโคที่ได้รับอาหารชั้นทางการค้า 2 สูตร โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย Sample T-test เนื่องจากในระยะสุดท้ายของการทดลอง โคทั้งสองกลุ่มมีน้ำหนักเริ่มต้นแตกต่างกัน จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลของอัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวันโดยวิธีวิเคราะห์โควาเรียนซ์ โดยการปรับอิทธิพลเนื่องจากน้ำหนักเริ่มต้นที่แตกต่างกัน ด้วยโปรแกรม R (R Core team, 2024) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ระดับ $P < 0.05$ และระดับแนวโน้มที่ $0.05 > P > 0.10$ ในส่วนของต้นทุนค่าอาหาร และค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมแสดงในรูปค่าเฉลี่ย

ผลการทดลองและวิจารณ์

คุณค่าทางโภชนาของอาหารทดลอง

คุณค่าทางโภชนาของอาหารชั้นทางการค้าสำหรับโคขุน หนาเนเปียร์หมัก และฟางข้าว ดังแสดงใน (Table 1) อาหารชั้นทางการค้า A และ B จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่ามีปริมาณวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ และไขมันรวมแตกต่างกันไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสใกล้เคียงกัน แต่มีปริมาณเถ้าและเยื่อใยรวมแตกต่างกันมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณเยื่อใยในรูปผนังเซลล์ทั้งในรูปแบบ NDF และ ADF แตกต่างกันมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย และโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมด อาหารชั้นทางการค้า A มีค่า 48.33, 34.17 และ 66.43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่อาหารชั้นทางการค้า B มีค่า 51.02, 45.80 และ 70.68 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการวิเคราะห์คุณค่าทางเคมีแม่อาหาร

ชั้นทางการค้าทั้งสองสูตรมีปริมาณโปรตีนหยาบ ไขมัน และแร่ธาตุที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำมาคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย และโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมด พบว่าอาหารชั้นทางการค้า B มีค่าสูงกว่าอาหารชั้นทางการค้า A ซึ่งสามารถบ่งชี้ในเบื้องต้นได้ว่าโคนาจะมีการนำอาหารชั้นทางการค้า B ไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าอาหารชั้นทางการค้า A หนาเนเปียร์หมักซึ่งตัดที่อายุประมาณ 70 วัน พบว่ามีปริมาณคุณค่าทางโภชนาสูงกว่าฟางข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย และโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมดสูงกว่าฟางข้าวประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใยสูงกว่าฟางข้าวประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ฟางข้าวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นฟางข้าวนาปรังในจังหวัดนครปฐมพบว่ามีปริมาณโปรตีนหยาบสูง (6.51 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสันนิษฐานว่าน่าจะมีการจัดการอย่างดีโดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยในปริมาณมากจึงส่งผลให้ฟางข้าวมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง

Table 1 Chemical composition of commercial concentrate diets and roughages of experimental diets.

Chemical composition	Roughage		Concentrate diets	
	Rice straw	Napier grass silage	A	B
Dry matter (%)	90.25	19.46	90.19	89.08
Organic matter (%DM)	88.78	91.07	84.99	86.70
Crude protein (%DM)	6.51	6.85	13.39	12.77
Crude fat (%DM)	1.20	1.64	3.21	4.32
Crude fiber (%DM)	35.64	34.45	10.25	7.67
Neutral detergent fiber (NDF) (%DM)	72.87	68.35	34.22	23.81
Acid detergent fiber (ADF) (%DM)	49.54	46.04	30.43	21.86
Acid detergent lignin (ADL) (%DM)	5.41	4.85	6.55	3.98
Ash (%DM)	11.22	8.93	15.01	13.30
Calcium (%DM)	0.37	0.38	1.05	1.10
Phosphorus (%DM)	0.12	0.31	0.76	0.78
NFE (%DM) ^{1/}	45.43	48.13	48.33	51.02
NFC (%DM) ^{2/}	8.20	14.23	34.17	45.80
TDN (%DM) ^{3/}	40.78	43.71	66.43	70.68
Feed cost (Baht/kg DM)	2.22	7.71	11.09	12.35

^{1/} Nitrogen free extract, NFE (%DM) = 100 – (%CP + %EE + %Ash + %CF)

^{2/} Non-fiber carbohydrate, NFC (%DM) = 100 – (%CP + %EE + %Ash + %NDF)

^{3/} Total digestible nutrient, TDN (%DM) = 40.3227 + 0.5398(%CP) + 0.4448(%NFE) + 1.4218(%EE) - 0.7007(%CF)

สมรรถภาพการเจริญเติบโตของโคนมเพศผู้ขุนระยะแรก

ผลของการให้อาหารขึ้นทางการค้า A และ B ที่มีความเข้มข้นของ TDN ที่แตกต่างกัน โดยให้โคได้รับในปริมาณเท่ากัน (7 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน) ต่อสมรรถภาพการผลิตและการกินได้ของโคนมเพศผู้ขุนที่มีน้ำหนักเริ่มต้นใกล้เคียงกันและเลี้ยงเป็นระยะเวลา 83 วัน (Table 2) พบว่าการให้อาหารขึ้นทางการค้าทั้งสองสูตรในปริมาณ 7 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน โคทั้งสองกลุ่มกินอาหารขึ้นและอาหารหยาบได้ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($P>0.05$) แต่โคที่ได้รับอาหารขึ้นทางการค้า B มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันสูงกว่าโคที่ได้รับอาหารขึ้นทางการค้า A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายในอาหารขึ้นสำหรับโคขุนระยะสุดท้ายจะมีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed efficiency) มากกว่าโคในระยะรุ่น (Ahn *et al.*, 2019) ระดับของ TDN ที่เพิ่มขึ้นในอาหารส่งผลให้มีค่าการย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น (Ki, 2009) เพิ่มปริมาณการกินได้ในรูปวัตถุแห้ง (Chung *et al.*, 2015) และปรับปรุง ADG ให้ดีขึ้น (Jin *et al.*, 2012) ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และจากการศึกษาของ Ahn *et al.* (2019)

พบว่าระดับ TDN ในอาหารโคขุนระยะสุดท้ายไม่มีผลต่อค่า FCR และปริมาณการกินได้ในรูปวัตถุแห้ง ($P>0.05$) แต่จะเห็นว่าโคที่ได้รับอาหารขึ้นทางการค้า A มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวที่ 19.82 ซึ่งสูงกว่าโคที่ได้รับอาหารขึ้นทางการค้า B (14.54) นั่นคือการให้อาหารขึ้นทางการค้า B ปริมาณวันละ 7 กิโลกรัม/ตัว กับโคนมเพศผู้ขุน โคสามารถประหยัดอาหารขึ้นและอาหารหยาบได้ถึง 5.28 กิโลกรัม/น้ำหนักแห้งในการเพิ่มน้ำหนักโค 1 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหารทางการค้า A

เมื่อพิจารณาจากต้นทุนค่าอาหารขึ้นและอาหารหยาบ โคที่ได้รับอาหารขึ้นทางการค้า A มีต้นทุนค่าอาหารรวมทั้งสิ้น 8,110.64 บาท น้อยกว่าต้นทุนค่าอาหารรวมของโคที่ได้รับอาหารขึ้นทางการค้า B (8,741.07 บาท) เนื่องจากอาหารขึ้นทางการค้า B มีราคาแพงกว่าอาหารขึ้นทางการค้า A ประมาณ 1.26 บาท/กิโลกรัมวัตถุแห้ง อย่างไรก็ตามเมื่อคิดเป็นต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม พบว่าโคที่ได้รับอาหารขึ้นทางการค้า A มีต้นทุนค่าอาหารเฉลี่ย 193.11 บาทต่อกิโลกรัม สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารขึ้นทางการค้า B ที่มีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวอยู่ที่ 141.83 บาท/กิโลกรัม หรือการให้อาหารขึ้นทางการค้า B สามารถลดต้นทุนค่าอาหารได้ถึง 51.28 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับการให้อาหารขึ้นทางการค้า A

Table 2 Effect of commercial concentrate diets on feedlot performance (mean±SD) for the first period (83 days).

Item	Concentrate diets		P-value
	A	B	
Initial weight (kg)	490.75±30.56	495.88±32.73	0.618
Final weight (kg)	532.75±28.61	557.50±35.45	0.071
Weight gain (kg)	42.00±10.20	61.63±17.02	<0.001
ADG (kg/d)	0.53±0.12	0.74±0.20	0.012
FCR	19.82±4.46	14.54±4.13	0.978
Total intake (kg DM/d)	10.00±0.19	10.08±0.23	0.242
Concentrate (kg DM/d)	6.06±0.17	6.13±0.03	0.113
Napier grass silage (kg DM/d)	3.94±0.15	3.94±0.23	0.482
Total feed cost (Baht/head)	8,110.64	8,741.07	
Concentrate cost (Baht/head)	5,657.99	6,288.42	
Roughage cost (Baht/head)	2,452.65	2,452.65	
Feed cost per gain (Baht/kg)	193.11	141.83	

สมรรถภาพการเจริญเติบโตของโคนมเพศผู้ระยะสุดท้าย

ผลของการให้อาหารข้นทางการค้า A และ B ที่มีความเข้มข้นของ TDN ที่แตกต่างกัน โดยให้โคได้รับในปริมาณเท่ากัน (8 กิโลกรัม/ตัว/วัน) ต่อสมรรถภาพการผลิตและการกินได้ของโคนมเพศผู้ขุนในระยะสุดท้าย (Table 3) พบว่าการให้อาหารข้นทางการค้าวันละ 8 กิโลกรัม/ตัว ในโคทั้งสองกลุ่มไม่ส่งผลต่อการกินได้ของอาหารหยาบ ($P>0.05$) แต่โคที่ได้รับอาหารข้นทางการค้า B มีปริมาณการกินได้ของอาหารข้นในรูปวัตถุแห้ง และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันมากกว่าโคที่ได้รับอาหารทางการค้า A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากอาหารข้นทางการค้า B มีเยื่อใยต่ำและมีโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมดสูงส่งผลทำให้อาหารที่อยู่ในกระเพาะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้เร็วและปริมาณอาหารที่เหลืออยู่ในกระเพาะลดลงเร็วกว่าอาหารข้นทางการค้า A จึงทำให้โคที่ได้รับอาหารข้น B กินอาหารข้นได้มากขึ้น และทำให้โคที่ได้รับอาหารข้นทางการค้า B ใช้เวลาในการขุน (205 วัน) น้อยกว่าโคที่ได้รับอาหารข้นทางการค้า A (266 วัน) เพื่อให้ได้น้ำหนักโคเข้าฆ่าใกล้เคียงน้ำหนักเป้าหมาย คือ 670 กิโลกรัม ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของโค

ทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะเห็นได้ว่าโคที่ได้รับอาหารข้นทางการค้า A มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวที่ 21.92 สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารข้นทางการค้า B (18.96) นั่นคือการใช้อาหารข้นทางการค้า B ที่มี TDN สูงจะทำให้ประหยัดอาหารได้ถึง 2.96 กิโลกรัม น้ำหนักแห้งในการเพิ่มน้ำหนักโค 1 กิโลกรัม และใช้เวลาในการขุนน้อยกว่าถึง 61 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหารข้นทางการค้า A

ต้นทุนค่าอาหารข้นและอาหารหยาบในการขุนโคระยะสุดท้าย พบว่าโคที่ได้รับอาหารข้นทางการค้า A มีต้นทุนค่าอาหารรวมทั้งสิ้น 28,241.49 บาท สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารข้นทางการค้า B (24,062.45 บาท) และเมื่อคิดเป็นต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม พบว่าโคที่ได้รับอาหารข้นทางการค้า A มีต้นทุนค่าอาหาร (221.26 บาทต่อกิโลกรัม) สูงกว่าโคที่ได้รับอาหารข้นทางการค้า B (189.32 บาทต่อกิโลกรัม) หรือการใช้อาหารข้นทางการค้า B สามารถลดต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมได้ถึง 31.94 บาท และลดจำนวนวันเลี้ยงลงได้ 61 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหารข้นทางการค้า A

Table 3 Effect of commercial concentrate diets on feedlot performance (mean±SD) for the final period.

Item	Concentrate diets		P-value
	A	B	
Initial weight (kg)	532.75±28.61	574.14±26.90	0.007
Final weight (kg)	667.20±36.87	686.79±41.82	0.096
Weight gain (kg)	127.64±56.02	127.10±65.33	0.509
ADG (kg/h/d)	0.48±0.11	0.62±0.184	0.018
FCR	21.92±5.48	18.96±5.31	0.881
Total intake (kg DM/h/d)	11.27±1.39	11.62±0.62	0.335
Concentrate (kg DM/h/d)	6.91±0.15	7.10±0.10	<0.001
Napier grass silage (kg DM/h/d)	3.57±1.33	3.71±0.57	0.264
Rice straw (kg DM/h/d)	0.79±0.05	0.81±0.04	0.324
Day on feeding (days)	266.00	205.00	<0.001

Table 3 (continue)

Item	Concentrate diets		P-value
	A	B	
Total feed cost (Baht/head)	28,241.49	24,062.45	
Concentrate cost (Baht/head)	20,652.36	17,989.33	-
Napier grass silage cost (Baht/head)	7,122.15	5,704.13	-
Rice straw cost (Baht/head)	466.98	369.00	
Feed cost per gain (Baht/kg)	221.26	189.32	

การขุนโคนมเพศผู้เพื่อให้มีไขมันแทรก จำเป็นอย่างยิ่งต้องให้โคได้รับอาหารชั้นในปริมาณมาก และการให้อาหารชั้นปริมาณมากร่วมกับการให้หญ้าเนเปียร์หมักกินอย่างเต็มที่จะมีโอกาสสูงมากที่โคจะเกิดภาวะความเป็นกรดสูงในกระเพาะรูเมน (สุริยะ, 2561) ดังนั้นการเสริมฟางข้าววันละ 1 กิโลกรัม/ตัว จะช่วยให้โคมีการเคี้ยวเอื้องเพิ่มมากขึ้นและลดการเป็นกรดในกระเพาะรูเมน (Khongpradit *et al.*, 2022) นอกจากนี้การขุนโคให้ไขมันแทรกจะต้องใช้ระยะเวลาในการขุนนานเพื่อให้โคอ้วนเต็มที่และมีการสร้างไขมันสะสมในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย อย่างไรก็ตามเมื่อโคมีการสร้างมดกล้ามเนื้อดีแล้วการเลี้ยงขุนต่อไปเพื่อให้โคมีการสะสมไขมันแทรกนั้น โคจะต้องใช้พลังงานสูงมากกว่าการสร้างกล้ามเนื้อ (ประมาณ 2 เท่า) ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้อาหารต่ำลง หรือมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงแรกของการขุนซึ่งเป็นช่วงของการสร้างมดกล้ามเนื้อให้สมบูรณ์ (อัญชลี และคณะ, 2565; 2566; Pintadis *et al.*, 2020; Khongpradit *et al.*, 2022) จากการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าระยะท้ายของการขุนโคที่ได้รับอาหารชั้นทางการค้า A และ B มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 21.92 และ 18.96 สูงกว่าระยะแรกของการขุนอยู่ที่ 19.82 และ 14.54 ตามลำดับ ส่งผลให้ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมเพิ่มขึ้นจากระยะแรกของการขุน 193.11 และ 141.83 บาทต่อกิโลกรัม และในระยะท้ายของการขุนเพิ่มเป็น 221.26 และ 189.32 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้นถ้ายังใช้เวลาในการขุนนานไปกว่านี้ต้นทุน

ค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวยิ่งสูงขึ้น ในขณะที่มีไขมันแทรกในมดกล้ามเนื้อจะเพิ่มขึ้นได้มากหรือน้อยขึ้นกับพันธุกรรม (ยีน) ของโคที่เกี่ยวข้องกับการสะสมไขมันแทรก (Radunz *et al.*, 2009; Ueda *et al.*, 2007; Utrera and Van Vleck, 2004) แต่ในกรณีของโคที่ไม่มีพันธุกรรมในการสะสมไขมันแทรก เช่น โคบราห์มัน การขุนเป็นเวลานานจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นและอาจจะไม่คุ้มค่าในการขุนโค

ลักษณะซากของโคนมเพศผู้ขุน

โคที่ถูกส่งเข้าโรงฆ่าสัตว์เพื่อแปรรูปมีน้ำหนักเฉลี่ย 667.0 กิโลกรัม (Table 4) แสดงผลของการให้อาหารชั้นทางการค้า A และ B ที่มีต่อลักษณะซากของโคนมเพศผู้ขุน พบว่าการให้อาหารชั้นทางการค้าทั้งสองสูตรไม่มีผลต่อลักษณะซากของโคที่เข้าเชือดด้วยน้ำหนักตัวใกล้เคียงกัน ทั้งน้ำหนักซากอุ่นหรือซากเย็น เปอร์เซ็นต์ซากอุ่นหรือซากเย็น พื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอก ไขมันหุ้มซากบริเวณสันนอก และไขมันแทรกในมดกล้ามเนื้อสันนอก ($P>0.05$) น้ำหนักซากมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักมีชีวิตเมื่อโคเข้าแปรรูป ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดให้โคที่จะถูกนำเข้าแปรรูปต้องมีน้ำหนักมีชีวิตใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักซากโค (Ahn *et al.*, 2019) ลักษณะซากและคุณภาพเนื้อโคมีอิทธิพลมาจากระยะเวลาการเลี้ยงมากกว่าอิทธิพลของ TDN ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการสร้างและสะสมไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ มีอิทธิพลมาจากระยะเวลาที่โคได้รับแป้งและ NFC ในอาหารมากกว่าปริมาณที่อยู่ในอาหาร จากการศึกษาของ Ahn *et al.* (2019) พบว่าโคพันธุ์ Hanwoo ที่ได้รับอาหารที่มีค่า TDN เท่ากับ

77.10 เปอร์เซ็นต์ และไขมันรวมในอาหารชั้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คะแนนไขมันแทรกและความหนาของไขมันสันหลังเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้ว่าจะไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ แต่โคที่ได้รับอาหารที่มีค่า TDN ระหว่าง 74 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ มีไขมันสะสมใน กล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น แต่ไขมันหุ้มชากน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับ TDN 77 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การศึกษานี้อาหารชั้น มีค่า TDN ค่อนข้างต่ำ (66.43 และ 70.68 เปอร์เซ็นต์) จึงทำให้ไขมันแทรกมกรกล้ามเนื้อสันนอกและไขมันหุ้ม ชากบริเวณสันนอกไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

เมื่อจำหน่ายโคขุนให้กับสหกรณ์เครือข่าย โคเนื้อ จำกัด ซึ่งสหกรณ์รับซื้อโคตามน้ำหนักชากเย็น (ผ่านการแช่เย็นนาน 7 วัน) และราคาซื้อผันแปร ตามปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสันนอก โคนม ที่ไขมันแทรกเกรด 1 (มีไขมันแทรกน้อยมาก) รับซื้อ ในราคา 178 บาทต่อกิโลกรัมน้ำหนักชากเย็น เกรด 2 (มีไขมันแทรกน้อย) รับซื้อในราคา 203 บาทต่อกิโลกรัม น้ำหนักชากเย็น และเกรด 3 (มีไขมันแทรก ปานกลาง) รับซื้อในราคา 213 บาทต่อกิโลกรัม

น้ำหนักชากเย็น ในการศึกษานี้พบว่าโคที่ได้รับ อาหารชั้นทางการค้า A และ B ได้ไขมันแทรกเกรด 1 คิดเป็น 37.5 และ 53.9 เปอร์เซ็นต์ เกรด 2 คิดเป็น 50.0 และ 38.5 เปอร์เซ็นต์ และเกรด 3 คิดเป็น 12.5 และ 7.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นรายได้ใน การจำหน่ายโคนมเพศผู้ขุนพบว่าโคที่เลี้ยงด้วยอาหาร ทางการค้า A จำหน่ายได้เฉลี่ย 67,144.18 บาทต่อตัว และโคที่เลี้ยงด้วยอาหารทางการค้า B จำหน่ายได้ เฉลี่ย 68,503.45 บาทต่อตัว แม้ว่าโคที่ได้รับอาหาร ชั้นทางการค้า B จะมีสัดส่วนของไขมันแทรกที่ได้ เกรด 1 มากกว่าโคที่ได้รับอาหารชั้นทางการค้า A แต่ โคที่ได้รับอาหารชั้นทางการค้า B มีรายได้จากการ จำหน่ายมากกว่าเนื่องจากมีน้ำหนักชากมากกว่า และ ที่สำคัญมีระยะเวลาในการขุนสั้นกว่าโคที่ได้รับอาหาร ชั้นทางการค้า A ถึง 61 วัน ทำให้ประหยัดค่าอาหาร ค่าแรงงาน และต้นทุนอื่น ๆ ได้มากกว่า และสามารถ นำโคชุดใหม่เข้ามาเลี้ยงขุนได้เร็วขึ้น ทำให้มีรายได้ กลับเข้ามาหมุนเวียนในฟาร์มได้เร็วขึ้น

Table 4 Effect of commercial concentrate diets on carcass characteristics and meat quality (mean±SD).

Item	Concentrate diets		P-value
	A	B	
Live weight (kg)	662.40± 36.38	671.53±42.81	0.29
Hot carcass (kg)	362.20± 30.32	366.66± 23.35	0.34
Hot carcass (%)	54.72±1.99	54.68±1.28	0.53
Cold carcass (%)	53.35±2.12	53.69±1.46	0.32
Marbling score	1.70±0.65	1.53±0.66	0.71
Loin eye area (cm ²)	81.64±14.46	87.49±21.70	0.24
Backfat thickness (cm)	1.20±0.48	0.83±0.42	0.96

สรุป

การเลี้ยงโคนมเพศผู้ขุนด้วยอาหารชั้นสูงตร ทางการค้าที่มีปริมาณโปรตีนหยาบใกล้เคียงกัน แต่ มีโภชนะที่น้อยได้ทั้งหมดแตกต่างกัน พบว่าอาหาร ชั้นที่มีโภชนะที่น้อยได้ทั้งหมดสูง (อาหารชั้นทาง การค้า B) ทำให้โคมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการ เจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันที่ดี และทำให้จำนวนวันใน

การเลี้ยงขุนลดลง รวมทั้งลดต้นทุนค่าอาหารต่อการ เพิ่มน้ำหนักตัวได้ดีกว่าโคที่ได้รับอาหารชั้นมีโภชนะที่ น้อยได้ทั้งหมดต่ำ (อาหารชั้นทางการค้า A) ดังนั้นใน การเลือกซื้ออาหารชั้นสูงตรทางการค้าไม่ควรพิจารณา เฉพาะปริมาณโปรตีนหยาบในอาหารและราคาขาย เท่านั้น ควรพิจารณาปริมาณโภชนะที่น้อยได้ทั้งหมด ในอาหารชั้น รวมด้วย นอกจากนี้ควรมีการศึกษา

เพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นของเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปที่มีปริมาณต่ำสูง เช่น กากมันสำปะหลัง มาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารชั้นหรืออาหารผสมครบส่วนในการเลี้ยงโคนมคุณภาพ

เอกสารอ้างอิง

- กองควบคุมอาหารและยาสัตว์. 2558. คู่มือ การขอ อนุญาตและการขอขึ้นทะเบียนอาหาร สัตว์ ฉบับผู้ประกอบการธุรกิจอาหารสัตว์และ พนักงานเจ้าหน้าที่. สำนักพัฒนาระบบและ รับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์กรมปศุสัตว์, โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, นนทบุรี. 56 หน้า.
- กองอาหารสัตว์. 2547. ตารางคุณค่าทางโภชนาของ วัตถุดิบอาหารสัตว์. กรมปศุสัตว์ พญาไท, กรุงเทพมหานคร. 37 หน้า.
- คงปฐม กาญจนเสริม, ภูมิพงศ์ บุญแสน, อัญชลี คงประดิษฐ์, ชนณภัส หัตถกรรม และสุริยะ สะวานนท์. 2562. ลักษณะซาก คุณภาพ เนื้อ และความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อ เนื้อโคนมเพศผู้และโคก้าแพงแสนเพศผู้ขุน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 37(2): 313–323.
- จุฑามาศ แพ่งคำศรี, อัญชลี คงประดิษฐ์, ภูมิพงศ์ บุญแสน, วิสูตร ไผ่ตรึงจิตต์ และสุริยะ สะวานนท์. 2563. ผลของการเสริมแร่ธาตุ ก้อนต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและ ต้นทุนการผลิตโคนมเพศผู้ตอนในระยะรุ่น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 3(1): 20–28.
- จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และญาณิน โอภาสพัฒนกิจ. 2548. คุณภาพของเนื้อโคภายใต้ระบบการ ผลิตและการตลาดของประเทศไทย. บริษัท สุพีเรีย ฟรอนต์เฮอร์ส จำกัด, กรุงเทพมหานคร. 84 หน้า.
- ชนณภัส หัตถกรรม, คงปฐม กาญจนเสริม, ภูมิพงศ์ บุญแสน และสุริยะ สะวานนท์. 2560. ผลของระดับอาหารชั้นต่อสมรรถภาพ การเจริญเติบโตและต้นทุนการผลิตโคนม เพศผู้ตอนในระยะรุ่น. วารสารวิทยาศาสตร์ เกษตร (ฉบับพิเศษ) 48(2): 572–579.
- สุริยะ สะวานนท์. 2561. จุลินทรีย์วิทยาใน กระเพาะรูเมนและการใช้ประโยชน์. โครงการเพิ่มศาสตราจารย์แบบก้าว กระโดด กองการเจ้าหน้าที่สำนักงาน อธิการบดี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 290 หน้า.
- สุริยะ สะวานนท์, คงปฐม กาญจนเสริม, ริเชษฐ์ พึ่งชัย, พีระพงษ์ เหมือนตา และปฐมนันท์ พันธุมาตร. 2554. ผลของการเสริมกระถิน หมักและระยะเวลาในการตอนต่อ สมรรถภาพการผลิตคุณลักษณะซาก และ ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการขุนโคเนื้อ ลูกผสมเพศผู้. วิทยาสารกำแพงแสน 9(3): 28–39.
- อัญชลี คงประดิษฐ์, ภูมิพงศ์ บุญแสน, สุริษา มาเจริญ, วิสูตร ไผ่ตรึงจิตต์ และสุริยะ สะวานนท์. 2565. ผลของการใช้น้ำมัน ปาล์มดิบและถั่วเหลืองไขมันเต็มเป็นแหล่ง ไขมันในอาหารผสมครบส่วนที่มีต้นข้าวโพด ผักอ่อนหรือหญ้าเนเปียร์หมักเป็นแหล่ง ของอาหารหยาดต่อการหมักย่อยใน กระเพาะรูเมน สมรรถภาพการขุน ลักษณะ ซาก คุณภาพเนื้อ และต้นทุนการผลิตโคนม เพศผู้ตอน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและ การจัดการ 5(2): 56–69.
- อัญชลี คงประดิษฐ์, ภูมิพงศ์ บุญแสน, ปรมมาพิชญ์ เจริญศรี, Piny Tong, คมกฤษ เอกฉัตร, พีระยุทธ อินกล้า, ภาณุวัฒน์ กาลจักร, และ สุริยะ สะวานนท์. 2566. การเปรียบเทียบ สมรรถภาพการขุน ลักษณะซาก และผล ตอบแทนจากการขุนโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสน และโคนมเพศผู้ตอน. วารสารเกษตรนครสวรรค์ 20(2): 1–14.
- AOAC. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International, 20th Edition. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.

- AOAC. 2019. Official Methods of Analysis of AOAC International, 21st Edition. Rockville, MD, USA: AOAC International.
- Ahn, J. S., G. H. Son, M. J. Kim, C. S. Choi, C. W. Lee, J. K. Park, E. G. Kwon, J. S. Shin and B. K. Park. 2019. Effect of total digestible nutrients level of concentrates on growth performance, carcass characteristics, and meat composition of Korean Hanwoo steers. Food Science of Animal Resources 39(3): 388–401.
- Cacere, R. A. S., M. G. Morais, F. V. Alves, G. L. D. Feijo, C. C. B. F. Itavo, L. C. V. Itavo, L. B. Oliveira and C. B. Ribeiro. 2014. Quantitative and qualitative carcass characteristics of feedlot ewes subjected to increasing levels of concentrate in the diet. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia 66: 1601-1610.
- Chaosap, C., K. Sahatsanon, R. Sitthigripong, S. Sawanon and J. Setakul. 2021. The effects of using pineapple stem starch as an alternative starch source and ageing period on meat quality, texture profile, ribonucleotide content and fatty acid composition of longissimus thoracis of fattening dairy steers. Foods 10: 2319, doi:10.3390/foods 10102319.
- Chung, K. Y., S. S. Chang, E. M. Lee, H. J. Kim, B. H. Park and E. G. Kwon. 2015. Effects of high energy diet on growth performance, carcass characteristics, and blood constituents of final fattening Hanwoo steers. Korean Journal of Agricultural Science 42(3): 261–268.
- Hwang, J. A., M. M. Islam, S. T. Ahmed, H. S. Mun, G. M. Kim, Y. J. Kim and C. J. Yang. 2014. Seamustard (*Undaria pinnatifida*) improves growth, immunity, fatty acid profile and reduces cholesterol in Hanwoo steers. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 27(8): 1114–1123.
- Jeong, J., N. I. Seong, I. K. Hwang, S. B. Lee, M. S. Yu, I. S. Nam and M. I. Lee. 2010. Effects of level of CP and TDN in the concentrate supplement on growth performances and carcass characteristics in Hanwoo steers during final fattening period. Journal of Animal Science and Technology 52(4): 305–312.
- Jin, G. L., J. K. Kim, W. Z. Qin, J. Jeong, S. S. Jang, Y. S. Sohn, C. W. Choi and M. K. Song. 2012. Effect of feeding whole crop barley silage or whole crop rye silage based-TMR and duration of TMR feeding on growth, feed cost and meat characteristics of Hanwoo steers. Journal of Animal Science and Technology 54(2): 111–124.
- Ki, K. S., Y. S. Lim, Z. L. Jin, H. J. Lee, S. B. Kim, W. S. Lee, S. H. Yang, W. M. Cho, H. S. Kim, J. M. Jeon and I. D. Lee. 2009. Effect of crude protein and total digestible nutrient levels on intake, digestibility, nitrogen and energy utilization in growing dairy goats. Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science 29(3): 269–276.
- Khongpradit, A., P. Boonsaen, N. Homwong, K. Matsuba, Y. Kobayashi and S. Sawanon. 2022. Evaluation of

- pineapple stem starch as a substitute for corn grain or ground cassava in a cattle feedlot for 206 or 344 days: feedlot performance, carcass characteristics, meat quality, and economic evaluation. *Tropical Animal Health and Production* 54(4): 226, doi:10.1007/s11250-022-03223-6.
- Pintadis, S., P. Boonsaen, C. Hattakum, N. Homwong and S. Sawanon. 2020. Effects of concentrate levels and pineapple stem on growth performance, carcass and meat quality of dairy steers. *Tropical Animal Health and Production* 52(4): 1911–1917.
- Radunz, A. E., S. C. Loerch, G. D. Lowe, F. L. Fluharty and H. N. Zerby. 2009. Effect of Wagyu- versus Angus-sired calves on feedlot performance, carcass characteristics and tenderness. *Journal of Animal Science* 87(9): 2971–2976.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. <https://CRAN.R-project.org/>
- Ueda, Y., A. Watanabe, M. Higuchi, H. Shingu, S. Kushibiki and M. Shinoda. 2007. Effect of intramuscular fat on the beef traits of Japanese Black steers (Wagyu). *Animal Science Journal* 78: 189–194.
- Utrera, A. R. and L. D. Van Vleck. 2004. Heritability estimates for carcass traits of cattle: a review. *Genetics and Molecular Research* 3(3): 380–394.

การประเมินความแปรปรวนทางพันธุกรรมและความสามารถในการรวมตัวของลักษณะการทนแล้งในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Estimation of Genetic Variance and Combining Ability of Drought Tolerance in Maize

นัสมา ดลระหมาน¹ และปัทมา หาญนอก^{1*}

Nasma Donlaman¹ and Pattama Hannok^{1*}

Received: November 5, 2024

Revised: February 25, 2025

Accepted: February 27, 2025

Abstract: Rainfall fluctuations have affected maize productivity, adversely impacting the feed industry in Thailand. Therefore, developing new F₁ maize hybrids with high yields and high levels of drought tolerance could help alleviate yield losses for field maize growers. This study aimed 1) evaluate drought tolerance in hybrid maize 2) assess the combining ability and heritability of drought tolerance in hybrid maize to determine a pattern of gene action controlling drought tolerance trait. Twelve F₁ crosses were developed via North Carolina mating design II and tested in a 2 x 12 factorial in a randomized complete block design with 2 replications, totaling 48 experimental units. The first treatment factor was 12 F₁ crosses, whereas the second one was the watering regimes, categorized as well-watered and water-stressed for a specific period. The fresh weight of husked ears was recorded, and a stress tolerance index was calculated. ANOVA and mean comparison analyses showed that the fresh weights of Ki48 x Nei542010 and Nei452004 x Nei542010 were high under both water-stressed and well-watered regimes, along with a high value of stress tolerance index. Furthermore, this study found that drought tolerance in F₁ maize was genetically controlled by additive gene effects. Hence, selecting parental inbred lines with homozygous alleles for drought tolerance could enhance the drought tolerance of F₁ hybrid. High narrow-sense heritability was also observed in this study. Therefore, careful parental selection is the first important step in developing drought-tolerant single cross-hybrids, which could decrease maize yield losses caused by rainfall fluctuations.

Keywords: Combining ability, North Carolina mating design II, Narrow-sense Heritability, Stress tolerant index

บทคัดย่อ: ความผันผวนของปริมาณน้ำฝนส่งผลกระทบต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ รวมถึงส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ของประเทศไทยอีกด้วย ดังนั้น การพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมเดี่ยวที่ให้ผลผลิตสูงและมีความทนทานต่อสภาพแล้งได้ จะช่วยบรรเทาความเสียหายแก่ผลผลิตที่มีต่อเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ประเมินความสามารถในการทนแล้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสม และ 2) ประเมินความสามารถในการรวมตัวและอัตราพันธุกรรมของความทนแล้งในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสม สร้างลูกผสมทั้งหมด 12 คู่ผสมผ่านการใช้แผนการผสมแบบ North Carolina II และนำมาทดสอบในแผนการทดลองแบบ 2 x 12

¹สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

¹Field Crops Department, Faculty of Agro-Industry, Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding author: pattama_h@mju.ac.th

factorial in randomized complete block design จำนวน 2 ซ้ำ รวมทั้งหมด 48 หน่วยทดลอง บ้างจัดที่ 1 คือ ลูกผสม จำนวน 12 คู่ผสม ส่วนบ้างจัดที่ 2 คือ รูปแบบการให้น้ำ ได้แก่ การให้น้ำแบบสม่ำเสมอ และการจำกัดการให้น้ำในบางช่วง ทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักฝักสดหลังปลูกเปลือกและคำนวณค่าดัชนีความทนแล้ง ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่า คู่ผสม Ki48 x Nei542010 และ Nei452004 x Nei542010 ให้น้ำหนักฝักสดสูงในสภาพเครียดน้ำและสภาพให้น้ำปกติ รวมถึงมีค่าดัชนีการทนทานต่อสภาพเครียดน้ำที่สูงอีกด้วย นอกจากนี้ การศึกษานี้ยังพบอีกด้วยว่า ลักษณะการทนทานต่อสภาพเครียดน้ำของข้าวโพดคู่ผสมเกี่ยวข้องกับการทำงานของยีนแบบบวก ดังนั้น การเลือกสายพันธุ์พ่อแม่ที่มียีนควบคุมลักษณะดังกล่าวเป็นฮอโมไซกัสของแอลลีลที่ควบคุมลักษณะดังกล่าว จะช่วยส่งผลให้ได้ลูกผสมที่มีลักษณะความทนทานต่อสภาพแล้งได้ดี ลักษณะดังกล่าวมีอัตราการผลิตพันธุ์แบบแคบ (h²) ที่สูง ดังนั้นการให้ความสำคัญกับการเลือกสายพันธุ์พ่อแม่เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการพัฒนาข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวให้มีความทนทานต่อสภาพแล้ง ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการบรรเทาความเสียหายของผลผลิตข้าวโพดลูกผสมที่ต้องเผชิญสภาพฝนทิ้งช่วงได้

คำสำคัญ: ความสามารถในการผสม, แผนการผสมชนิด North Carolina II, อัตราการถ่ายทอดทางพันธุกรรมอย่างแคบ, ดัชนีความทนทานต่อสภาพเครียด

คำนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (maize) เป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ โดยทั่วโลกมีความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง คิดเป็นร้อยละ 3.90 ปริมาณการส่งออกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั่วโลกในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (ปี พ.ศ. 2564–2567) อยู่ระหว่าง 1,198.29 - 1,211.77 ล้านตัน (กระทรวงพาณิชย์, 2567) ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูก 6.457 ล้านไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว 6.404 ล้านไร่ ผลผลิต 4.742 ล้านตัน ผลผลิตต่อเนื้อที่เพาะปลูก 734 กิโลกรัม/ไร่ และผลผลิตต่อเนื้อที่เก็บเกี่ยว 741 กิโลกรัม/ไร่ (กระทรวงพาณิชย์, 2567) ปัจจุบันการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ ซึ่งมีประมาณการนำเข้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี 2563-2566 คิดร้อยละ 2.84 (กระทรวงพาณิชย์, 2566) นอกจากนี้สถานการณ์ภัยแล้งและฝนทิ้งช่วงในปัจจุบันส่งผลให้เกิดการสูญเสียผลผลิตจำนวนมากอีกด้วย จากรายงานของ Laskari *et al.* 2022 กล่าวว่า ความเครียดจากภัยแล้งเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งในการลดผลผลิตข้าวโพด การผลิตข้าวโพดภายใต้ความเครียดจากภัยแล้งส่งผลให้ผลผลิตชีวมวล ผลผลิตเมล็ด พื้นที่ใบ และน้ำแห้งของรากลดลงสอดคล้องกับการรายงานของ Messina

et al. (2022) ที่พบว่า เมื่อข้าวโพดเผชิญสภาวะของการขาดน้ำในช่วงสะสมน้ำหนักเมล็ด การติดเมล็ดจะลดลง และหากข้าวโพดขาดน้ำในระหว่างการออกดอก จะส่งผลให้การยืดตัวของฝักและไหมลดลง ข้าวโพดอาจไม่ติดเมล็ดในท้ายสุด นอกจากนี้ หากข้าวโพดต้องเผชิญกับความเครียดขั้นรุนแรง หรือช่วงเริ่มก่อนการออกดอก ซึ่งมีสาเหตุจากการไม่ออกของไหมทำให้ข้าวโพดไม่สามารถเกิดการปฏิสนธิและติดเมล็ดได้ การพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ทนทานต่อสภาพแล้ง จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว

แผนการผสมพันธุ์แบบ North Carolina Mating Design II (NCII) เป็นหนึ่งในแผนการผสมที่นิยมใช้ในพันธุศาสตร์เชิงปริมาณ เพื่อประเมินอัตราพันธุกรรม (heritability) และความสามารถในการรวมตัว (combining ability) แผนการผสมพันธุ์แบบ NCII สามารถนำมาใช้ในการประเมินรูปแบบการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมลักษณะที่ต้องการศึกษาได้ (Comstock and Robinson, 1952) โครงการวิจัยปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดทนแล้งจำนวนมากใช้แผนการผสมพันธุ์แบบ NCII ในการสร้างตัวอย่างสำหรับทดสอบ เช่น Ngaboyisonga *et al.* (2019) ศึกษาความสามารถในการผสมของข้าวโพด 17 สายพันธุ์ โดยใช้แผนการผสมพันธุ์แบบ NCII

ในลักษณะผลผลิตและวันออกใหม่พบว่า ลักษณะผลผลิตเมล็ดถูกควบคุมโดยอิทธิพลแบบบวก (additive effect) โดยสายพันธุ์พ่อแม่มีค่าความสามารถในการรวมตัวทั่วไป (general combining ability; GCA) เป็นค่าบวกและมีความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งสายพันธุ์เหล่านี้ได้ถูกนำไปพัฒนาข้าวโพดทนแล้งต่อ คล้ายกันกับงานของ Derera *et al.* (2008) ที่ศึกษาการทำงานของยีนที่ควบคุมลักษณะผลผลิตภายใต้สภาวะแล้ง โดยใช้แผนการผสมแบบพันธุ์ NCII เช่นกัน พบว่า การทำงานของยีนแบบบวกมีบทบาทสำคัญต่อผลผลิต โดยมีผลกระทบของความสามารถในการรวมตัวทั่วไปของสายพันธุ์พ่อ (GCA_m) ที่เหนือกว่าการรวมตัวทั่วไปของสายพันธุ์แม่ (GCA_f) สำหรับผลผลิตภายใต้สภาวะแห้งแล้งบ่งชี้ให้เห็นว่า จีโนไทป์ของแม่มีบทบาทที่สำคัญในการกำหนดผลผลิตภายใต้สภาวะแล้ง นอกจากนี้ Erdal *et al.* (2015) ที่ได้ทำการศึกษาความสามารถในการผสมควบคู่กับดัชนีการทนแล้ง (stress tolerance index;

STI) พบว่า สายพันธุ์ที่มีค่าดัชนีการทนแล้งสูงและมีศักยภาพในการให้ผลผลิตที่สูงมากทั้งภายใต้สภาพการปลูกแบบให้น้ำปกติและสภาพขาดน้ำ

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงทำการสร้างลูกผสมของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากแผนการผสมพันธุ์แบบ NCII เพื่อศึกษารูปแบบการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับลักษณะความทนแล้ง

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การสร้างลูกผสมตามแผนการผสมพันธุ์แบบ North Carolina Design II

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์แท้ จำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ Nei542010 Nei9202 Ki48 Ki53 Ki59 Kei1421 Nei492006 และ Nei452004 (Table 1) กำหนดให้สายพันธุ์ Nei542010 และ Nei9202 ใช้เป็นสายพันธุ์พ่อ ขณะที่พันธุ์ที่เหลือใช้เป็นพันธุ์แม่ ลูกผสมทั้งหมดที่ได้มีจำนวน 12 คู่ผสม ดังแสดงใน

Table 1 North Carolina Mating Design II with 12 F1 progenies.

Female parents	Male parents	
	Nei9202	Nei542010
Ki48	Ki48 x Nei9202	Ki48 x Nei542010
Ki53	Ki53 x Nei9202	Ki53 x Nei542010
Ki59	Ki59 x Nei9202	Ki59 x Nei542010
Kei1421	Kei1421 x Nei9202	Kei1421 x Nei542010
Nei452004	Nei452004 x Nei9202	Nei452004 x Nei542010
Nei492006	Nei492006 x Nei9202	Nei492006 x Nei542010

2. การทดสอบลูกผสมในสภาพเครียดจากการขาดน้ำ

ปลูกเมล็ดของลูกผสมทั้ง 12 คู่ผสม ในโรงเรือนระบบปิดที่มีการควบคุมการให้น้ำโดยการใช้ระบบน้ำหยด ปลูกข้าวโพด 1 ต้นต่อถุงในถุงปลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตรและสูง 44.5 เซนติเมตร บรรจุวัสดุปลูกที่เตรียมจากดินปลูกและปุ๋ยหมักที่อัตราส่วน 2:1 วางแผนการทดลองแบบ 2x12 factorial in randomized complete block design

จำนวน 2 ซ้ำ และ 5 ต้นต่อคู่ผสมต่อซ้ำ มีหน่วยทดลองทั้งหมด 48 หน่วยทดลอง แต่ละหน่วยทดลองประกอบด้วยข้าวโพดจำนวน 240 ต้น กำหนดให้ปัจจัยที่ 1 คือ ลูกผสมทั้ง 12 คู่ผสม ส่วนปัจจัยที่ 2 คือ รูปแบบการให้น้ำ ได้แก่ 1) การให้น้ำแบบสม่ำเสมอ (WW) ซึ่งให้น้ำในตอนเช้า 1 ครั้งต่อวัน อัตราการให้น้ำเฉลี่ย 29.20 มล.ต่อนาที่ วันละ 30 นาที่ และ 2) การจำกัดการให้น้ำ (WS) เพื่อเหนี่ยวนำสภาพเครียดจากการขาดน้ำ กระทำโดยงดน้ำเป็นเวลา 7 วันเมื่อข้าวโพดมีอายุได้

33 วันหลังปลูกไปจนถึง 39 หลังปลูก จากนั้นดูแลต้นข้าวโพดให้เจริญเติบโต ให้อุณหภูมิ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ให้อุณหภูมิสูตร 15-15-15 โดยให้รองพื้นก่อนปลูกอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (เฉลี่ยต้นละ 5.80 กรัมต่อต้น ครั้งที่ 2 ให้อุณหภูมิสูตร 46-0-0 ที่อัตรา 44 กิโลกรัมต่อไร่ (เฉลี่ยต้นละ 5.16 กรัมต่อต้น) เมื่อข้าวโพดอายุได้ประมาณ 35 วันหลังปลูก พร้อมกันทุกสายพันธุ์และกำจัดวัชพืช จากนั้นเมื่อข้าวโพดอายุได้ประมาณ 120-125 วัน เริ่มทำการเก็บเกี่ยว น้ำหนักสดหลังปลูกเปลือก (Fresh weight; FW) ซึ่งในทุกครั้งที่ทำการเก็บเกี่ยวจะถูกนำมาชั่งน้ำหนักทันที และน้ำหนักฝักแห้งหลังอบ ที่ 72 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง

โดยในระหว่างที่ข้าวโพดถูกดองน้ำได้ 7 วัน (39 วันหลังปลูก) และกลับมาให้น้ำภายใน 24 ชั่วโมง (40 วันหลังปลูก) เก็บข้อมูลค่าความเขียวใบ (SPAD) โดยใช้เครื่อง SPAD meter จำนวน 10 จุดบนใบ และค่าการม้วนใบ (Leaf rolling: LR) ด้วยสายวัดที่ตรงกลางของใบ

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางพันธุกรรม

เนื่องจากความเขียวใบเริ่มต้น และขนาดใบแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกันตามลักษณะทางพันธุกรรม ดังนั้น ค่า SPAD และ LR ถึงถูกนำมาหาค่าความแตกต่าง (Difference: Diff) ก่อนที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดย ค่าความต่างของค่า SPAD และ LR ในระหว่างวันที่ 39 หลังปลูก (งดน้ำที่ 7 วัน) หาได้จากสมการดังนี้

$$\text{Diff} = Y_w - Y_s$$

โดยที่ Y_w = ค่าก่อนงดน้ำของแต่ละสายพันธุ์ และ Y_s = ค่าหลังงดน้ำของแต่ละสายพันธุ์ (เพื่อค้นหาว่าสายพันธุ์ใดมีค่าความเขียวใบ และการม้วนใบลดลงน้อยที่สุด)

และ ค่าความต่างของค่า SPAD และ LR หลังจากกลับมาให้น้ำที่ 40 วันหลังปลูก (ภายใน 24 ชั่วโมง) หาได้จากสมการดังนี้

$$\text{Diff} = Y_r - Y_s$$

โดยที่ Y_r = ค่าหลังจากกลับมาให้น้ำ (rewatering) ของแต่ละสายพันธุ์ และ Y_s = ค่าการงดน้ำที่ 7 วันของแต่ละสายพันธุ์ (เพื่อค้นหาว่าสายพันธุ์ใดสามารถกลับมาฟื้นตัวได้รวดเร็วที่สุด)

นำข้อมูลน้ำหนักฝักเปลือกเปลือกที่ได้จากข้าวโพดที่ปลูกใน 2 รูปแบบการให้น้ำ (WW และ WS) มาคำนวณค่าดัชนีความทนทานต่อสภาพเครียด โดยใช้สมการของ Fernandez (1992) ดังนี้

$$STI = \frac{Y_s \times Y_p}{\bar{Y}_p^2}$$

โดยที่ Y = ผลผลิตของพืชที่ขาดน้ำ Y_p = ผลผลิตของพืชที่ให้น้ำปกติ และ $\bar{Y}_p$ = ค่ายกกำลังสองของค่าเฉลี่ยของผลผลิตจากทุกจีโนไทป์ที่ได้รับน้ำปกติ

จากนั้นนำข้อมูลน้ำหนักฝักสดหลังปลูกเปลือกมาคำนวณค่าดัชนีความทนทานต่อความแล้ง และนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของอิทธิพลหลัก รวมถึงประเมินค่าความสามารถในการรวมตัวทั่วไป (general combining ability; GCA) ของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และความสามารถในการรวมตัวเฉพาะ (specific combining ability; SCA) ของคู่ผสม โดยใช้แพ็คเกจ gpbStat (Patil and Lackshmi, 2020) ใน R v4.4.1 (R Core Team, 2024) พร้อมคำนวณค่าความแปรปรวนทางพันธุกรรมด้วยโปรแกรม PB Tools Version 2.0 (PBTools. 2014)

สำหรับการวิเคราะห์อัตราพันธุกรรมอย่างแคบ (narrow-sense heritability; h^2) ใช้สมการของ Grafius *et al.* (1952) ดังนี้

$$h^2 = \frac{\sigma_f^2 + \sigma_m^2}{\sigma_f^2 + \sigma_m^2 + \sigma_{fm}^2 + \sigma_{e/r}^2} \times 100$$

โดยที่ σ_f^2 σ_m^2 σ_{fm}^2 $\sigma_{e/r}^2$ = ความแปรปรวนทางพันธุกรรมของพันธุ์แม่ พันธุ์พ่อ ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุ์แม่และพ่อ ค่าความคลาดเคลื่อน และจำนวนซ้ำ ตามลำดับ

ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอิทธิพลหลัก

ผลการประเมินอิทธิพลหลักของคู่ผสม (crosses) ลักษณะการให้น้ำ (watering) และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัย (crosses x watering)

ด้วยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบ Two-way ANOVA ของลักษณะค่าความต่างความเขียวใบ (Diff_SPAD 39 DAP) ค่าความต่างการม้วนใบ ที่งดน้ำ 7 วัน (Diff_LR 39 DAP) และกลับมาให้น้ำภายใน 24 ชั่วโมง (40 DAP) น้ำหนักฝัก (FW) และน้ำหนักแห้ง (TDW) พบว่า อิทธิพลทั้ง 3 ชนิดดังกล่าว มีผลต่อลักษณะทุกลักษณะ ($P \leq 0.001$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัย

(crosses x watering) มีผลต่อลักษณะ SPAD 40 DAP ($P \leq 0.05$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2)

และเมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของดัชนีความทนทานต่อสภาพเครียดของลักษณะน้ำหนักฝัก (STIFW) แบบ One-way ANOVA พบว่า คู่ผสมมีผลทางสถิติต่อดัชนีความทนทานต่อสภาพเครียด ($P \leq 0.01$) ในขณะที่ บล็อกไม่มีอิทธิพลทางสถิติต่อดัชนีความทนทานต่อสภาพเครียด (Table 3)

Table 2 Analysis of variance (ANOVA) of Difference SPAD and LR at 39 and 40 DAP fresh weight (FW) of 12 F1 progenies under different watering regime (water stress and well water) and stress tolerance index (STI).

SOV	df	MS					
		Diff_SPAD 39 DAP	Diff_SPAD 40 DAP	Diff_LR 39 DAP	Diff_LR 40 DAP	FW	TDW
block	1	0.2	1.047	2.3*	0.81	1	8
cross	11	13.5***	2.159	3.6***	2.02***	1094***	877***
watering	1	1748.9***	27.165***	326.1***	176.41***	16272***	12459***
Cross x watering	11	8.5***	2.827*	2.1***	2.31***	293***	195***
Residuals	23	0.6	1.003	0.4	0.31	35	31

Remark: * $P \leq 0.05$, *** $P \leq 0.001$

Table 3 Analysis of variance (ANOVA) of stress tolerance index (STI) of FW with 12 F1 progenies under different watering regime (water stress and well water).

SOV	df	SS	MS	F-value	Pr(>F)
Block	1	0.002	0.002	0.285	0.604
Cross	11	1.727	0.157	24.387	3.89×10^{-06} **
Residuals	11	0.071	0.006		

Remark: ** $P \leq 0.001$

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant difference (LSD) พบว่าทั้งในสภาพงดน้ำ และสภาพให้น้ำปกติ คู่ผสม Ki48xNei542010 (94.987 และ 66.475 กรัม) และ Nei452004xNei542010 (74.66 และ 59.135 กรัม) ให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝักการให้น้ำสองรูปแบบสูงที่สุดทั้งในลักษณะ FW และ TDW ลำดับ (Table 4) และมีลักษณะที่ติดเมล็ดและค่อนข้างจะสมบูรณ์กว่าคู่ผสมคู่อื่น

(Figure 1) ซึ่งจากการพิจารณาลักษณะของควบคู่เมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำ ที่ 39 วันหลังปลูก พบว่า คู่ผสม Ki48xNei542010 มีค่าความต่างการม้วนใบ (Diff_LR 39 DAP) ลดลงน้อยที่สุด (2.35 เซนติเมตร) และมีการกางใบอย่างรวดเร็วเมื่อกลับมาให้น้ำภายใน 24 ชั่วโมง โดยมีค่า (Diff_LR 40 DAP) วันหลังปลูกอยู่ที่ 4.90 เซนติเมตร และนอกจากนี้ยังพบว่าคู่ผสม Ki53xNei542010 และ Ki452004xNei542010

มีค่าความต่างความเขียวใบ (Diff_SPAD 40 DAP) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอยู่ที่ 3.56 และ 2.75 ซึ่งจากการศึกษาของ Jangpromma *et al.*, (2010) ที่ได้ประเมินปริมาณคอโรฟิลล์ โดยใช้เครื่อง SPAD ในสภาพขาดน้ำ โดยการเก็บข้อมูลค่า SPAD ที่ 90 วัน จะเห็นได้ชัดว่า สายพันธุ์ 03-4-425 มีค่า SPAD อยู่ที่ 37.30 ส่งผลให้มีค่า คอโรฟิลล์สูงถึง 7.56 ($\mu\text{g cm}^{-2}$) แต่ในขณะที่เดียวกันสายพันธุ์อื่น ๆ ที่มีค่า SPAD ลดลง ค่าคอโรฟิลล์จึงลดลงตามไปด้วย ซึ่งให้เห็นถึง

ความสำคัญของการเก็บค่าความเขียวใบ และจากการศึกษาของ Effendi *et al.* (2019) พบว่า ความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าการม้วนใบของข้าวโพดส่งผลให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของใบสูง อุณหภูมิของใบก็จะยิ่งต่ำลง การรักษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของใบให้อยู่ในระดับสูงในสภาวะความเครียดจากภัยแล้ง บ่งชี้ถึงความสามารถของต้นข้าวโพดในการดูดซับน้ำในดินเพียงพอผ่านรากที่ลึก และระงับการสูญเสียน้ำผ่านการคายน้ำ

Table 4 Analysis of variance (ANOVA) with LSD test table for SPAD, LR (39 and 40 DAP) FW and TDW of 12 F1crossed under water deficit condition (upper) and well water (lower).

watering	crosses	Diff_SPAD 39 DAP	Diff_SPAD 40 DAP	Diff_LR 39 DAP	Diff_LR 40 DAP	FW	TDW
Water Stress	Kei1421xNei542010	9.50 ef	1.82 abcdefgh	3.8 cd	3.90 cde	56.75 ^{jk}	44.89 ^{ij}
	Kei1421xNei9202	8.65 f	1.42 cdefghi	3.05 de	2.80 ef	35.99 ^m	24.59 ⁱ
	Ki48xNei542010	14.12 c	0.47 efghijk	2.35 e	1.90 f	94.98 ^{de}	66.47 ^{efg}
	Ki48xNei9202	8.41 f	2.52 abcde	2.95 de	3.05 def	56.83 ^{jk}	32.97 ^{kl}
	Ki53xNei542010	14.34 bc	3.56 ab	4.60 bc	3.10 de	68.67 ^{hij}	53.70 ^{hi}
	Ki53xNei9202	11.92 d	1.93 abcdefg	5.40 b	3.40 de	42.47 ^{lm}	29.14 ⁱ
	Ki59xNei542010	9.39 ef	1.46 cdefghi	5.85 b	7.05 a	71.49 ^{ghi}	43.75 ^{ijk}
	Ki59xNei9202	10.92 de	0.13 ghijk	4.77 bc	3.97 cd	49.50 ^{kl}	33.57 ^{jkl}
	Nei452004xNei542010	16.72 a	2.75 abc	8.20 a	4.90 bc	74.66 ^{ghi}	59.13 ^{gh}
	Nei452004xNei9202	14.84 bc	1.70 bcdefghi	4.80 bc	6.00 ab	51.51 ^{kl}	30.71 ⁱ
	Nei492006xNei542010	10.35 de	2.32 abcdef	5.75 b	3.00 def	65.75 ^{ij}	35.80 ^{jkl}
	Nei492006xNei9202	15.79 ab	3.78 a	4.83 bc	4.03 cd	42.33 ^{lm}	24.52 ⁱ
Wall water	Kei1421xNei542010	2.46 g	2.60 abcd	-0.65 fg	0.35 g	79.04 ^{fgh}	56.73 ^{gh}
	Kei1421xNei9202	1.33 gh	0.61 defghij	-1.20 gh	-0.20 g	74.27 ^{ghi}	52.12 ^{hi}
	Ki48xNei542010	0.99 ghi	1.46 cdefghi	-0.45 fg	0.70 g	117.93 ^{ab}	96.61 ^{ab}
	Ki48xNei9202	0.78 hi	0.44 fghijk	-0.70 fg	0.4 g	117.66 ^{ab}	80.43 ^{cd}
	Ki53xNei542010	0.76 hij	0.34 fghijk	-2.00 h	0 g	82.09 ^{fg}	71.58 ^{def}
	Ki53xNei9202	0.63 hijk	-1.51 k	-0.80 fgh	-0.30 g	64.575 ^{ij}	43.47 ^{ijk}
	Ki59xNei542010	0.26 hijk	1.61 bcdefghi	-0.20 fg	0.10 g	104.985 ^{cd}	85.6 ^{bc}
	Ki59xNei9202	-0.55 ijkl	0.48 efghijk	0.30 f	0 g	80.615 ^{fgh}	58.33 ^{gh}
	Nei452004xNei542010	-0.79 jkl	-0.35 ijk	0 fg	0.10 g	128.675 ^a	106.535 ^a
	Nei452004xNei9202	-0.92 kl	-0.91 jk	-0.10 fg	0.10 g	111.22 ^{bc}	77.25 ^{cde}
	Nei492006xNei542010	-1.60 l	-0.15 hijk	-0.10 fg	0 g	90.865 ^{ef}	62.445 ^{fgh}
	Nei492006xNei9202	-3.26 m	1.19 cdefghi	-0.30 fg	-0.15 g	100.91 ^{cde}	74.825 ^{cde}
	mean	6.044583	1.238125	2.09	2.0088	77.659	56.0508
	F-value	***	*	***	***	***	***
	LSD	1.576657	2.071906	1.2588	1.1547	12.2014	11.4874
	CV%	12.60904	80.89413	29.1162	27.7869	7.5951	9.9072

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีความทนทานต่อสภาพเครียด (STI) ระหว่างคู่ผสม พบว่า คู่ผสม Ki48xNei542010 (1.215) Nei452004xNei542010 (1.040) Ki59xNei542010 (0.810) และ Ki48xNei9202 (0.725) มีดัชนีความทนทานต่อสภาพเครียดสูง ตามลำดับ (Figure 2) ซึ่งรายงาน

จาก Dorina. (2020) พบว่า HS 880-13, HS 1158-14 และ HS 1156-14 ได้รับเลือกให้เป็นลูกผสมที่มีผลผลิตสูงทั้งในสภาพขาดน้ำ และให้น้ำปกติ ทั้งนี้ยังมีค่า STI สูง ซึ่งเหมาะสำหรับนำไปพัฒนาต่อเป็นสำหรับข้าวโพดทนแล้ง

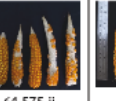
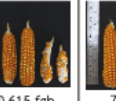
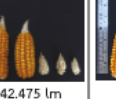
Watering	Female		Ki48	Nei452004	Nei492006	KI53	KI59	Kei1421
	Male							
Well Water	Nei9202		 117.660 ab	 111.220 bc	 100.91 cde	 64.575 ij	 80.615 fgh	 74.270 fgh
	Nei542010		 117.935 ab	 128.675 a	 90.865 ef	 82.095 fg	 104.985 cd	 79.045 fgh
Water Deficit	Nei9202		 56.830 jk	 51.510 kl	 42.335 lm	 42.475 lm	 49.505 kl	 35.995 m
	Nei542010		 94.985 de	 74.660 ghi	 65.755 ij	 68.670 hij	 71.490 ghi	 56.755 jk

Figure 1 Mean comparison with Least Significance Difference test at 0.01 significant level of 12 F1 crosses for ear weight in grams per plot under water stress and well water conditions.

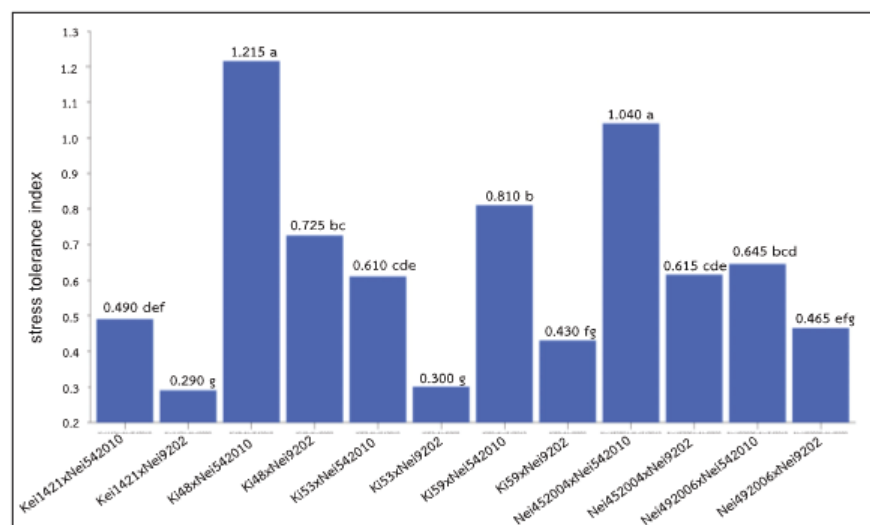


Figure 2 Mean comparison with Least Significance Difference test at 0.01 significant level of 12 F1 crosses for stress tolerance index.

การประเมินความสามารถในการและค่าทางพันธุกรรมของค่าดัชนีความทนทานต่อสภาพเครียด

จากการประเมินความสามารถในการรวมตัวทั่วไป (GCA) ของลักษณะของดัชนีการทนทานต่อสภาพเครียดจากการขาดน้ำ (Table 5) พบว่า พันธุ์พ่อ Nei542010 (12.805) พันธุ์แม่ Ki48 (16.66) และ Nei452004 (3.838) มีค่า GCA เป็นบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พันธุ์เหล่านี้สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นพันธุ์ข้าวโพดทนแล้งและให้ผลผลิตสูงได้ (CIMMYT, 2002) และเมื่อประเมินความสามารถในการรวมตัวเฉพาะ (SCA) ของดัชนีการทนทานต่อความเครียด พบว่า คู่ผสม Ki48xNei542010 (6.272) มีค่า SCA เป็นบวกสูงสุดเพียงคู่เดียว ($P < 0.05$) คล้ายกันกับการศึกษาของ Mustafa et al. (2023) ที่พบว่า คู่ผสม 10137 x Sialkot-13 ผลผลิตต่อต้นสูงที่สุด ให้ค่า SCA เป็นบวก ซึ่งเป็นผลจากยีนแบบข่ม (non-additive gene effect) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าคู่ผสมที่สามารถให้ผลผลิตสูงในสภาพขาดน้ำเหมาะสำหรับนำไปพัฒนาเป็นคู่ผสมที่ให้ผลผลิตสูงต่อไปเนื่องจากสามารถปรับตัวได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพแล้ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่แสดงใน (Table 6) พบว่า ค่าความแปรปรวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อม (VE) มีค่าต่ำมาก ($VE = VP - VG$) ส่งผลให้คู่ผสมแสดงผลจากจีโนไทป์ (VG) ได้ดี ดังนั้น การคัดเลือกคู่ผสมที่มีลักษณะดีเด่นจึงมีความแม่นยำ นอกจากนี้ พบว่า อัตราพันธุกรรมแบบแคบ (h^2) ของลักษณะ STI สูงถึง 0.9025 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ลักษณะความทนทานต่อสภาพสภาพเครียดจากการขาดน้ำถูกส่งถ่ายให้รุ่นลูกได้เป็นสัดส่วนที่สูง และเมื่อพิจารณารูปแบบการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับลักษณะดัชนีการทนทานต่อสภาพเครียดน้ำ พบว่า ลักษณะดัชนีการทนทานต่อสภาพเครียดจากการขาดน้ำ เกี่ยวข้องกับการทำงานของ

ยีนแบบบวก (additive) เนื่องจากค่า dominance ratio มีค่าต่ำกว่า 1 (Table 5) เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการทำงานของยีนที่ได้จากรายงานของ Erdal et al. (2015) ยังมีการวิเคราะห์รูปแบบการทำงานของยีนในลักษณะอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตในการทนแล้งในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้สภาพขาดน้ำ พบว่า วันออกดอกต่อผู้ ช่วงห่างระหว่างวันออกดอกต่อผู้และวันออกใหม่ (anthesis-silking interval) และจำนวนฝักต่อต้น ถูกควบคุมด้วยยีนแบบบวก แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่า ความสูง น้ำหนัก 1,000 g เมล็ด และผลผลิตถูกควบคุมด้วยยีนแบบข่ม (dominant) ทั้งนี้ได้ทำการเลือกสายพันธุ์ Ant I-91 x TK 72 เป็นคู่ผสมที่ดีที่สุดซึ่งมีค่า STI ของผลผลิตสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม Falconer and Mackay (1996) แนะนำว่า ค่าอัตราพันธุกรรมขึ้นอยู่กับชนิดของประชากร และสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบ ดังนั้น ค่าที่สังเกตได้จะมีความแตกต่างออกไปตามประชากร สภาพแวดล้อม และลักษณะเฉพาะของการประมาณค่าพันธุกรรม

จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ในการพัฒนาข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวให้มีความทนทานต่อสภาพเครียดจากการขาดน้ำ จำเป็นอย่างยิ่งที่นักปรับปรุงพันธุ์ต้องให้ความสำคัญในการคัดเลือกสายพันธุ์พ่อและแม่ ที่มียีนเป็น homozygous ในตำแหน่งของอัลลีลที่ควบคุมลักษณะทนแล้ง เพื่อให้ลูกผสมได้รับยีนดังกล่าว และแสดงออกได้อย่างเต็มที่อันเป็นผลมาจากการทำงานของยีนแบบบวกสะสม ซึ่งในทางกลับกันจากการรายงานของ Singh et al. (1993) และ Quinby and Liang (1969) พบว่า ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในความแตกต่างของผลผลิตน้ำหนักสด จำนวนเมล็ดต่อฝัก เกิดจาก อัลลีลแบบ dominant (Aa) ซึ่งหากต้องการลูกผสมสายพันธุ์ใหม่ ๆ ในสภาพ heterozygous จะมีประสิทธิภาพมากกว่า homozygous ที่มีอัลลีลเป็น AA และ aa

Table 5 Estimates of general combining ability (GCA) under well-water (WW) water stress (WS) and Stress tolerance index of 8 parental lines

lines	FW_WW	FW_WS	STI_FW
Males			
Nei542010	4	10.354***	12.805**
Nei9202	-4	-10.354***	-12.805**
Females			
Kei1421	-19.833***	-18.312***	-12.872**
Ki48	17.167***	20.062***	16.66**
Ki53	-22.333***	-4.312	-3.675*
Ki59	-0.333	1.188	1.25
Nei452004	25.667***	5.188	3.838*
Nei492006	-0.333	-3.812	-5.202*

Remark: * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$ **Table 6** Estimates of specific combining ability (SCA) for Stress tolerance index of 12 F1 crosses

F1 crosses	FW_WW	FW_WS	STI_FW
Kei1421xNei542010	-3	0.146	-2.425
Kei1421xNei9202	-4	-3.229	2.425
Ki48xNei542010	6.5	4.146	6.272*
Ki48xNei9202	4.5	-0.354	-6.272
Ki53xNei542010	1.5	-7.354	0.292
Ki53xNei9202	-5.5	6.646	-0.292
Ki59xNei542010	3	-0.146	-1.813
Ki59xNei9202	4	3.229	1.813
Nei452004xNei542010	-6.5	-4.146	-1.23
Nei452004xNei9202	-4.5	0.354	1.23
Nei492006xNei542010	-1.5	7.354	-1.095
Nei492006xNei9202	5.5	-6.646	1.095
Genotypic Variance (VG)	391.730	248.505	0.078
Phenotypic Variance (VP)	410.518	292.828	0.084
Additive variance (VA)	749.124	1.250	0.100
dominant variance (VD)	297.218	4.833	0.005
Narrow sense heritability (h ²)	0.703	0.187	0.903
Dominance Ratio	0.891	2.781	0.307

Remark: * $P \leq 0.05$

สรุป

จากการทดสอบลูกผสมทั้ง 12 คู่ผสมที่ได้จากแผนการผสมแบบ NCII ของสายพันธุ์พ่อแม่จำนวน 8 สายพันธุ์ โดยการศึกษา การคัดเลือกพ่อแม่ที่ให้ผลผลิตดี มีสมรรถนะรวมตัวทั่วไปดี สมรรถนะในการรวมตัวแบบเฉพาะ และมีค่าดัชนีทนสภาพเครียดสูง อาจมีแนวโน้มจะให้ลูกผสมที่มีสมรรถนะการผสมเฉพาะสูงได้ เช่นที่พบในคู่ผสมของ คู่ผสม Ki48xNei542010 ทั้งในแบบทดสอบภายใต้สภาพการให้น้ำแบบปกติและสภาพเครียดน้ำในโรงเรือนระบบปิด โดยลักษณะการทนทานต่อสภาพเครียดน้ำของข้าวโพดคู่ผสมเกี่ยวข้องกับการทำงานของยีนแบบบวก ดังนั้น การเลือกพันธุ์พ่อแม่ที่มียีนควบคุมลักษณะดังกล่าวเป็น homozygous ณ ตำแหน่งอัลลีลที่ควบคุมลักษณะดังกล่าว จะช่วยส่งผลให้ได้ลูกผสมที่มีลักษณะความทนทานต่อสภาพแล้งได้ดี นอกจากนี้ พบว่า ความทนทานต่อสภาพแล้งมีอัตราพันธุกรรมแบบแคบ (h^2) ที่สูง ดังนั้น การให้ความสำคัญกับการเลือกพันธุ์พ่อแม่ที่มีลักษณะทนทานต่อสภาพเครียดน้ำที่ดี จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการบรรเทาความเสียหายของผลผลิตข้าวโพดลูกผสมที่ต้องเผชิญสภาพฝนทิ้งช่วงได้ดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย โดยมอบทุน "ทุนศิษย์ก้นกุฏิ" ประจำปีการศึกษา 2663 ให้แก่ผู้วิจัย มา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพาณิชย์. 2566. กองส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร 1 กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://regional.moc.go.th/th/file/get/file/2023122527fc40bb85fc4fee7b16f939636afc80090537.pdf> (26 ตุลาคม 2567).
- กระทรวงพาณิชย์. 2567. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ประจำปี สัปดาห์ที่ 3 เดือนมิถุนายน 2567. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://regional.moc.go.th/th/file/get/file/202406254ef9b51ff3a70f017b939ea1df5ae930100426.pdf> (3 ตุลาคม 2567).

- CIMMYT. 2002. Maize inbred lines released by CIMMYT: A Compilation of 475 CIMMYT maize lines (CMLs). CIMMYT, Mexico.
- Comstock, R. and H. Robinson. 1952. Estimation of average dominance of genes. pp.494-516. *In*: Heterosis. North Carolina State College.
- Derera, J., P. Tongona, B.S. Vivek and M.D. Laing. 2008. Gene action controlling grain yield and secondary traits in southern African maize hybrids under drought and non-drought environments. *Euphytica* 162(3): 411-422.
- Dorina, B. 2020. Screening for drought tolerance in maize hybrids using new indices based on resilience and production capacity. *Economic Engineering in Agriculture and Rural Development* 20: 2285-3952.
- Effendi, R., R. Priyanto, M. Aqil and M. Azrai . 2019. Drought adaptation level of maize genotypes based on leaf rolling, temperature, relative moisture content, and grain yield parameters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 175: 1755-1315.
- Erdal, S., P. Mehmet, O. Ahmet, A. Koksall, and S. Suleyman. 2015. Combining abilities of grain yield and yield related traits in relation to drought tolerance in temperate maize breeding. *Turkish Journal of Field Crops* 20(2): 203-212.
- Falconer, D.S. and T.F.C. Mackay. 1996. Introduction to quantitative genetics. 4th ed. Longman, Essex, UK. 464 p.

- Fernández, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Department of Agricultural Economics, University of Nevada Reno, USA.
- Grafius, J.E., W.L. Nelson and V.A. Dirks. 1952. The heritability of yields in barley as measured by early generation bulked progenies. *Agronomy Journal* 44: 253-257.
- Jangpromma, N., P. Songsri, S. Thammasirirak and P. Jaisil. 2010. Rapid assessment of chlorophyll content in sugarcane using a SPAD chlorophyll meter across different water stress conditions. *Asian Journal of Plant Science* 9: 368-374.
- Laskari, M., G. Menexes, I. Kalfas, I. Gatzolis and C. Dordas. 2022. Water stress effects on the morphological, physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.) and on environmental cost. *Agronomy* 12(10): 2386.
- Messina, C., I.A. Ciampitti, D. Berning, D. Bubeck, G. Hammer and M. Cooper. 2022. Sustained improvement in tolerance to water deficit accompanies maize yield increase in temperate environments. *Crop Science* 62(6): 2138-2150.
- Mustafa, A., Naeem, A., Kausar, H., Ismail, S., Mubarak, S., Kanwal, B., Abbas Naqvi, S.M.T., Ahmed, Z. and Maqbool, R., 2023. Genetic analysis of wheat accessions for yield contributing traits under water deficit condition. *Journal of Agricultural Research* 61(1).
- Ngaboyisonga, C., F. Nizeyimana, M.K. Gafishi, T. Ndayishimiye, J. Mbarushimana, J. Nyirabashyitsi, P. Mutanyagwa and A. Nyombayire. 2019. Combining ability for grain yield and silking of maize inbred lines derived from three open pollinated varieties released for mid altitudes of Rwanda: Comparison of Diallel and North Carolina Design II. *African Crop Science Journal* 27(1): 59-75.
- Patil, N. and R.G. Lakshmi. 2020. Comprehensive statistical analysis of plant breeding experiments. 4070606, doi:10.5281/zenodo.
- PBTools. 2014. Biometrics and breeding informatics, North Carolina design II, International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna. 149 p.
- Quinby, J.R. and G.H. Liang. 1969. Leaf number and duration to floral initiation and flowering of sorghum parents and hybrids. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 11: 275-280.
- R Core Team. 2024. R: A Language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Singh, K.B., R.S. Malhotra, M.H. Halila, E.J. Knights and M.M. Verma. 1993. Current status and future strategy in breeding chickpea for resistance to biotic and abiotic stresses. *Euphytica* 73: 137-149.

การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโต และผลผลิต
ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

Utilization of by-Product from Tanning Industry on Growth and Yield of Maize
Planted in Kamphaeng Saen Soil Series

อัจจริกา สินธพานินท์¹ ชัยสิทธิ์ ทองजू^{1*} ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย¹ และอัญธิชา พรหมเมืองคุก¹

Achrika Sintapanin¹, Chaisit Thongjoo^{1*}, Tawatchai Inboonchuay¹ and

Aunthicha Phommuangkuk¹

Received: January 15, 2025

Revised: March 3, 2025

Accepted: March 7, 2025

Abstract: The aim of this study was to investigate the utilization of by-product from tanning industry (BPTI) on growth and yield of hybrid maize cv. Seed Tech 188 planted in Kamphaeng Saen soil series. The experimental design was arranged in Randomized Complete Block (RCBD) with 3 replications and consisted of 8 treatments. The results of this study revealed that all treatments that applied of chemical fertilizer (CF) based on soil chemical analysis or the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI provided the highest plant height, leaf greenness (SPAD unit), ear weight, ear without husk weight, grain weight, 1,000 grain weight, total N and protein in grain and significantly different when comparing with the control treatment (control, T₁), which resulted in the lowest plant height, leaf greenness (SPAD unit), ear weight, ear without husk weight, grain weight, 1,000 grain weight, total N and protein in grain.

Keywords: By-product from tanning industry (BPTI), Maize, Protein in grain

บทคัดย่อ: ศึกษาผลของการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์ซีดเทค 188 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 8 ตำรับทดลอง ผลการทดลอง พบว่า ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างใดอย่างหนึ่ง การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้ความสูงต้น ค่าความเขียวของใบ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกัน และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ซึ่งมีผลให้ความสูงต้น ค่าความเขียวของใบ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด

คำสำคัญ: ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนัง, ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, โปรตีนในเมล็ด

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

¹Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: agrcht@ku.ac.th

คำนำ

ในปีเพาะปลูก 2565/66 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 6.40 ล้านไร่ ผลผลิต 4.70 ล้านตัน และผลผลิตเฉลี่ย 735 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่ในบางพื้นที่ให้ปริมาณผลผลิตไม่แน่นอน แนวทางที่ช่วยส่งเสริมผลผลิตของข้าวโพดให้สูงขึ้น คือ การเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ เช่น การใช้ผลพลอยได้จากภาคเกษตรหรือภาคอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ธนสมณท์และคณะ, 2561; ดัชนียาและคณะ, 2562; วิสัยรัตน์และคณะ, 2562; รุจิกรและคณะ, 2563; ศิริประภา และคณะ, 2565; Thongjoo *et al.*, 2002) เป็นต้น ที่ผ่านมามีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้จากภาคอุตสาหกรรมเกษตรมาช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เช่น การใช้กากตะกอนเยื่อกระดาษ (จันจิรา และคณะ, 2552; วิสัยรัตน์และคณะ, 2562; เสฏฐวุฒิ และคณะ, 2563) กากตะกอนยีสต์จากโรงงานเอทานอล (ชัยวัฒน์และคณะ, 2558; รุจิกร และคณะ, 2563) กากสุปุดำ (กัญญ์ฐ์ และคณะ, 2555) ผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) ผสมขี้เถ้าลอย (ธนสมณท์ และคณะ, 2561) เปลือกปูปด (ดัชนียา และคณะ, 2562) น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตอาหาร (เกียรติศักดิ์และชัยสิทธิ์, 2561) เป็นต้น โรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยผลพลอยได้ส่วนใหญ่มีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย และอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al.*, 2005) ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนัง (by-product from tanning industry, BPTI) เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เพื่อแยกสารประกอบโปรตีนออกจากเศษของหนังสัตว์มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม กลิ่นเหม็นรุนแรง (Cooman *et al.*, 2003; Zhao *et al.*, 2022) มีปริมาณไนโตรเจนในช่วง 5-7 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในช่วง 25-30 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH ในช่วง 8-9 ค่าการนำไฟฟ้าในช่วง 8-10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง “กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560” (ชัยสิทธิ์ และคณะ, 2565) จึงเกิดแนวคิดว่า หากมีการนำผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังมาผลิตเป็นปุ๋ยชนิดเหลว และหาแนวทางการใช้ประโยชน์โดยการฉีดพ่นทางใบร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยพิจารณาจากผลของปุ๋ยชนิดเหลวดังกล่าวที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมแล้ว ยังเป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และช่วยลดมลภาวะที่อาจเกิดจากผลพลอยได้ดังกล่าวในระยะยาวได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ชิดโชค 188 ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic, Soil Survey Staff, 2003) โดยเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ค่า pH (1:1) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณเหล็ก สังกะสี และโบรอนที่สกัดได้ (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542) รวมทั้งเนื้อดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558) สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลอง (Table 1) ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2566 จำนวน 24 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 4.5 เมตร ยาว 6.0 เมตร จำนวน 5 แถว ระยะห่างระหว่างแถว 0.75 เมตร ระยะห่างระหว่างต้น 0.25 เมตร

เก็บข้อมูลผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถวประมาณ 1 เมตร คิดเป็นพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 3.0x4.0 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 3 ซ้ำ 8 ตำรับทดลอง (Table 2)

ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (46 %P₂O₅) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 %K₂O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตรา ในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 20 และ 40 วันหลังปลูก ยกเว้น ตำรับควบคุม (control) อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือ 20, 5 และ 5 กิโลกรัม N, P₂O₅ และ K₂O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนัง (BPTI) ที่ใช้ในการทดลองมาจากโครงการพัฒนาวิชาการ ประสานงานบริการด้านวิจัย ระหว่าง บริษัท อินเตอร์กรีน จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช. ประกอบด้วย 3 สูตร คือ 1) สูตรดั้งเดิม (by-product from tanning industry (original), BPTI (O)) 2) สูตร BPTI (N1) ประกอบด้วย BPTI (O) จำนวน 1,000 มิลลิลิตร และเติม ZnSO₄, FeSO₄ และ Na₂[B₄O₅(OH)₄].8H₂O (sodium borate) อย่างละ 5 กรัม และ 3) สูตร BPTI (N₂) ประกอบด้วย BPTI (O) จำนวน 1,000 มิลลิลิตร และเติม ZnSO₄, FeSO₄ และ Na₂[B₄O₅(OH)₄].8H₂O อย่างละ 10 กรัม โดยสมบัติบางประการของปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังทั้ง 3 สูตร (Table 3) (วิเคราะห์ตามวิธีการของสำนักวิทยาศาสตร์

เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2548) การฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังกระทำ 2 ครั้ง ที่อายุ 20 และ 40 วันหลังปลูก กล่าวคือ ตำรับทดลองที่ 3, 5 และ 7 ตวงปุ๋ยชนิดเหลวสูตร BPTI (O), BPTI (N1) และ BPTI (N₂) จำนวน 150 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร โดยการฉีดพ่นแต่ละครั้งดำเนินการฉีดพ่น 4 ถึงต่อไร่ (1.2 ลิตรต่อไร่) ส่วนตำรับทดลองที่ 4, 6 และ 8 ตวงปุ๋ยชนิดเหลวสูตร BPTI (O), BPTI (N₁) และ BPTI (N₂) จำนวน 300 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร โดยการฉีดพ่นแต่ละครั้งดำเนินการฉีดพ่น 4 ถึงต่อไร่ (2.4 ลิตรต่อไร่)

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก ได้แก่ ความสูงต้น และค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) (วัดตำแหน่งใบที่ 3-5 จากปลายยอด) โดยใช้เครื่อง chlorophyll meter (Minolta Co., Ltd., JAPAN: SPAD-502 model) สำหรับเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก ได้แก่ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโปรตีนในเมล็ด ซึ่งคำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ด (%) x empirical factor โดยกำหนด empirical factor สำหรับเมล็ดข้าวโพดเท่ากับ 6.25 (National Research Council, 1994) จากนั้น นำข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS) version 22

Table 1 Chemical and physical properties of soil (0-30 cm) before the experiment.

Properties	Results	Rating ^{1/}
pH (1:1)	7.17	neutral
ECe (dS/m)	1.62	non-saline
Organic matter (%)	0.93	low
Available P (mg/kg)	72.69	very high
Exchangeable K (mg/kg)	115.23	high
Exchangeable Ca (mg/kg)	1,196	high
Exchangeable Mg (mg/kg)	76.58	moderate
Exchangeable Na (mg/kg)	31.85	-
Extractable Fe (mg/kg)	7.63	low
Extractable Zn (mg/kg)	0.59	low
Extractable B (mg/kg)	0.80	moderate
Texture	sandy loam	-

^{1/} = FAO Project Staff and Land Classification Division (1973)**Table 2** Detail of treatments.

Treatments	Descriptions	Symbols	Quantity of major elements	
			From chemical fertilizer (kgN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)	From by-product of tanning industry (BPTI) (gN-P ₂ O ₅ -K ₂ O per rai)
T ₁	no fertilizer and no spraying with by-product from tanning industry (BPTI) treatment	control	0-0-0	0-0-0
T ₂	the application of chemical fertilizers (CF) based on soil chemical analysis	CF _{DOA}	20-5-5	0-0-0
T ₃	the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI (O) of 1.2 l/rai	CF _{DOA} + BPTI (O) _{1.2 l/rai}	20-5-5	65.04-0-0
T ₄	the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI (O) of 2.4 l/rai	CF _{DOA} + BPTI (O) _{2.4 l/rai}	20-5-5	130.08-0-0
T ₅	the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI (N1) of 1.2 l/rai	CF _{DOA} + BPTI (N ₁) _{1.2 l/rai}	20-5-5	80.76-0-0
T ₆	the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI (N1) of 2.4 l/rai	CF _{DOA} + BPTI (N ₁) _{2.4 l/rai}	20-5-5	161.52-0-0
T ₇	the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI (N2) of 1.2 l/rai	CF _{DOA} + BPTI (N ₂) _{1.2 l/rai}	20-5-5	85.68-0-0
T ₈	the application of CF based on soil chemical analysis and spray with BPTI (N2) of 2.4 l/rai	CF _{DOA} + BPTI (N ₂) _{2.4 l/rai}	20-5-5	171.36-0-0

Note

- BPTI (O) of 1.2 l/rai = 13.74, 4.61 and 1.20 mgFe, Zn and B per rai, respectively.
- BPTI (O) of 2.4 l/rai = 27.48, 9.22 and 2.40 mgFe, Zn and B per rai, respectively.
- BPTI (N₁) of 1.2 l/rai = 557.34, 1,291.2 and 332.06 mgFe, Zn and B per rai, respectively.
- BPTI (N₁) of 2.4 l/rai = 1,114.68, 2,582.4 and 664.12 mgFe, Zn and B per rai, respectively.
- BPTI (N₂) of 1.2 l/rai = 463.26, 1,867.2 and 584.22 mgFe, Zn and B per rai, respectively.
- BPTI (N₂) of 2.4 l/rai = 926.52, 3,734.4 and 1,168.44 mgFe, Zn and B per rai, respectively.

Table 3 Properties of by-product from tanning industry (BPTI) before the experiment.

Properties	Results		
	BPTI (O)	BPTI (N ₁)	BPTI (N ₂)
pH	8.96	8.76	8.61
EC (dS/m)	10.02	9.92	9.98
Organic matter (%)	27.28	27.46	27.60
Total N (%)	5.42	6.73	7.14
Total P (%)	n.d.	n.d.	n.d.
Total K (%)	0.01	n.d.	0.01
Total Ca (%)	1.76	1.79	1.17
Total Mg (%)	0.01	n.d.	n.d.
Total S (%)	0.12	0.10	0.09
Total Na (%)	1.27	0.34	0.34
Total Cl (%)	0.76	0.78	0.75
Total Mn (mg/l)	0.61	1.08	3.63
Total Cu (mg/l)	4.05	n.d.	n.d.
Total Fe (mg/l)	11.45	264.45	386.05
Total Zn (mg/l)	3.84	1,076	1,556
Total B (mg/l)	1.00	276.72	486.85

Note

- n.d. = not detected
- BPTI (O) = by-product from tanning industry (original)
- BPTI (N₁) = BPTI (O) 1,000 ml + ZnSO₄ 5 g + FeSO₄ 5 g + Na₂[B₄O₅(OH)₄].8H₂O 5 g
- BPTI (N₂) = BPTI (O) 1,000 ml + ZnSO₄ 10 g + FeSO₄ 10 g + Na₂[B₄O₅(OH)₄].8H₂O 10 g

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของการใช้ประโยชน์ ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ปรากฏผลดังนี้

1. การเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

1.1 ความสูงต้น

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนัง สูตรต่าง ๆ รวมทั้งตัวควบคุม (control, T₁) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ ที่อายุ 1 และ 2

เดือนหลังปลูก พบว่า ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกัน ส่วนที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรใหม่ (2) อัตรา 2.4 ลิตรต่อไร่ ($CF_{DOA} + BPTI(N)_{2.4 \text{ l/rai}}$, T₈) มีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด (243.44 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินรวมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรใหม่ (1) อัตรา 2.4 ลิตรต่อไร่ ($CF_{DOA} + BPTI(N)_{1.2 \text{ l/rai}}$, T₆)

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรใหม่ (2) อัตรา 1.2 ลิตรต่อไร่ ($CF_{DOA} + BPTI (N_2)_{1.2 \text{ l/rai}}$, T_7) และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรใหม่ (1) อัตรา 1.2 ลิตรต่อไร่ ($CF_{DOA} + BPTI (N_1)_{1.2 \text{ l/rai}}$, T_5) ขณะที่การควบคุมมีผลให้ความสูงต้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต

1.2 ค่าความเขียว (SPAD unit) ของใบ

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ รวมทั้งการควบคุม (control, T_1) มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ทุกการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การ

ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกัน และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุม ซึ่งมีผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 2 เดือนหลังปลูกมีค่าสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการศึกษา สอดคล้องกับงานวิจัยของรุจิกร และคณะ (2563) วิไลรัตน์ และคณะ (2562) ดัชนียา และคณะ (2562) และศิริประภา และคณะ (2565) ที่ทดลองกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำ ดังนั้น ปริมาณปุ๋ยที่ปลดปล่อยไนโตรเจนลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์นั่นเอง (ยงยุทธ, 2558)

Table 4 Plant height of maize at 1, 2 and 3 MAP^{1/}

Treatments	Plant height (cm)		
	1 MAP	2 MAP	3 MAP
T_1 = control	51.60 ^{f2/}	118.54 ^{e2/}	154.66 ^{f2/}
T_2 = CF_{DOA}	85.49 ^e	151.52 ^d	218.57 ^e
T_3 = $CF_{DOA} + BPTI (O)_{1.2 \text{ l/rai}}$	87.67 ^{de}	153.54 ^d	221.58 ^{de}
T_4 = $CF_{DOA} + BPTI (O)_{2.4 \text{ l/rai}}$	90.50 ^{cd}	155.49 ^{cd}	225.50 ^d
T_5 = $CF_{DOA} + BPTI (N_1)_{1.2 \text{ l/rai}}$	92.65 ^{bc}	161.33 ^{bc}	233.52 ^c
T_6 = $CF_{DOA} + BPTI (N_1)_{2.4 \text{ l/rai}}$	95.23 ^{ab}	168.23 ^a	240.44 ^{ab}
T_7 = $CF_{DOA} + BPTI (N_2)_{1.2 \text{ l/rai}}$	94.44 ^{abc}	165.68 ^{ab}	236.64 ^{bc}
T_8 = $CF_{DOA} + BPTI (N_2)_{2.4 \text{ l/rai}}$	97.23 ^a	170.43 ^a	243.44 ^a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	13.62	12.28	12.41

^{1/} Months after planting

^{2/} means within the same column followed by the same letters indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at $P < 0.01$

Table 5 Leaf greenness (SPAD unit) of maize at 1, 2 and 3 MAP^{1/}

Treatments	SPAD unit		
	1 MAP	2 MAP	3 MAP
T ₁ = control	36.82 ^{c 2/}	34.65 ^{b 2/}	32.33 ^{c 2/}
T ₂ = CF _{DOA}	42.64 ^b	48.25 ^a	45.78 ^b
T ₃ = CF _{DOA} + BPTI (O) _{1.2 l/rai}	42.72 ^b	48.64 ^a	46.33 ^b
T ₄ = CF _{DOA} + BPTI (O) _{2.4 l/rai}	42.83 ^b	48.72 ^a	46.84 ^{ab}
T ₅ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{1 1.2 l/rai}	44.64 ^{ab}	50.64 ^a	48.53 ^{ab}
T ₆ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{1 2.4 l/rai}	45.18 ^{ab}	51.32 ^a	48.72 ^{ab}
T ₇ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{2 1.2 l/rai}	44.83 ^{ab}	50.83 ^a	48.61 ^{ab}
T ₈ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{2 2.4 l/rai}	45.72 ^a	51.64 ^a	49.32 ^a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	12.36	11.48	10.37

^{1/} Months after planting^{2/} means within the same column followed by the same letters indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.1 น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และน้ำหนักเมล็ด

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ รวมทั้งดำรับควบคุม (control, T₁) มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ ทุกดำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกันในช่วง 2,582.39-2,648.57, 2,397.51-2,452.47 และ 1,310.24-1,354.71 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดำรับควบคุม ซึ่งมีผลให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และน้ำหนักเมล็ด

ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด (1,257.71, 1,028.57 และ 639.70 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ)

2.2 น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ด

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ รวมทั้งดำรับควบคุม (control, T₁) มีผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ ทุกดำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกันในช่วง 317.24-318.45 กรัม, 1.59-1.69 และ 9.94-10.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ดำรับควบคุมมีผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีน ในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด

(312.64 กรัม 1.22 และ 7.63 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่าทุกตัวรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดี่ยว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดจัดอยู่ในประเภท

“ข้าวโพดเมล็ด เกรด 1” คือ มีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง “กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ที่มีใช้อาหารสัตว์ควบคุมเฉพาะ ประเภทวัตถุดิบ พ.ศ. 2559” (ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

Table 6 Ear weight, ear without husk weight and grain weight of maize.

Treatments	Ear weight (kg/rai)	Ear without husk weight (kg/rai)	Grain weight (kg/rai)
T ₁ = control	1,257.71 ^{e 1/}	1,028.57 ^{b 1/}	639.70 ^{c 1/}
T ₂ = CF _{DOA}	2,582.39 ^d	2,397.51 ^a	1,310.24 ^b
T ₃ = CF _{DOA} + BPTI (O) _{1.2 l/rai}	2,596.67 ^{cd}	2,410.58 ^a	1,322.52 ^{ab}
T ₄ = CF _{DOA} + BPTI (O) _{2.4 l/rai}	2,612.46 ^{bc}	2,426.75 ^a	1,328.62 ^{ab}
T ₅ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{1 1.2 l/rai}	2,633.71 ^{ab}	2,433.54 ^a	1,340.42 ^{ab}
T ₆ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{1 2.4 l/rai}	2,642.46 ^a	2,450.63 ^a	1,353.60 ^a
T ₇ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{2 1.2 l/rai}	2,637.58 ^{ab}	2,438.35 ^a	1,347.65 ^a
T ₈ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{2 2.4 l/rai}	2,648.57 ^a	2,452.47 ^a	1,354.71 ^a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	15.61	13.15	12.45

^{1/} means within the same column followed by the same letters indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

Table 7 1,000 grain weight, total N and protein in grain of maize.

Treatments	1,000 grain weight (g)	Total N (%)	Protein (%)
T ₁ = control	312.64 ^{b 1/}	1.22 ^{c 1/}	7.63 ^{c 1/}
T ₂ = CF _{DOA}	317.24 ^a	1.59 ^b	9.94 ^b
T ₃ = CF _{DOA} + BPTI (O) _{1.2 l/rai}	317.41 ^a	1.62 ^{ab}	10.13 ^{ab}
T ₄ = CF _{DOA} + BPTI (O) _{2.4 l/rai}	317.47 ^a	1.63 ^{ab}	10.19 ^{ab}
T ₅ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{1 1.2 l/rai}	317.56 ^a	1.65 ^{ab}	10.31 ^{ab}
T ₆ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{1 2.4 l/rai}	318.45 ^a	1.68 ^{ab}	10.50 ^{ab}
T ₇ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{2 1.2 l/rai}	318.15 ^a	1.67 ^{ab}	10.44 ^{ab}
T ₈ = CF _{DOA} + BPTI (N) _{2 2.4 l/rai}	318.45 ^a	1.69 ^a	10.56 ^a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	9.36	11.29	9.38

^{1/} means within the same column followed by the same letters indicate no statistical difference by using DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ ในช่วงอัตรา 1.2-2.4 ลิตรต่อไร่ มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินแต่เพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับงานวิจัยของชญาณี และคณะ (2567) ที่ทดลองกับมันสำปะหลัง และงานวิจัยของภูเบศ และคณะ (2567) ที่ทดลองกับอ้อย ทั้งนี้เป็นเพราะปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนัง อาจมีสมบัติเป็นสารกระตุ้นเชิงชีวภาพของพืช (bio-stimulants) เนื่องจากจัดอยู่ในกลุ่มของสารชีวมีก ผลิตภัณฑ์ที่มีฮอโมน และกรดอะมิโน ซึ่งมีการใช้ในปริมาณน้อยโดยการฉีดพ่นทางใบ (ยงยุทธ, 2560) แต่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารพืช นอกจากนี้ ปุ๋ยชนิดเหลวดังกล่าว มีธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน) และจุลธาตุผสมอยู่ด้วย โดยเฉพาะธาตุเหล็ก สังกะสี และโบรอน (Table 3) ประกอบกับแปลงทดลองที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีปริมาณเหล็ก และสังกะสีที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำ ส่วนโบรอนที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลาง (Table 1) จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยภาพรวมดีขึ้นได้ สอดคล้องกับน้ำผึ้ง และคณะ (2565) ที่รายงานว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสัตว์ปีก ทั้งการคลุกผสมกับปุ๋ยเคมี หรือการฉีดพ่นส่วนเหนือดินของพืช มีผลให้ผลผลิตอ้อยสด และค่า CCS มากที่สุด รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการวิจัยที่รายงานว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับสังกะสี (วรัญญา และคณะ, 2562) และโบรอน (ยศวดี และคณะ, 2561) มีแนวโน้มให้ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี และโบรอนที่สะสมในท่อนลำอ้อยมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว โดยผลการทดลองจะเด่นชัดเมื่อมีการปลูกทดสอบกับอ้อยในดินที่มีปริมาณสังกะสีและโบรอนในระดับต่ำ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังมีปริมาณโลหะ

หนักไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง “กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560” แต่การนำผลพลอยได้ดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรในระยะยาว ก็ควรคำนึงถึงผลตกค้างของโลหะหนักในดินและในพืชด้วยเช่นกัน

สรุป

ทุกตำราทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการฉีดพ่นปุ๋ยชนิดเหลวจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมฟอกหนังสูตรต่าง ๆ มีผลให้ความสูงต้น ค่าความเขียวของใบ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใกล้เคียงกัน และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำราควบคุม ซึ่งมีผลให้ความสูงต้น ค่าความเขียวของใบ น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก น้ำหนักเมล็ด น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์น้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาวิชาการ ประเภทงานบริการด้านวิจัย ระหว่างบริษัท อินเตอร์ กรีน จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช.

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้น้ำกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร. 100 หน้า.
- เกียรติศักดิ์ สนศรี และชัยสิทธิ์ ทองจุ. 2561. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเหลวต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารดินและปุ๋ย 40 (1): 27-38.

- กัญจน์ฐ์ ภรณ์สิริวัตร ชัยสิทธิ์ ทองจุ สุภชัย อำคา จุฑามาศ ร่มแก้ว ชาลินี คงสุด และวิชัย ชินธรรมมิตร. 2555. ผลของปุ๋ยหมักกากสับดำต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. หน้า 1235-1247. ใน: การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบไฮโดรทศานุกรณ์. คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม. 174 หน้า.
- จันจิรา แสงสีเหลือง ชัยสิทธิ์ ทองจุ จุฑามาศ ร่มแก้ว และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์. 2552. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. หน้า 19-28. ใน: การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.
- ชญาณี บุตรครุฑ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และอัณิชา พรมเมืองคุก. 2567. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 7(3): 125-136.
- ชัยวัฒน์ วงษ์ไร ชัยสิทธิ์ ทองจุ สุภาวูธ รุ่งเมฆารัตน์ ชาลินี คงสุด ธีรยุทธ คล้าชื่น ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ ธนสมณท์ กุลการณย์เลิศ อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ และศิริสุดา บุตรเพชร. 2558. ผลของกากตะกอนยีสต์จากโรงงานเอทานอลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์แปซิฟิก 999. หน้า 188-195. ใน: การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 4 “ธรรมชาติของดินและความจริงของปุ๋ยเพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืน”, สงขลา.
- ชัยสิทธิ์ ทองจุ สิริินภา ช่วงโอภาส อัณิชา พรมเมืองคุก สุชาดา กรุณา เกวลิน ศรีจันทร์ ธีรยุทธ คล้าชื่น ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย ชาลินี คงสุด และ ธรรมธวัช แสงงาม. 2565. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง “การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจและสมบัติของดินบางประการ”, นครปฐม. 322 หน้า.
- ดัชนียา สิมมา, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, เกวลิน ศรีจันทร์, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, อัณิชา พรมเมืองคุก, สิริินภา ช่วงโอภาส, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม, ธีรยุทธ คล้าชื่น และศิริโรจน์ สุวรรณโณ. 2562. การใช้ประโยชน์เปลือกปูปดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 2(2): 67-78.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันท์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 108 หน้า.
- ธนสมณท์ กุลการณย์เลิศ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, จุฑามาศ ร่มแก้ว และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 36(1): 40-49.
- น้ำผึ้ง แสงใส, ชัยสิทธิ์ ทองจุ ธวัชชัย, อินทร์บุญช่วย และจุฑามาศ ร่มแก้ว. 2565. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสัตว์ปีกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย. วารสารผลิตภัณฑ์การเกษตร 4(2): 27-39.

- ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559. กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ที่มีใช้ อาหารสัตว์ควบคุมเฉพาะ ประเภทวัตถุดิบ พ.ศ. 2559. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://legal.dld.go.th/web2012/news/P15/133242201025593.PDF> (7 พฤษภาคม 2563).
- ภูเบศ กุลศิริ, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และอัญชิชา พรหมเมืองคุก. 2567. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนังต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 7(3): 61-71.
- ยงยุทธ ไสยธสสา. 2558. ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 548 หน้า.
- ยงยุทธ ไสยธสสา. 2560. การใช้ปุ๋ยและสารเร่งทางใบ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 348 หน้า.
- ยศวดี เม่งเอียด, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2561. ผลของการจัดการปุ๋ยเคมีร่วมกับไบรอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยต่อ (ปีที่ 1) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 1(2): 80-94.
- รุจิกร ศรีแมนม่วง, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภชัย อำคา, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, ชาลินี คงสุต และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2563. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารเกษตร 48(2): 293-304.
- วรัญญา เอมถมยา นัฐพร กลิ่นหอม ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย จุฑามาศ ร่มแก้ว, ชาลินี คงสุต ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. การจัดการปุ๋ยร่วมกับสังกะสีต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. หน้า 69-82. ใน: การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 6 “ดิน: กำเนิดของอาหารเพื่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม”, นครปฐม.
- วิไลรัตน์ แป้นแก้ว, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, กนกกรสินมา, สิริินภา ช่วงโสภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญชิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุต, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2562. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และสมบัติของดินบางประการ. วารสารวิชาการเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน สายวิทยาศาสตร์ 2(1): 28-41.
- ศิริประภา แก้วเรือง, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และทศพล พรพรหม. 2565. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วารสารผลิตกรรมการเกษตร 4(3): 1-12.
- เสฏฐวุฒิ อภิวัฒน์ตั้งสกุล, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, จุฑามาศ ร่มแก้ว, สิริินภา ช่วงโสภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญชิชา พรหมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุต, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้าชื่น. 2563. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ชนิดอัดเม็ด และชนิดปั้นเม็ดจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 3(2): 34-46.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2563-2565. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร. 224 หน้า.
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2548. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุ

- ปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจ
รับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 2. กรม
พัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
กรุงเทพมหานคร. 254 หน้า.
- Cooman, K., M. Gajardo, J. Nieto, C. Bornhardt
and G. Vidal. 2003. Tannery waste water
characterization and toxicity effects
on *Daphnia* spp. Environmental
Toxicology 18(1):45–51.
- FAO Project Staff and Land Classification
Division. 1973. Soil interpretation
handbook for Thailand. Department of
Land Development, Ministry of
Agriculture and Cooperation, Bangkok.
135 p.
- National Research Council. 1994. Nutrient
Requirements of Poultry. 9th revised ed.
National Academy press, Washington,
D.C. 155 p.
- Soil Survey Staff. 2003. Key to Soil Taxonomy:
Ninth Edition. United States Department
of Agriculture, Natural Resources
Conservation Service, Washington,
D.C. 332 p.
- Thongjoo, C., S. Panichsakpatana, and
S. Miyagawa. 2002. Efficiency of some
selected organic wastes as nitrogen
fertilizer for baby corn (*Zea mays* L.).
The 133th meeting of the Tokai
Branch of Crop Science Society,
Aichi-Ken Agricultural Research
Center, Japan, 5-6 August 2002, 43 p.
- Thongjoo, C., S. Miyagawa and N. Kawakubo.
2005. Effect of soil moisture and
temperature on decomposition rates
of some waste materials from
agriculture and agro-industry. Plant
Production Science 8(4): 475-481.
- Zhao, J., Q. Wu, Y. Tang, J. Zhou, and H. Guo.
2022. Tannery wastewater treatment:
conventional and promising processes,
an updated 20-year review. Journal of
Leather Science and Engineering 4(1):
1-22.

ปริมาณสารฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในอ้อยดำสมุนไพร
Phenolic and Anthocyanin Contents and Antioxidant Activity in Medicinal Black Sugarcane

ศิริพรรณ สุขขัง¹ นงลักษณ์ เทียนเสรี^{2*} สมนึก พรหมแดง¹ ปิวิติ สุขกุล²
อภิวิชญ์ ทรงกระสินธุ์² และอนรรักษ์ อรัญญนาค²

Siriphan Sukkhaeng¹, Nongluk Teinseree^{2*}, Somnuk Promdang¹, Pitiwat Sookgul²,
Apiwich Songkarsin² and Anuruck Arunyanark²

Received: January 21, 2025

Revised: February 28, 2025

Accepted: March 7, 2025

Abstract: Black sugarcane is a plant that contains a variety of bioactive compounds. This study aimed to evaluate the total phenolic and anthocyanin contents and the antioxidant activity in the juice and juicing residue of two black sugarcane genotypes and to examine the relationship among these substances. The experiment analyzed juice extracted from peeled and unpeeled stalks, rind, pith, and bagasse of 'Black Khmer' and 'Ratchaburi' genotypes, comparing extractions with water and 70% ethanol. The juice extracted with ethanol from the unpeeled stalks of the 'Black Khmer' showed the highest content of bioactive substances, including phenolics (328.48 µgGAE/mL), anthocyanins (15.30 µg/mL) and antioxidant activity (256.09 µgTE/mL). The ethanolic extract from rind and bagasse of 'Black Khmer' contained higher amounts of phenolics, anthocyanins, and antioxidant activity than those of 'Ratchaburi' genotype. However, the pith of both genotypes exhibited similar levels of these substances, with very low anthocyanin content. The ethanolic extract from the rind of 'Black Khmer' contained the highest levels of bioactive compounds with phenolics (6,937.50 µgGAE/gDW), anthocyanins (1,410.50 µg/gDW) and antioxidant activity (3,860.04 µgTE/gDW). There was a strong positive correlation between phenolics, anthocyanins, and antioxidant activity in black sugarcane juice, rind, and bagasse ($r = 0.64^{**}$ to 0.97^{**}). These findings can be used as information for further utilization of black sugarcane.

Keywords: Bagasse, Black sugarcane, Medicinal sugarcane, Sugarcane juice, Sugarcane rind

บทคัดย่อ: อ้อยดำเป็นพืชที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณฟีนอลิกรวม แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำคั้นและขานอ้อยของอ้อยดำ 2 สายพันธุ์ และหาความสัมพันธ์ ระหว่างสารแต่ละชนิด โดยศึกษาในน้ำอ้อยที่คั้นจากลำที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก ส่วนเปลือกอ้อย ขานอ้อย และเนื้ออ้อยของอ้อยดำ สายพันธุ์ดำเขมรและราชบุรี เปรียบเทียบระหว่างการสกัดด้วยน้ำ

¹หน่วยวิเคราะห์วิจัยพืชผักเคมี ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

¹Phytochemistry Research and Analysis Unit, Central Laboratory and Greenhouse Complex, Research and Development Institute, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

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

*Corresponding author: agrmlt@ku.ac.th

และเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ พบว่า น้ำคั้นที่สกัดด้วยเอทานอลจากลำที่ไม่เปลือกเปลือกของพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงที่สุด โดยมีปริมาณฟีนอลิกรวม 328.48 $\mu\text{gGAE/mL}$ ปริมาณแอนโทไซยานิน 15.30 $\mu\text{g/mL}$ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 256.09 $\mu\text{gTE/mL}$ ส่วนเปลือกและชานอ้อยสายพันธุ์ดำเขมรที่สกัดด้วยเอทานอลมีปริมาณสารฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสายพันธุ์ขาวรี แต่อย่างไรก็ตาม ส่วนเนื้ออ้อยมีค่าต่าง ๆ ใกล้เคียงกันและมีปริมาณแอนโทไซยานินต่ำมาก สารสกัดเอทานอลจากเปลือกอ้อยของสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงที่สุด โดยมีปริมาณฟีนอลิกเท่ากับ 6,937.50 $\mu\text{gGAE/gDW}$ ปริมาณแอนโทไซยานิน 1,410.50 $\mu\text{g/gDW}$ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 3,860.04 $\mu\text{gTE/gDW}$ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างปริมาณฟีนอลิกรวม แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งในน้ำอ้อย เปลือกลำ และชานอ้อย ($r = 0.64^{**}$ ถึง 0.97^{**}) ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับการใช้ประโยชน์จากอ้อยต่อไป

คำสำคัญ: ชานอ้อย, อ้อยดำ, อ้อยสมุนไพร, น้ำอ้อย, เปลือกอ้อย

คำนำ

ประเทศไทยมีพันธุ์อ้อยที่หลากหลาย แบ่งตามลักษณะ ได้แก่ อ้อยเคี้ยว อ้อยคั้นน้ำ และอ้อยน้ำตาล นอกจากนี้ยังมีกลุ่มอ้อยพันธุ์พื้นเมืองของไทย ได้แก่ อ้อยดำหรืออ้อยสมุนไพร ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับอ้อยทั่วไป แต่เปลือกมีสีเข้ม มีไขสีขาวปกคลุมลำต้นสูง 2-5 เมตร เนื้อในสีขาวฉ่ำน้ำ ส่วนใหญ่ไม่นิยมนำมารับประทาน เนื่องจากมีน้ำน้อย และรสจัด ปัจจุบันอ้อยดำได้รับการขึ้นบัญชีเป็นพืชสมุนไพรที่มีสรรพคุณทางยาหลากหลาย เช่น รักษาอาการแก้ร้อนใน ลดเสมหะ รักษาอาการอักเสบ และโรคเบาหวาน (โชติอนันต์, 2553; คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2558) นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยเกี่ยวกับอ้อยดำ หรืออ้อยที่มีเปลือกลำสีเข้ม เช่น แดงเข้ม ม่วงอมแดง เกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมี โดยเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี (phytochemical compound) วิตามิน และแร่ธาตุหลายชนิด รวมถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (Takara *et al.*, 2007) อ้อยดำสมุนไพรของไทยจึงประกอบไปด้วยสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิดซึ่งอาจนำมาพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ

อ้อยมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลาย เช่น ฟีนอลิก (phenolics) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ไตรเทอร์พีนอยด์ (triterpenoids) ไฟโตสเตอรอล (phytosterols) และแอนโทไซยานิน (Li *et al.*, 2010; Pallavi *et al.*, 2012; Feng *et al.*, 2015; Zhao *et*

al., 2018) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการต้านออกซิเดชันด้านการอักเสบ และด้านการกลายพันธุ์ (Plat and Mensink, 2001) สำหรับสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เป็นสารที่สามารถยับยั้งหรือป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะเข้าก่อกำจัดอนุมูลอิสระในร่างกายและทำหน้าที่ชะลอความเสื่อมสภาพของเซลล์ต่างๆ และยับยั้งไม่ให้เกิดการทำลายเซลล์ในปฏิกิริยาออกซิเดชัน (พงศธร, 2564)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระชนิดหนึ่งพบได้ตามธรรมชาติในพืชหลากหลายชนิด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) (รัตนภรณ์และคณะ, 2561) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถป้องกันโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอลิกทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ และไฮดรอกซิลของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่น ๆ ด้วยการเป็นตัวรับอนุมูลอิสระและทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ โดยการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระแล้วทำให้ปฏิกิริยาล้มสลายลง (พินิจ และโสธรยา, 2556) สำหรับแอนโทไซยานินเป็นสารรงควัตถุ (pigment) ให้สีแดง สีม่วง และสีน้ำเงิน จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีบทบาทในการป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ โรค มะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น (อรุษา, 2554) ซึ่งจาก

การศึกษาที่ผ่านมาได้รายงานว่าพบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในอ้อยที่มีลำสีแดงหรือดำปริมาณสูงกว่าอ้อยลำสีเขียว (Feng *et al.*, 2014)

ประเทศไทยมีอ้อยดำสมุนไพรหลายสายพันธุ์ที่มีความน่าสนใจ แต่ยังไม่มีการศึกษาอย่างกว้างขวางและขาดข้อมูลทางวิชาการรองรับ โดยเฉพาะการศึกษาปริมาณสารสำคัญต่าง ๆ ในอ้อยดำ ซึ่งจะสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าของสินค้าจากคุณประโยชน์ของอ้อยดำ เพื่อการใช้ประโยชน์ทางยาหรือด้านอื่นๆ ได้มากยิ่งขึ้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำคั้นและส่วนที่เหลือจากการคั้นน้ำของลำอ้อยดำสองสายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ดำเขมรและราชบุรี และหาความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

อุปกรณ์และวิธีการ

แผนการทดลองและการเตรียมตัวอย่าง

หาปริมาณสารสำคัญในอ้อยดำด้วยแผนการทดลองแบบ Factorial in completely randomize design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ การศึกษาในน้ำอ้อย ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของตัวอย่าง สารสกัด และสายพันธุ์ ส่วนการศึกษาส่วนลำที่ผ่านการคั้นน้ำ ประกอบด้วย 4 ปัจจัย ได้แก่ ลักษณะตัวอย่าง ตัวทำละลายที่ใช้สกัด ส่วนของอ้อย และสายพันธุ์ โดยทำการศึกษาในอ้อยดำ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ อ้อยดำราชบุรีและอ้อยดำเขมร โดยทั้งสองสายพันธุ์ได้รับการอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี แล้วนำมาปลูกเพื่อรวบรวมพันธุ์ที่แปลงรวบรวมพันธุ์อ้อย ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างลำอ้อยดำที่มีอายุ 6 เดือนจากแปลงปลูก จำนวน 6 ลำต่อสายพันธุ์ แบ่งตัวอย่างลำนำไปปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกอย่างละ 3 ลำ จากนั้นนำไปคั้นน้ำด้วยเครื่องหีบน้ำอ้อยจนได้น้ำอ้อยจากลำที่ปอกเปลือกและลำที่ไม่ปอกเปลือกของอ้อยดำทั้งสองสายพันธุ์ สุ่มตัวอย่างน้ำอ้อยไปวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid; TSS)

และจัดเก็บน้ำอ้อยอีกส่วนใส่ขวดแก้วที่มีฝาปิด เก็บตัวอย่างในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอนำไปวิเคราะห์

ส่วนเปลือก (rind) ที่ปอกจากลำอ้อย เนื้ออ้อย (pith) ที่ผ่านการคั้นน้ำอ้อยออกไปแล้ว และส่วนชานอ้อย (bagasse) ซึ่งเป็นส่วนของลำอ้อยที่ผ่านการคั้นน้ำโดยไม่ได้ปอกเปลือกจึงมีทั้งส่วนของเปลือกและเนื้ออ้อย นำมาแบ่งเป็นการเตรียมตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้ง โดยนำตัวอย่างสดของเปลือกเนื้ออ้อย และชานอ้อยมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำตัวอย่างมาบดโดยใช้โกร่งและเติมน้ำไตรเจนเหลว เมื่อบดละเอียดแล้วจัดเก็บใส่ถุงซิปล็อก แช่ในตู้เย็นอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอนำไปวิเคราะห์ สำหรับการเตรียมตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องบดกรองด้วยตะแกรงขนาด 250 ไมครอน และจัดเก็บตัวอย่างที่บดละเอียดเป็นผงใส่ถุงซิปล็อก ใส่ในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง

การสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

ศึกษาการใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 2 ชนิด โดยสุ่มตัวอย่างน้ำอ้อยปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมตัวทำละลาย คือ น้ำกลั่นหรือเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับการวิเคราะห์แอนโทไซยานินใช้ acidified ethanol; เตรียมจาก 95 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล 85 มิลลิลิตร ผสมกับ 1 โมล HCl ปริมาตร 15 มิลลิลิตร) ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเก็บส่วนสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ สำหรับตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้งทำโดยนำตัวอย่างปริมาณ 0.2 กรัม ใส่ลงในขวดปริมาตร 40 มิลลิลิตร มีฝา เติมตัวทำละลายน้ำกลั่นหรือเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร (สำหรับการวิเคราะห์แอนโทไซยานินใช้ acidified ethanol) ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex mixer นำไปเข้าเครื่อง sonicator (ultrasonic bath) 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำมาปรับปริมาตร

รวมเป็น 10 มิลลิลิตร ได้เป็นสารละลายใสเพื่อนำไปวิเคราะห์

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ใช้วิธี Folin-Ciocalteu ดัดแปลงจากวิธีของ Mohd-Esa *et al.* (2010) และอ่านค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer (Genesys 10S; Thermo Scientific, USA) สารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายฟอลิน (Folin-Ciocalteu) ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันในหลอดทดลอง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารฟีนอลิกรวมเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก (ความเข้มข้น 0-100 ไมโครกรัม

ต่อมิลลิลิตร) ในหน่วยไมโครกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ($\mu\text{gGAE/gDW}$) สำหรับตัวอย่างน้ำอ้อยแสดงในหน่วยไมโครกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential ดัดแปลงจาก Lee *et al.* (2005) โดยเปิดสารตัวอย่างใส่หลอดทดลอง 2 หลอด ปริมาตรหลอดละ 0.5 มิลลิลิตร หลอดหนึ่งเติมสารละลาย KCl buffer pH 1.0 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร อีกหลอดเติมสารละลาย CH_3COONa buffer pH 4.5 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร และ 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer จากนั้นนำไปคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินจากสมการ

$$\text{Anthocyanin} = \frac{A \times 449.2 \times \text{DF} \times 10^3}{26.900} \quad (\text{cyanidin-3-glucoside equivalent}), \mu\text{g/mL}$$

เมื่อ $(A_{520} - A_{700})_{\text{pH1.0}} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH4.5}}$
449.2 = ค่ามวลโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside

DF = ค่าการเจือจาง (dilute factor)

26,900 = ค่าโมลาร์แอบซอร์บิตีวี่ (molar absorptivity) ของ cyanidin-3-glucoside

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ใช้วิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ดัดแปลงจากวิธีของ Sittisart *et al.* (2020) และอ่านค่าสัญญาณด้วยเครื่อง microplate reader (Multiskan Sky, ThermoFisher Scientific, USA) โดยเปิดสารละลายตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันในหลุมไมโครเวลเพลท ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืด แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณค่า % DPPH inhibition จากสูตร % DPPH inhibition = $[(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$ โดย A_{control} คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ผสมตัวทำละลายที่ใช้ละลายสารตัวอย่าง A_{sample}

คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ผสมสารละลายตัวอย่าง เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอกซ์ (trolox) ความเข้มข้น 0-50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ($y=4.7903x$, $R^2 = 0.995$) คำนวณค่าการต้านอนุมูลอิสระในรูปไมโครกรัมสมมูลโทรลอกซ์ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ($\mu\text{gTE/gDW}$) สำหรับตัวอย่างน้ำอ้อยแสดงในหน่วยไมโครกรัมสมมูลโทรลอกซ์ต่อมิลลิลิตร

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยแผนการทดลองแบบ factorial in CRD โดยปัจจัยที่ศึกษาในน้ำอ้อยประกอบด้วย น้ำอ้อยที่คั้นจากลำอ้อยที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก การใช้ตัวทำละลายที่ต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่นและเอทานอล และสายพันธุ์อ้อยดำที่แตกต่างกัน สำหรับในตัวอย่างลำอ้อย

ที่ผ่านการคั้นน้ำแล้ว ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย ตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้ง การใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน ส่วนต่าง ๆ ของลำอ้อย คือ เปลือก เนื้ออ้อย และชานอ้อย และสายพันธุ์อ้อยดำที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD) และคำนวณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ของอ้อยดำสมุนไพร โดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 4.2.1 ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid; TSS) ในน้ำอ้อยดำพบว่า อ้อยดำสายพันธุ์ราชบุรีมีค่า TSS สูงกว่าอ้อยดำสายพันธุ์ดำเขมรทั้งในลำที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก โดยอ้อยดำสายพันธุ์ราชบุรีมีค่า TSS ในลำที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก 3.20 และ 3.63 °brix ตามลำดับ (Figure 1) ส่วนอ้อยดำสายพันธุ์ดำเขมรมีค่า TSS ในลำที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก 2.53 และ 3.23 °brix ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าในลำที่ไม่ปอกเปลือกมีค่า TSS สูงกว่าลำที่ปอกเปลือก แสดงว่าในเปลือกของอ้อยดำมี TSS อยู่ด้วย การปอกเปลือกจึงทำให้ TSS ในน้ำอ้อยลดลง อย่างไรก็ตามผลการ

ทดลองแสดงว่า อ้อยดำทั้งสองสายพันธุ์ต่างมีค่า TSS ที่ต่ำซึ่งแสดงว่าอ้อยดำมีความหวานต่ำ สอดคล้องกับรายงานของ โชติอนันต์ (2553) ที่กล่าวว่า อ้อยดำสมุนไพรส่วนใหญ่มีรสจืดจึงไม่นิยมนำมารับประทาน **ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำคั้น**

เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยของการเตรียมตัวอย่าง ตัวทำละลายที่สกัด และสายพันธุ์ พบว่า น้ำอ้อยจากลำที่ไม่ปอกเปลือกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าน้ำอ้อยจากลำที่ปอกเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) น้ำอ้อยที่สกัดด้วยตัวทำละลายน้ำและเอทานอล ส่งผลทำให้ปริมาณสารสำคัญแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้อเอทานอลสกัดได้ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสายพันธุ์พบว่าอ้อยดำสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าสายพันธุ์ราชบุรี อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างสายพันธุ์อ้อยดำในปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ ยังพบปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งในปริมาณสารฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

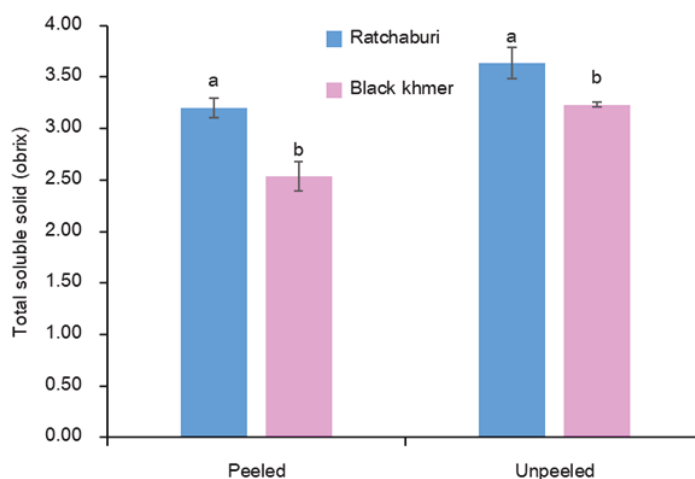


Figure 1 Comparison of total soluble solid (TSS) of black sugarcane juice from Ratchaburi and Black khmer genotypes using peeled and unpeeled canes. Error bars represent $\pm$ standard error of mean and different lowercase letters denote significant ($p < 0.05$) differences between black sugarcane genotypes

Table 1 Phenolic, anthocyanin content and antioxidant activity of peeled and unpeeled sugarcane juices compared between water and ethanol extractions of two black sugarcane genotypes.

	Phenolic ($\mu\text{gGAE/mL}$)	Anthocyanin ($\mu\text{g/mL}$)	Antioxidant activity ($\mu\text{gTE/mL}$)
Stalk preparations (SP)			
Peeled	239.02 b	0.23 b	164.51 b
Unpeeled	292.25 a	11.3 a	199.7 a
F-test	**	**	**
Extractions (Ext)			
Water	252.05 b	5.16 b	155.17 b
Ethanol	279.22 a	6.38 a	209.04 a
F-test	*	**	**
Genotypes (G)			
Ratchaburi	269.82	4.17 b	181.55
Black khmer	261.46	7.36 a	182.66
F-test	ns	**	ns
SP x Ext	ns	**	**
G x SP	**	**	**
G x Ext	ns	**	*
G x SP x Ext	ns	**	**
C.V. (%)	9.83	11.79	5.49
Mean	265.64	5.77	182.1

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD).

ns, not significant at $P < 0.05$; *, significant for $P < 0.05$; **, significant for $P < 0.01$.

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ในน้ำคั้นของอ้อยดำแยกระหว่างน้ำอ้อยที่ถูกคั้นด้วยลำที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก พบว่า น้ำอ้อยจากลำที่ปอกเปลือกของอ้อยดำสายพันธุ์ราชบุรีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสายพันธุ์ดำเขมรทั้งการสกัดด้วยการใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำหรือเอทานอล (Figure 2A, C, E) แต่ในน้ำอ้อยจากลำที่ไม่ปอกเปลือก อ้อยดำสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สูงกว่าสายพันธุ์ราชบุรีทั้งการสกัดด้วยการใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำหรือเอทานอล (Figure 2B, D, F) การสกัดด้วยเอทานอลจากน้ำคั้นลำที่ไม่ปอกเปลือกของพันธุ์

ดำเขมรให้ปริมาณสารสำคัญสูงสุด โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก $328.48 \mu\text{gGAE/mL}$ ปริมาณแอนโทไซยานิน $15.30 \mu\text{g/mL}$ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ $256.09 \mu\text{gTE/mL}$ แสดงว่าแอนโทไซยานินเป็นสารหลักที่พบในเปลือก การคั้นน้ำแบบปอกเปลือกจึงทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำคั้นลดลงในทั้ง 2 สายพันธุ์ ขณะเดียวกันสารกลุ่มฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงเช่นกัน สอดคล้องกับการศึกษาในอ้อยน้ำตาลที่พบว่า น้ำอ้อยที่คั้นจากลำที่ไม่ปอกเปลือกมีปริมาณสารแอนโทไซยานิน สารฟลาโวนอยด์ สารต้านอนุมูลอิสระ และโพลีฟีนอลสูงกว่าน้ำอ้อยที่คั้นจากลำที่ปอกเปลือก (Afifah *et al.*, 2018) เป็นที่น่าสังเกตว่าน้ำอ้อยจากลำที่ปอกเปลือกของสายพันธุ์ราชบุรีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสายพันธุ์ดำเขมร อาจเนื่องจากมีสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นนอกเหนือจากแอนโทไซยานินสะสมที่บริเวณเนื้ออ้อย สารประกอบฟีนอลช่วยยับยั้งการเกิด lipoperoxidation ในไมโครโซมที่เกิดจากอนุมูลอิสระ โดยสารสกัดฟีนอลทำให้เกิด lipoperoxidation ลดลงในระบบประสาท (Duarte-Almeida *et al.*, 2006)

และน้ำอ้อยที่คั้นน้ำจากลำที่ไม่ปอกเปลือกมีสีเข้มกว่าน้ำคั้นจากลำที่ปอกเปลือกเป็นเพราะเปลือกอ้อยมีสีเข้ม และสีของเปลือกอ้อยเกิดขึ้นมาจากสองสีพื้นฐาน คือ สีแดงอมม่วงของแอนโทไซยานิน และสีเขียวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งแอนโทไซยานินยังมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและอีถึง 2 เท่าอีกด้วย (นิศารัตน์, 2556)

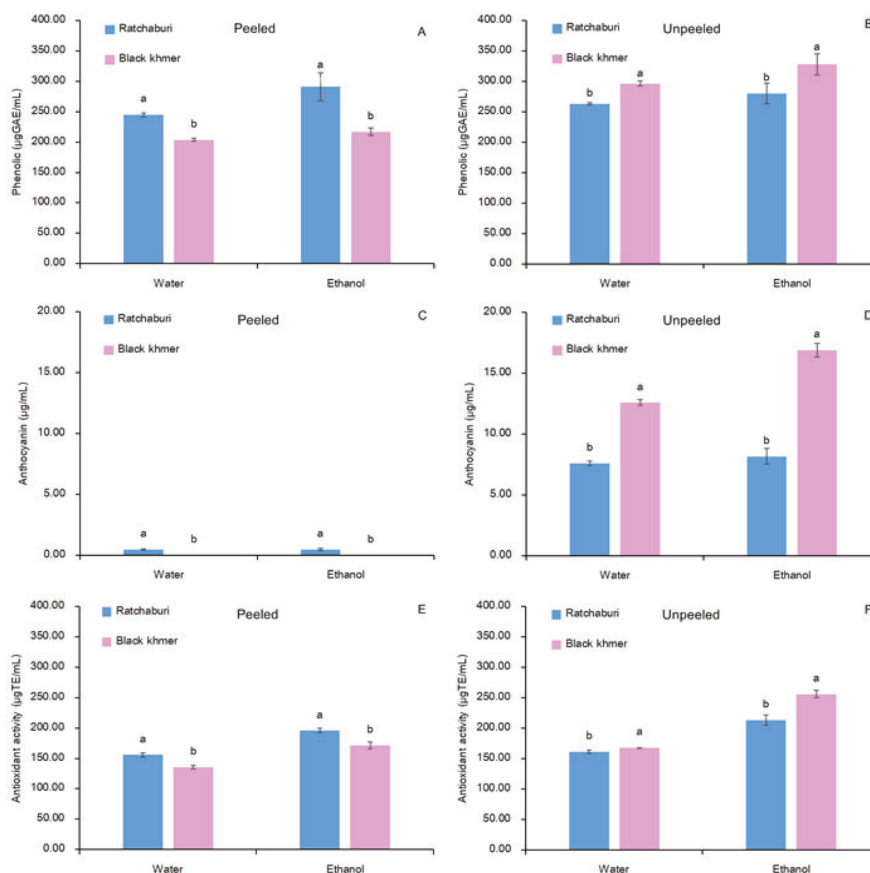


Figure 2 Comparison of phenolic content of peeled (A) and unpeeled (B), anthocyanin content of peeled (C) and unpeeled (D), and antioxidant activity of peeled (E) and unpeeled (F) sugarcane juices between extracted with water and ethanol from Ratchaburi and Black khmer genotypes. Error bars represent $\pm$ standard error of mean and different lowercase letters denote significant ($p < 0.05$) differences between black sugarcane genotypes

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในส่วนลำที่ผ่านการคั้นน้ำ

เมื่อพิจารณาปัจจัยของลักษณะตัวอย่างตัวทำละลายที่สกัด ส่วนของอ้อย และสายพันธุ์ พบว่าการสกัดตัวอย่างแห้งของลำที่ผ่านการคั้นน้ำด้วยตัว

ทำละลายเอทานอลได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใช้เป็นตัวทำละลาย (Table 2) โดยส่วนเปลือกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมาคือส่วนชานอ้อย และส่วนเนื้ออ้อยซึ่งต่ำที่สุด และยังพบความแตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างสายพันธุ์อ้อยดำ โดยสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารต่าง ๆ สูงกว่าสายพันธุ์ราชบุรี นอกจากนี้ ยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งในปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อประเมินปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และแอนโทไซยานินในส่วนเนื้อลำ เปลือกลำ และชานอ้อยของอ้อยดำแยกระหว่างการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำและเอทานอล แสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสายพันธุ์ราชบุรีทั้งในส่วนเปลือกและชานอ้อย ยกเว้นในส่วนเนื้อลำที่มีค่าต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน (Figure 3A–F) ส่วนเปลือกที่สกัดด้วยเอทานอลจากสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารสำคัญต่าง ๆ สูงที่สุด โดยมีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 6,937.50 µgGAE/gDW ปริมาณแอนโทไซยานิน 1,410.50 µg/gDW และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 3,860.04 µgTE/gDW ซึ่งมีค่าต่างจากการรายงานของ Zhao *et al.* (2018) ที่วิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในเปลือกอ้อยที่มีสีสีแดง พบว่า มีปริมาณแอนโทไซยานิน 110.6–132.0 µg/gDW (วิเคราะห์ด้วย HPLC) ปริมาณฟีนอลิกอิสระ (free phenolic) เท่ากับ 6.50–7.36 mgGAE/gDW ปริมาณสารสำคัญที่ต่างกันอาจเนื่องมาจากความแตกต่างของสายพันธุ์ สภาพการปลูก และวิธีการสกัดสาร เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณแอนโทไซยานินในส่วนเนื้อ ต่ำมากทั้งสายพันธุ์ราชบุรีและสายพันธุ์ดำเขมร (Figure 3C, D) แต่พบว่าส่วนเนื้ออ้อยยังมีสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 สายพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกไม่ได้พบที่เปลือกเพียงอย่างเดียว จากผลการทดลองแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟีนอลิกพบมากที่เปลือก แต่มีสารประกอบฟีนอลิกอื่นที่ไม่ใช่กลุ่มแอนโทไซยานินสะสมในส่วนเนื้ออ้อย ดังเช่นที่มีรายงานว่าพบสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก ได้แก่ p-coumaric acid, ferulic acid, p-hydroxybenzaldehyde, vanillin และ vanillic acid ในส่วนเนื้ออ้อย (Leal *et al.*, 1994)

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า วิธีการสกัดสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้าน

อนุมูลอิสระในส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วของอ้อยดำควรใช้ตัวอย่างแห้งและใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากสามารถสกัดสารสำคัญเหล่านี้ออกมาได้สูงที่สุด และยังพบสารเหล่านี้ในส่วนเปลือกสูงที่สุดอีกด้วย นอกจากนี้ ยังพบว่าสารเหล่านี้มีปริมาณแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ โดยในการสกัดด้วยการใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย อ้อยดำสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสายพันธุ์ราชบุรีทั้งในส่วนเปลือกและชานอ้อย แต่ในส่วนเนื้อ ลำสายพันธุ์ทั้งสองมีปริมาณสารทั้งสองชนิดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันมากนัก จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ในส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วของอ้อยดำสมุนไพร ยังคงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่สูงมาก จึงควรศึกษาหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วของอ้อยดำสมุนไพรต่อไป สอดคล้องกับการศึกษาของ Zheng *et al.* (2017) ที่พบว่า ในส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง อีกทั้งยังมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ α -glucosidase sucrase และ maltase ได้ในระดับสูงอีกด้วย นอกจากนี้ ยังพบสาร 5 ชนิด ในปริมาณสูง คือ tricin 4-O-guaiacylglyceryl ether-7-O-glucoryranoside, genistin, p-coumaric acid, quercetin และ genistein จากข้อมูลงานวิจัยนี้จึงบ่งชี้ว่าในส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วสามารถใช้เป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพสูง และใช้เป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าของสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรได้อีกด้วย นอกจากส่วนของน้ำอ้อยและลำหลังการคั้นน้ำแล้ว จากรายงานของ กัญญารัตน์ และประทีป (2561) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกของอ้อยดำพื้นเมืองเปรียบเทียบกับหญ้าเนเปียร์พันธุ์ปากช่อง 1 และอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ยังพบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกรวมในส่วนของใบมีค่ามากกว่าลำต้น โดยใบของอ้อยดำพื้นเมืองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุด แสดงว่า ส่วนของใบอ้อยดำยังมีคุณสมบัติที่ดีมีโอกาสนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย

Table 2 Phenolic, anthocyanin content and antioxidant activity in different cane samples, extractions, cane parts, and genotypes of black sugarcane.

	Phenolic ($\mu\text{gGAE/mL}$)	Anthocyanin ($\mu\text{g/mL}$)	Antioxidant activity ($\mu\text{gTE/mL}$)
Cane samples (CS)			
Fresh samples	1,274.90 b	55.96 b	1,158.20 b
Dry samples	2,733.10 a	247.33 a	1,788.80 a
F-test	**	**	**
Extractions (Ext)			
Water	1,630.90 b	83.05 b	1,352.70 b
Ethanol	2,377.10 a	220.24 a	1,594.30 a
F-test	**	**	**
Cane parts (CP)			
Flesh	937.30 c	3.90 c	787.50 c
Stalk bark	3,532.50 a	405.87 a	2,556.00 a
Bagasse	1,542.30 b	45.15 b	1,077.00 b
F-test	**	**	**
Genotypes (G)			
Ratchaburi	1,830.30 b	85.49 b	1,427.00 b
Black khmer	2,177.70 a	217.79 a	1,520.00 a
F-test	**	**	**
CS x Ext	**	**	**
CS x CP	**	**	**
G x CS	**	**	**
Ext x CP	**	**	*
G x Ext	**	**	ns
G x CP	**	**	**
CS x Ext x CP	**	**	**
G x CS x Ext	*	**	**
G x CS x CP	**	**	*
G x Ext x CP	*	**	*
G x CS x Ext x CP	ns	**	ns
C.V.	11.12	37.6	9.8
Mean	2,004.00	151.64	1,473.50

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by Least significant difference (LSD). ns, not significant at $P < 0.05$; *, significant for $P < 0.05$; **, significant for $P < 0.01$.

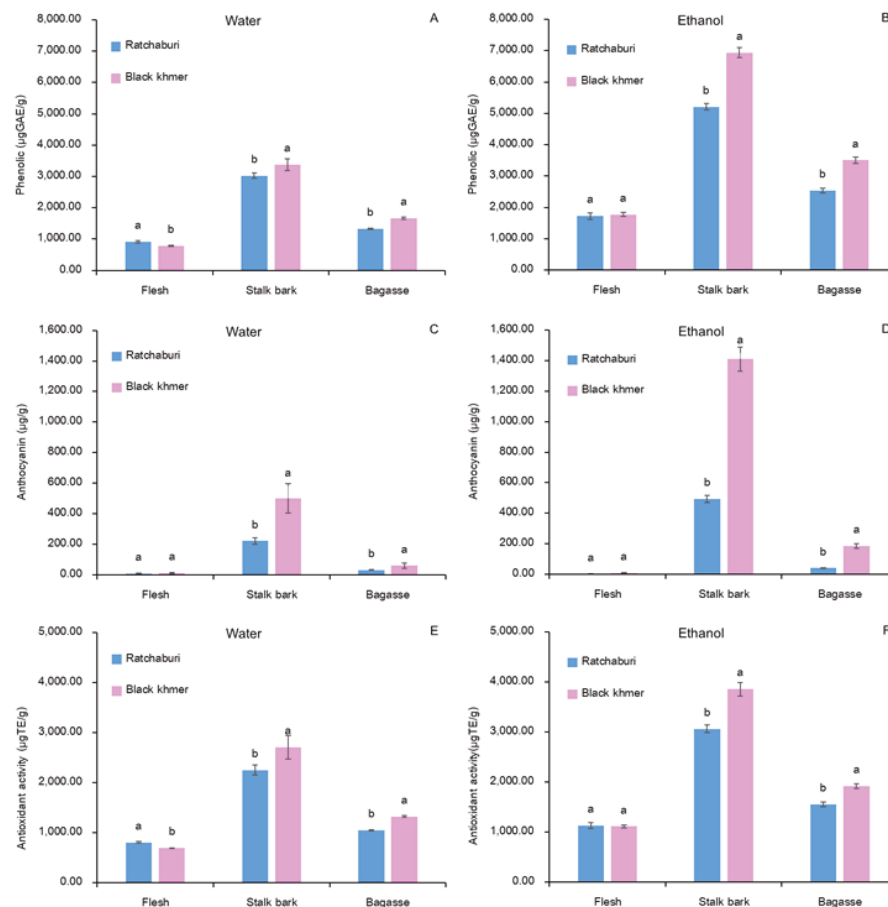


Figure 3 Comparison of phenolic content extracted with water (A) and ethanol (B), anthocyanin content extracted with water (C) and ethanol (D), and antioxidant activity extracted with water (E) and ethanol (F) in dry samples between pith, rind and bagasse of Ratchaburi and Black Khmer genotypes. Error bars represent $\pm$ standard error of mean and different lowercase letters denote significant ($p < 0.05$) differences between black sugarcane genotypes

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ อ้อยดำ

การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในส่วนน้ำอ้อย เปลือก ชานอ้อย และเนื้ออ้อย (Table 3) พบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ทั้งในน้ำอ้อย เนื้ออ้อย เปลือก และชานอ้อย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่าง 0.73** ถึง 0.97** และพบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และแอนโทไซยานินอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ทั้งในน้ำอ้อย เปลือก

และชานอ้อย โดยมีค่า r ระหว่าง 0.64** ถึง 0.92** แต่ไม่พบความสัมพันธ์ในส่วนของเนื้ออ้อย โดยมีค่า r เท่ากับ 0.29 นอกจากนี้ พบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างสารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานินอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ทั้งในน้ำอ้อย เปลือก และชานอ้อย โดยมีค่า r ระหว่าง 0.72** ถึง 0.90** แต่ไม่พบความสัมพันธ์ในส่วนของเนื้ออ้อย โดยมีค่า r เท่ากับ 0.28 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในส่วนของเปลือก มีค่าสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าส่วนเปลือก ชานอ้อย และน้ำอ้อย มีสารแอนโทไซยานินเป็นสารหลักในกลุ่มสารโพลีฟีนอลที่พบในอ้อยดำ และส่งผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

หากมีปริมาณสารหนึ่งสารใดสูงจะส่งผลให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย เมื่อพิจารณาส่วนเนื้ออ้อยพบเฉพาะความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกโดยมีค่า r เท่ากับ 0.82 สนับสนุนผลที่ว่าส่วนเนื้ออ้อยมีสารประกอบฟีนอลิกตัวอื่นที่ไม่ใช่แอนโทไซยานินที่มีฤทธิ์

ต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระยังถูกพบในพืชอื่น ๆ เช่น องุ่น บลูเบอร์รี่ และข้าวฟ่าง (Eliseu *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2019; Muzolf-Panek and Was'kiewicz, 2022) เป็นต้น

Table 3 Correlation coefficients (r) between phenolic, anthocyanin content and antioxidant activity in different cane parts of black sugarcane.

($n = 24$)

Cane parts	Phenolic & Antioxidant activity	Anthocyanin & Antioxidant activity	Phenolic & Anthocyanin
Sugarcane juices	0.73 **	0.64 **	0.72 **
Pith	0.82 **	0.29	0.28
Rind	0.97 **	0.92 **	0.90 **
Bagasse	0.90 **	0.73 **	0.85 **

** Significant at the 0.01 probability levels.

สรุป

เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ดีในการสกัดสารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานิน รวมทั้งสารต้านอนุมูลอิสระอื่น ๆ จากน้ำอ้อยและส่วนลำห้หลังคั้นน้ำของอ้อยดำเนื่องจากสามารถสกัดสารออกมาได้มากกว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย โดยในส่วนลำห้หลังคั้นน้ำควรเตรียมเป็นตัวอย่างแห้งเนื่องจากสามารถสกัดสารเหล่านี้ออกมาได้สูงสุด น้ำอ้อยที่ได้จากการคั้นน้ำจากลำที่ไม่ปอกเปลือกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าลำที่ปอกเปลือก ส่วนเปลือกมีสารแอนโทไซยานินเป็นสารหลักในกลุ่มสารโพลีฟีนอลที่พบในอ้อยดำ ส่วนเนื้ออ้อยมีสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นที่ไม่ใช่แอนโทไซยานิน ที่ส่งผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และพบว่าสายพันธุ์ดำเขมรมีปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสายพันธุ์ราชบุรี นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในอ้อยดำมีความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกทั้งในน้ำอ้อย เนื้ออ้อย เปลือก และขานอ้อย จากการศึกษาแสดงว่าในน้ำอ้อยและส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่ค่อนข้าง

สูง จึงควรมีการศึกษาเพื่อหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากน้ำอ้อยและส่วนของลำที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วของอ้อยดำสมุนไพรต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน และได้รับการสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านอ้อย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ขอขอบคุณภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรกำแพงแสน และศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย และขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร ที่ให้การสนับสนุนสายพันธุ์อ้อยที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

กัญญรัตน์ เหลืองประเสริฐ และประทีป อุปแก้ว.

2561. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของอ้อยดำพื้นเมืองสำหรับพัฒนาเป็นพืชอาหารสัตว์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 49(2)(พิเศษ): 137–140.

- คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2558. อ้อยดำ. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: https://pharmacy.su.ac.th/herbmed/herb/text/herb_detail.php?herbID=280 (16 ตุลาคม 2565).
- ไซตोनันต์ อินทุไสตระกุล. 2553. สมุนไพรไทยสำหรับงานสาธารณสุขมูลฐาน. กรุงเทพมหานคร. 354 หน้า.
- นิศารัตน์ ศิริวัฒนเมธานนท์. 2556. สารเคมีที่มีประโยชน์จากผักผลไม้ที่มีสีม่วงและสีน้ำเงิน. มหาวิทยาลัยมหิดล คณะเภสัชศาสตร์. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/152/> (16 ตุลาคม 2565).
- พงศธร โมธรรม. 2564. สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากขานอ้อยที่ผ่านการแยกส่วนด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม. 62 หน้า.
- พินิจ แจกอิน และโสธยา แก้วลา. 2556. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก. โครงการวิจัยคุรุศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. พิษณุโลก.
- รัตนภรณ์ จันทร์ทิพย์, นริศรา ไล่เลิศ, วิวัฒน์ หวังเจริญ, เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน และดวงพร อมรเลิศพิศาล. 2561. ผลของตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสาหร่ายโก. ใน: รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติประจำปี 2561 วันที่ 11-13 ธันวาคม 2561 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.
- อรุษา เขาวนลิขิต. 2554. การสกัดและวิธีการวิเคราะห์แอนโทไซยานิน. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) 3(6): 26-36.
- Afiqah, N., M. Murad, and E.M. Esah. 2018. Physicochemical, antioxidant and microbial properties of fresh black stem sugarcane juice with addition of calamansi juice. *Sains Malaysiana* 47: 2047-2054.
- Choi, S.C., J.M. Kim, Y.G. Lee and C. Kim. 2019. Antioxidant activity and contents of total phenolic compounds and anthocyanins according to grain colour in several varieties of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Cereal Research Communications* 47(2): 228-238.
- Duarte-Almeida, J.M., A.V. Novoa, A.F. Linares, F.M. Lajolo and M.I. Genovese. 2006. Antioxidant activity of phenolics compounds from sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) juice. *Plant Foods for Human Nutrition* 61(4): 187.
- Eliseu, R., P. Naira, I.I. Rockenbach, L.V. Gonzaga, C.R. Mendes and F. Roseane. 2012. Phenolic compounds and antioxidant activity of blueberry cultivars grown in Brazil. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 31(4): 911-917.
- Feng, Y., G. De Franceschi, A. Kahraman, M. Soste, A. Melnik, P.J. Boersema, P. P., de Laureto, Y. Nikolaev, A.P. Oliveira and P. Picotti. 2014. Global analysis of protein structural changes in complex proteomes. *Nature Biotechnology* 32(10): 1036-1044.
- Feng, S., Z. Luo, B. Tao and C. Chen. 2015. Ultrasonic-assisted extraction and purification of phenolic compounds from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) rinds. *LWT - Food Science and Technology* 60(2): 970-976.
- Leal, E.R., R.R. Vázquez and T. Galindo. 1994. Separation of phenolic compounds from sugarcane bagasse pith and their determination by HPLC. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 14(3): 369-382.

- Lee, J., R. Durst and R. Wrolstad. 2005. Aoac official method 2005.02: total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method. *In*: Horowitz, H. editor. Official methods of analysis of AOAC International. 18th edition. Washington D.C.:AOAC. 2005.02.
- Li, X., S. Yao, B. Tu, X. Li, C. Jia and H. Song. 2010. Determination and comparison of flavonoids and anthocyanins in Chinese sugarcane tips, stems, roots, and leaves. *Journal of Separation Science* 33(9): 1216–1223.
- Mohd-Esa, N., F.S. Hern, A. Ismail and C.L. Yee. (2010). Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts and potential exploitation of the seeds. *Food Chemistry* 122: 1055–1060.
- Muzolf-Panek, M. and A. Was'kiewicz, 2022. Relationship between phenolic compounds, antioxidant activity and color parameters of red table grape skins using linear ordering analysis. *Applied Sciences* 12: 6146.
- Pallavi, R., S. Elakkiya, S.S.R. Tennety and P.S. Devi. 2012. Anthocyanin analysis and its anticancer property from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) peel. *International Journal of Research in Pharmacy and Chemistry* 2(2): 338–345.
- Plat, J. and R.P. Mensink. 2001. Effects of plant sterols and stanols on lipid metabolism and cardiovascular risk. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases* 11(1): 31–40.
- Sittisart, P., B. Dunkhunthod and C. Chuea-nongthon. 2020. Antioxidant and anti-inflammatory activities of ethanolic extract from *Hoya kerrii* Craib. *Chiang Mai Journal of Science* 47(5): 912–925.
- Takara, K., K. Otsuka, K. Wada, H. Iwasaki and M. Yamashita. 2007. 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging activity and tyrosinase inhibitory effects of constituents of sugarcane molasses. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 71(1): 183–191.
- Zhao, Z., H. Yan, R. Zheng, M.S. Khan, X. Fu, Z. Tao and Z. Zhang. 2018. Anthocyanins characterization and antioxidant activities of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) rind extracts. *Industrial Crops and Products* 113: 38–45.
- Zheng, R., S. Su, H. Zhou, H. Yan, J. Ye, Z. Zhao, L. You and X. Fu. 2017. Antioxidant/antihyperglycemic activity of phenolics from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) bagasse and identification by UHPLC-HR-TOFMS. *Industrial Crops and Products* 101: 104–114.

ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเพิ่มปริมาณยอดทวี่คูณและการชักนำรากของบุกไข่ (*Amorphophallus muelleri* Blume)

Effects of Plant Growth Regulators on *In vitro* Shoot Multiplication and Root Induction of Elephant Foot Yam (*Amorphophallus muelleri* Blume)

เสาวนีย์ สารโจน^{1*}, นิพิช พินิจผล¹ และ รพีทัศน์ อุ่นจิตตพันธ์¹

Saowanee Saroj^{1*}, Niphit Pinitphon¹ and Rapeetouch Unjittphan¹

Received: October 22, 2025

Revised: December 17, 2025

Accepted: December 23, 2025

Abstract: Elephant Foot Yam (*Amorphophallus muelleri*) Blume is a high-potential economic crop, particularly in the food and health industries, due to its high content of glucomannan in the corm. However, conventional propagation methods using leaf-borne cormlets, underground corms, or rhizomes are limited by low propagation rates and long cultivation periods. This study aimed to develop an optimal culture medium by investigating the effects of types and concentrations of plant growth regulators on multiple shoot proliferation and root induction of *A. muelleri* under aseptic conditions to enhance its industrial-scale production. Shoot cluster were cultured on semi-solid MS medium supplemented with various concentrations of benzyladenine (BA), naphthaleneacetic acid (NAA), and indole-3-butyric acid (IBA) in a completely randomized design (CRD). The results revealed that MS medium supplemented with 1.0 mg/L BA combined with 0.05 mg/L NAA was most effective for multiple shoot proliferation, producing the highest average number of shoots (39.2 ± 0.5) with an average shoot length of 0.77 ± 0.02 cm, significantly different from other treatments. For root induction, MS medium supplemented with 1.0 mg/L IBA yielded the highest average number of roots (13.7 ± 0.4) and the longest average root length (2.14 ± 0.04 cm). These findings demonstrate the potential of tissue culture as an efficient propagation system for *A. muelleri*, supporting its application in large-scale industrial production.

Keywords: Auxin, Benzyladenine, Cytokinins, Root induction, Tissue culture

บทคัดย่อ: บุกไข่ (*Amorphophallus muelleri* Blume) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพสูง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารและสุขภาพ เนื่องจากหัวมีปริมาณกลูโคแมนแนน (glucomannan) สูง อย่างไรก็ตาม การขยายพันธุ์ด้วยวิธีทั่วไปโดยใช้หัวบนใบ หัวใต้ดิน หรือเหง้า ยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น อัตราการเพิ่มจำนวนต้นต่ำและใช้เวลานาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรอาหารที่เหมาะสม โดยศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเพิ่มปริมาณยอดทวี่คูณและการชักนำรากของบุกไข่ภายใต้สภาพปลอดเชื้อ การทดลองใช้กลุ่มยอดเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม benzyladenine (BA), naphthaleneacetic acid (NAA) และ indole-3-butyric acid (IBA) ในความเข้มข้นต่างๆ โดยออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ผลการทดลองพบว่า อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BA 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

¹กองขยายพันธุ์พืช กรมส่งเสริมการเกษตร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Plant Propagation Center, Department of Agricultural Extension, Chatuchak, Bangkok 10900

*Corresponding author: saowanee.saroj@gmail.com

มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มปริมาณยอดทวี่คุณ โดยให้จำนวนยอดเฉลี่ย 39.2 ± 0.5 ยอด และความยาวยอดเฉลี่ย 0.77 ± 0.02 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างจากสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม IBA 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพสูงสุดในการชักนำราก โดยให้จำนวนรากเฉลี่ย 13.7 ± 0.4 ราก และความยาวรากเฉลี่ย 2.14 ± 0.04 เซนติเมตร ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในการพัฒนาระบบขยายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: ออกซิน, เบนซิลอะดีนีน, ไซโทไคนิน, การชักนำราก, การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

คำนำ

บุกไข่ (*Amorphophallus muelleri* Blume) เป็นพืชล้มลุกในวงศ์ Araceae ที่มีศักยภาพทางเศรษฐกิจสูง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารและสุขภาพ (สำนักคุ้มครองพันธุ์พืช, 2562) เนื่องจากหัวของพืชมีปริมาณกลูโคแมนแนน (glucomannan) สูง ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีคุณสมบัติในการลดน้ำตาลและสร้างเจล สามารถใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด ตัวสร้างเจล และเป็นเส้นใยอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ (Widyastuti *et al.*, 2020; Sharma and Wadhwa, 2022) ปัจจุบัน ความต้องการผลิตภัณฑ์จากบุกไข่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในประเทศและต่างประเทศ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาการขยายพันธุ์หัวบุกที่มีประสิทธิภาพและปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ อย่างไรก็ตาม การขยายพันธุ์บุกไข่ด้วยวิธีทั่วไปโดยใช้หัวบนใบ หัวใต้ดินหรือเหง้า (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2565) ซึ่งพบว่ามีข้อจำกัดหลายประการ เช่น อัตราการเพิ่มจำนวนต้นต่ำ ใช้ระยะเวลานาน และมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากเชื้อโรคในดินหรือแมลงศัตรูพืช (Suryanto *et al.*, 2019)

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นเทคโนโลยีการขยายพันธุ์พืชที่มีประสิทธิภาพและถูกใช้อย่างแพร่หลาย สามารถผลิตขยายพันธุ์พืชได้ในปริมาณมาก ในระยะเวลารวดเร็ว ต้นพืชที่ได้มีพันธุกรรมเหมือนต้นแม่ และมีความสม่ำเสมอ (Sahu *et al.*, 2018) มีรายงานการศึกษาในบุกบางชนิด เช่น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบุกไข่ จากส่วนหัวบนใบ พบว่าอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดยอดได้สูงสุด 8.8 ยอด หลังจากเพาะเลี้ยง

เป็นเวลา 30 วัน และการชักนำให้เกิดรากบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม IBA ความเข้มข้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดรากได้ 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวนรากเฉลี่ย 2.5 ราก และความยาวรากเฉลี่ย 2.95 เซนติเมตร (ยุพา และคณะ, 2543) และมีการศึกษาการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตร่วมกันในการชักนำยอดจากแคลลัสของบุกคางคก (*Amorphophallus paeoniifolius* Dennst.) พบว่าอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดยอดได้สูงสุด 95.87 เปอร์เซ็นต์ จำนวนยอดเฉลี่ย 22.0 ยอด ความยาวยอด 6.17 เซนติเมตร และพบว่าอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BA ความเข้มข้น 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดรากได้สูงสุด 60.30 เปอร์เซ็นต์ จำนวนรากเฉลี่ย 8.55 ราก ความยาวรากเฉลี่ย 3.81 เซนติเมตร (Kamala and Makesh Kumar, 2014) อย่างไรก็ตามการตอบสนองต่อชนิดและความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตแตกต่างกันไปในบุกแต่ละสปีชีส์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรอาหารที่เหมาะสม โดยศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณยอดทวี่คุณและการชักนำรากของบุกไข่ (*Amorphophallus muelleri* Blume) ภายใต้สภาพปลอดเชื้อ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตบุกไข่ในเชิงอุตสาหกรรม

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเพิ่มปริมาณยอดทวีคูณของบุกไข่

นำกลุ่มยอดที่ได้จากการชักนำยอดบนอาหารกึ่งแข็งสูตร Murashige and Skoog (MS) ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคัดเลือกกลุ่มยอดที่มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 0.3 เซนติเมตร จากนั้นตัดแต่งให้แต่ละกลุ่มมียอดเริ่มต้นจำนวน 5 ยอด นำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต ได้แก่ BA ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียว และ BA ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยอาหารทุกสูตรเติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร ผงวุ้น 7 กรัมต่อลิตร นึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไออนุหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที แบ่งกรรมวิธีทดลองออกเป็น 5 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 อาหารกึ่งแข็งสูตร MS เติม BA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 3 อาหารกึ่งแข็งสูตร MS เติม BA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 4 อาหารกึ่งแข็งสูตร MS เติม BA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 5 อาหารกึ่งแข็งสูตร MS เติม BA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ขึ้น เพาะเลี้ยงในสภาพที่ให้แสงสว่างวันละ 16 ชั่วโมง ความเข้มแสง 3,000-4,000 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน ทำการบันทึกข้อมูลจำนวนรากและความยาวราก จากนั้นนำข้อมูลไปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

2. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำรากของบุกไข่

ตัดแยกต้นบุกไข่ที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นสูตรอาหารเดียวกับการเตรียมกลุ่มยอดเริ่มต้นสำหรับการทดลองที่ 1 โดยตัดแต่งให้แต่ละต้นมียอดจำนวน 1 ยอด และมีความสูงไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร นำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต ได้แก่ NAA และ IBA ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยอาหารทุกสูตรเติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร ผงวุ้น 7 กรัมต่อลิตร นึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไออนุหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที แบ่งกรรมวิธีทดลองออกเป็น 5 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 5 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 อาหารกึ่งแข็งสูตร MS เติม NAA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 3 อาหารกึ่งแข็งสูตร MS เติม NAA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 4 อาหารกึ่งแข็งสูตร MS เติม IBA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรมวิธีที่ 5 อาหารกึ่งแข็งสูตร MS เติม IBA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ขึ้น เพาะเลี้ยงในสภาพที่ให้แสงสว่างวันละ 16 ชั่วโมง ความเข้มแสง 3,000-4,000 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน ทำการบันทึกข้อมูลจำนวนรากและความยาวราก จากนั้นนำข้อมูลไปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ผลการทดลอง

1. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเพิ่มปริมาณยอดหัวของบุกไข่

อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำจำนวนยอดหัวคุณเฉลี่ยได้สูงสุด 39.2 ± 0.5 ยอด ความยาวยอดเฉลี่ย 0.77 ± 0.02 เซนติเมตร แตกต่างจากสูตรอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 1) รองลงมาคือ BA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำจำนวนยอดหัวคุณเฉลี่ย 27.5 ± 0.4 ยอด ความยาวยอดเฉลี่ย 0.19 ± 0.02 เซนติเมตร ในขณะที่อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.0 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียว สามารถชักนำจำนวนยอดหัวคุณเฉลี่ยได้เพียง 19.2 ± 0.2 และ 14.3 ± 0.3 ยอด ตามลำดับ (Table 1) เมื่อพิจารณาลักษณะยอด พบว่า อาหารกึ่งแข็ง สูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร มียอดที่แข็งแรง ไม่แคระแกร็น ไม่พบอาการ

จ้ำน้ำ และให้ยอดที่มีความยาวยอดค่อนข้างสม่ำเสมอ (Table 1, Figure 1E) ในขณะที่อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียว มียอดสั้น ไม่ยืดยาว และพบอาการจ้ำน้ำของเนื้อเยื่อในกลุ่มยอด (Table 1, Figure 1C)

2. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำรากของบุกไข่

นำต้นบุกที่ได้จากการชักนำยอดในอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม NAA และ IBA ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1 เดือน พบว่าอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม IBA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำรากเฉลี่ยได้สูงสุด 13.7 ± 0.4 ราก ความยาวรากเฉลี่ย 2.14 ± 0.04 เซนติเมตร (Table 2, Figure 2E) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับสูตรอาหารอื่นที่เหลือ ในขณะที่อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม IBA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำรากเฉลี่ยได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 2, Figure 2C, Figure 2D)

Table 1 Shoot multiplication of elephant foot yam (*Amorphophallus muelleri* Blume) on solid MS medium supplemented with various concentrations of BA, and NAA cultured for one month.

BA (mg/L)	NAA (mg/L)	Shoot No.	Shoot length (cm)
-	-	10.0 ± 0.3^e	0.82 ± 0.02^a
0.5	-	14.3 ± 0.3^d	0.58 ± 0.02^b
1.0	-	19.2 ± 0.2^c	0.21 ± 0.02^c
0.5	0.05	27.5 ± 0.4^b	0.19 ± 0.02^c
1.0	0.05	39.2 ± 0.5^a	0.77 ± 0.02^a
F-Test		*	*
CV (%)		47.76	54.32

^{1/} Values are mean (n =10). Means followed by the same letters are not significantly different at P=0.05 by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

Table 2 Root induction of elephant foot yam (*Amorphophallus muelleri* Blume) on solid MS medium supplemented with various concentrations of NAA, and IBA cultured for one month.

NAA (mg/L)	IBA (mg/L)	Root No.	Root length (cm)
-	-	0.0 ± 0.0^d	0.00 ± 0.00^e
0.5	-	4.0 ± 0.2^c	0.33 ± 0.02^d
1.0	-	7.7 ± 0.2^b	1.26 ± 0.05^b
-	0.5	8.3 ± 0.2^b	1.05 ± 0.02^c
-	1.0	13.7 ± 0.4^a	2.14 ± 0.04^a
F-Test		*	*
CV (%)		66.88	74.03

^{1/} Values are mean (n =10). Means followed by the same letters are not significantly different at P=0.05 by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).



Figure 1 Multiple shoots of elephant foot yam (*Amorphophallus muelleri* Blume) on solid MS medium supplemented with various concentrations of BA, and NAA cultured for one month: (A) MS free plant growth regulator (Control), (B) 0.5 mg/L BA, (C) 1.0 mg/L BA, (D) 0.5 mg/L BA+0.05 mg/L NAA, (E) 1.0 mg/L BA+0.05 mg/L NAA (bar = 1 cm)

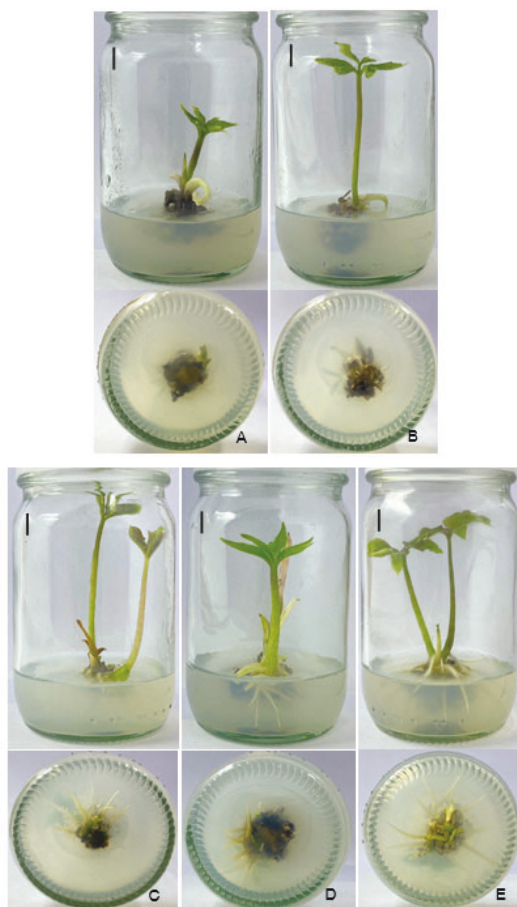


Figure 2 Root induction of elephant foot yam (*Amorphophallus muelleri* Blume) on solid MS medium supplemented with various concentrations of NAA, and IBA cultured for one month: A) MS free plant growth regulator (Control), B) 0.5 mg/L NAA, C) 1.0 mg/L NAA, D) 0.5 mg/L IBA, E) 1.0 mg/L IBA (bar = 1 cm)

วิจารณ์

1. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเพิ่มปริมาณยอดทิวของบุกไข่

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดจำนวนยอดทิวของบุกไข่เฉลี่ยสูงสุด 39.2 ± 0.5 ยอด และมีความยาวยอดเฉลี่ย 0.77 ± 0.02 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างจากสูตรอาหารอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลดังกล่าวสนับสนุนหลักการทางสรีรวิทยาของพืชที่ระบุว่า BA มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์และการสร้างยอดใหม่ ใน

ขณะที่การใช้ NAA ในระดับต่ำช่วยส่งเสริมการแบ่งเซลล์โดยไม่รบกวนทิศทางการพัฒนาไปสู่การเกิดยอด (Ario and Setiawan, 2020; Kurepa and Smalle, 2022) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ แม้ผลการทดลองในงานวิจัยนี้จะสอดคล้องกับกลไกการควบคุมการเกิดอวัยวะของพืชผ่านอัตราส่วน BA ต่อ NAA แต่ให้ผลในเชิงประสิทธิภาพสูงกว่าอย่างชัดเจน (George *et al.*, 2008) โดยมีรายงานว่า การเพาะเลี้ยงแคลลัสบุกคางคกบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ย 22.0 ยอด (Kamala and Makesh Kumar, 2014) ขณะที่การใช้ BA ความเข้มข้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยเพียง 2.0 ยอด ซึ่งต่ำกว่าผลการทดลองในงานวิจัยนี้ แม้ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตในความเข้มข้นที่สูงกว่า (Paul *et al.*, 2013) ความแตกต่างดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ BA และ NAA ไม่ได้ส่งผลให้จำนวนยอดเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนเสมอไป และอาจก่อให้เกิดผลยับยั้งจากการรบกวนสมดุลของฮอร์โมนภายในเนื้อเยื่อพืช นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การใช้ BA ร่วมกับ NAA ในระดับความเข้มข้นที่สูงเหมาะสมต่อการชักนำการสร้างหัว (micro-tuber) ของบุกไข่มากกว่าการเพิ่มจำนวนยอด (Thepsithar *et al.*, 2016) ขณะที่การใช้ BA เพียงอย่างเดียวที่ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยเพียง 11.0 ยอด (Ibrahim *et al.*, 2020) ซึ่งต่ำกว่าผลการทดลองในงานวิจัยนี้ อย่างชัดเจน

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าในเชิงหลักการและกลไกการออกฤทธิ์ของสารควบคุมการเจริญเติบโต แต่แตกต่างและโดดเด่นในเชิงประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ยังชี้ให้เห็นว่าการตอบสนองต่อ BA และ NAA อาจขึ้นกับชนิดพืช ชนิดและระยะพัฒนาของชิ้นส่วนพืช รวมถึงอัตราส่วนและความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโต การควบคุมอัตราส่วนของ BA ต่อ NAA ให้เหมาะสม โดยเฉพาะการใช้ NAA ในความเข้มข้นต่ำ จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มจำนวนยอดทวีคูณของบุกไขได้ดีกว่าการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตในความเข้มข้นสูง

2. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำรากของบุกไข

จากการศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำรากของบุกไข พบว่า อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม IBA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำการเกิดรากของบุกไขได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และให้จำนวนรากเฉลี่ย 13.7 ± 0.4 ราก ซึ่งสูงกว่ารายงานการศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบุกไขบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม IBA ความเข้มข้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแม้จะให้อัตราการเกิดราก 100 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกัน แต่ให้จำนวน

รากเฉลี่ยเพียง 2.5 ราก และมีความยาวรากเฉลี่ย 2.95 เซนติเมตร (ยุพา และคณะ, 2543) ความแตกต่างดังกล่าวอาจสะท้อนถึงความแตกต่างของการตอบสนองต่อออกซินที่เกี่ยวข้องกับสมดุลของสารควบคุมการเจริญเติบโตภายในของเนื้อเยื่อเริ่มต้น ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีแนวโน้มทำให้เนื้อเยื่อมีระดับไซโตไคนินภายในสูง ส่งผลต่ออัตราส่วนออกซินต่อไซโตไคนิน (auxin-to-cytokinin ratio) ที่อาจไม่เอื้อต่อการชักนำรากในระยะเริ่มต้น แม้จะมีการเติม IBA ในความเข้มข้นสูงก็ตาม ในทางตรงกันข้ามงานวิจัยนี้ใช้ยอดที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นต่ำกว่า ส่งผลให้มีอัตราส่วนออกซินต่อไซโตไคนินเหมาะสมต่อการชักนำรากของบุกไข จึงส่งผลให้สามารถตอบสนองต่อ IBA ในความเข้มข้นต่ำได้ดี

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาที่รายงานว่า การใช้ IBA ความเข้มข้น 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำการเกิดรากของบุกคางคก ได้จำนวนรากเฉลี่ยสูงถึง 20.9 ราก และมีความยาวรากเฉลี่ย 5.07 เซนติเมตร พบว่าผลการทดลองในงานวิจัยนี้ ให้จำนวนรากต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการตอบสนองต่อ IBA ยังคงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยความแตกต่างเชิงปริมาณดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากความแตกต่างของชนิดพืช ซึ่งมีลักษณะทางสรีรวิทยา ความสามารถในการดูดซึม และกระบวนการเมแทบอลิซึมของออกซินแตกต่างกัน รวมถึงความแตกต่างของชนิดชิ้นส่วนพืชที่ใช้ในการทดลอง (Kamala and Makesh Kumar, 2014)

นอกจากนี้จากผลการศึกษา ยังพบว่า การใช้ IBA สามารถชักนำการเกิดรากของบุกไขได้ดีกว่า NAA ซึ่งสอดคล้องกับรายงานในพืชหลายชนิดที่รายงานว่า IBA มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการออกรากสูงกว่า NAA (Tien *et al.*, 2020; Yasmin *et al.*, 2022) ความแตกต่างดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากกลไกการออกฤทธิ์ของออกซินทั้งสองชนิด โดย IBA ทำหน้าที่เสมือนแหล่งสะสมของออกซินในรูปแบบที่มีการปลดปล่อยอย่างช้า (slow-release reservoir)

และสามารถถูกเปลี่ยนไปเป็น indole-3-acetic acid (IAA) ซึ่งเป็นรูปแบบของออกซินที่พืชสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง ส่งผลให้การกระตุ้นการเกิดรากเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพมากขึ้น ทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดพิษจากฮอร์โมนในระยะเริ่มต้นและเอื้อต่อการงอกและการแทงราก (root emergence)

ในทางตรงกันข้าม NAA ซึ่งเป็นออกซินสังเคราะห์สามารถออกฤทธิ์ได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึม ทำให้เกิดการตอบสนองอย่างรวดเร็วในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์ อย่างไรก็ตามการออกฤทธิ์ที่รวดเร็วและการสะสมของออกซินในระดับสูงในระยะเริ่มต้นอาจส่งผลให้เกิดการยับยั้งการแทงราก หรือรบกวนการจัดระเบียบของเนื้อเยื่อราก ส่งผลให้การออกรากลดลงหรือเกิดรากที่ไม่สมบูรณ์ (Fogaca and Fett-Neto, 2005)

ดังนั้น ผลการทดลองในงานวิจัยนี้จึงมีความสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ในเชิงแนวโน้มและกลไกการออกฤทธิ์ของ IBA ต่อการชักนำราก และชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของ IBA ที่เหมาะสมมีความจำเพาะต่อชนิดของบุกและชนิดของชิ้นส่วนบุกไข่

สรุป

จากการศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเพิ่มปริมาณยอดทวี่คุณและการชักนำรากของบุกไข่พบว่า อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มปริมาณยอดทวี่คุณเฉลี่ยได้สูงสุด 39.2 ± 0.5 ยอด ความยาวยอดเฉลี่ย 0.77 ± 0.02 เซนติเมตร และอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม IBA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำรากเฉลี่ยได้สูงสุด 13.7 ± 0.4 ราก ความยาวรากเฉลี่ย 2.14 ± 0.04 เซนติเมตร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ขยายพันธุ์พืชที่ 8 จังหวัดลำพูน ที่ให้ความอนุเคราะห์หีบห่อสำหรับใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- สถาบันวิจัยพืชสวน. 2565. การผลิตบุก. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร. 20 หน้า.
- สำนักคุ้มครองพันธุ์พืช. 2562. การใช้ประโยชน์จากฐานชีวภาพของพืชสกุลบุกในพื้นที่ของผาภูมิ. เกินคุ้ม มีเดีย, นนทบุรี. 38 หน้า.
- ยุพา มงคลสุข พัทธราวุธ วัฒนวิทย์กิจ สุธี ต้นสกุล วิเศษลักษณ์ พงษ์จันทร์. 2543. การขยายพันธุ์บุกเพื่อการปลูกแบบอุตสาหกรรมด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากหวั่นใบ. หน้า 382-386. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38, กรุงเทพมหานคร.
- Ario, A. and S. Setiawan. 2020. The effect of benzyl amino purine (BAP) concentration on the growth amount of the explant of dendrobium spectabile orchid by *in-vitro*. International Journal of Multi Discipline Science 3(2): 33-38.
- Fogaca, C. M. and A.G, Fett-Neto. 2005. Role of auxin and its modulators in the adventitious rooting of Eucalyptus species differing in recalcitrance. Plant Growth Regulation 45(1): 1-10.
- George, E.F., M.A. Hall and G.J De Klerk. 2008. Plant propagation by tissue culture 3rd Edition. The Netherland, The Back Ground Springer. 479 p.
- Ibrahim, M.S.D., I. Sulistiyorini and C. Tresniawati. 2022. Effect of 6-benzyl amino purine on the multiplication ability of shoots of various sizes of porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) bulbils. In: IOP Conference Series: Earth and environmental science. Washington State Convention Center, Seattle, United States.

- Kamala, S. and T. Makeshkumar. 2014. Optimization of in vitro regeneration and microcorm induction in elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*). African Journal of Biotechnology 13(49): 4508-4514.
- Kurepa, J. and J.A. Smalle. 2022. Auxin/cytokinin antagonistic control of the shoot/root growth ratio and its relevance for adaptation to drought and nutrient deficiency stresses. International Journal of Molecular Sciences 23(4): 2-15.
- Paul, K.K., M.A.Bari, S.M.S. Islam and S.C. Debnath. 2013. *In vitro* shoot regeneration in elephant foot yam, *Amorphophallus campanulatus* Blume. Plant Tissue Culture and Biotechnology 23(1): 121-126.
- Sahu, K.C.K., D. Kaladhar and S.A. Belorkar. 2018. A rapid in vitro propagation of Bambusa balcooa by plant tissue culture technique. Research & Reviews: A Journal of Biotechnology 8(1): 27-31.
- Sharma, S. and N. Wadhwa. 2022. Application of glucomannan. Journal of Pharmacology and Pharmaceutical Research 21(38): 1-5.
- Suryanto, E., L. Widiyastuti and E. Sulistyaningsih. 2019. Constraints and prospects in *Amorphophallus* cultivation. Agricultural Sciences Journal 11(2): 102-110.
- Thepsithar, C., K. Obsuwan, A. Thongpukdee and N. Pasokchart. 2016. Micro-tuber induction of elephant yam (*Amorphophallus oncophyllus*). Veridian E-journal Science and Technology Silpakorn University 3(6): 275-284.
- Tien, L.H., L.D. Chac, L.T.L. Oanh, P.T. Ly, H.T. Sau, N. Hung, V.Q. Thanh, R.V. Doudkin and B.B. Thinh. 2020. Effect of auxins (IAA, IBA and NAA) on clonal propagation of *Solanum procumbens* stem cuttings. Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology 21(55-56): 113-120.
- Widiyastuti, L., E. Suryanto and B. Prasetyo. 2020. Glucomannan production potential in *Amorphophallus* species. International Journal of Agricultural Research 15(1): 14-21.
- Yasmin, S., M.J. Hasan, M.S. Hossain, S. Saha and F. Khatun. 2022. Auxin and cytokinin synergism in micropropagation for mass production of Aloe vera. BioTechnologia 103(3): 301-310.

การพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกมะพร้าวและผลิตภัณฑ์ของประเทศไทย ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

Forecasting the Export Volumes and Prices of Thailand's Coconut and Coconut Product
Using the Box-Jenkins Method

ชิตชนก เล็กขาว¹ เจริมพล จตุพร^{1*} และวสุ สุวรรณวิหค¹
Chidchanok Lekkao¹, Chalermpon Jatuporn^{1*} and Vasu Suwanvihok¹

Received: December 16, 2024

Revised: March 19, 2025

Accepted: March 24, 2025

Abstract: The objective of this study is to forecast the export volume and prices of mature coconut and coconut milk of Thailand. Monthly time series data on the export volume and prices of mature coconut and coconut milk were utilized, with forecasts made using the Box-Jenkins methodology. This approach includes four key steps: (1) model identification using the Augmented Dickey-Fuller (ADF) unit root test and correlogram diagram, (2) parameter estimation via the maximum likelihood method, (3) diagnostic checking using the Ljung-Box statistic (Q_{LB}), and (4) forecasting data up to December 2025. The findings indicate that the best fitted models for forecasting the export volume and prices of mature coconut are SARIMA(1,1,1)(0,1,1)₁₂ and SARIMA(1,1,1)(0,1,1)₁₂, respectively. For coconut milk, the best fitted models are SARIMA(7,1,2)(0,1,1)₁₂ for export volume and SARIMA(5,1,6)(0,1,1)₁₂ for export prices. Forecasts for 2025 reveal an upward trend in export volumes for both mature coconut and coconut milk, increasing by 0.96% and 2.70%, respectively. Similarly, export prices for mature coconut and coconut milk are expected to rise by 9.85% and 3.09%, respectively.

Keywords: Coconut export, Coconut milk, Forecasting, Mature coconut

บทคัดย่อ: การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่และกะทิของประเทศไทย ใช้ข้อมูลอนุกรมเวลารายเดือนของปริมาณและราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่และกะทิ และพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การตรวจสอบรูปแบบพยากรณ์เบื้องต้น ด้วยวิธี Augmented Dickey-Fuller (ADF) unit root และแผนภาพคอรีโลแกรม (2) การประมาณค่าพารามิเตอร์ ด้วยวิธี ภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (3) การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ ด้วยวิธี สถิติ Ljung-Box (Q_{LB}) และ (4) การพยากรณ์ข้อมูลจนถึงเดือนธันวาคม 2568 ผลการศึกษา พบว่าตัวแบบพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่ คือ SARIMA(1,1,1)(0,1,1)₁₂ และ SARIMA(1,1,1)(0,1,1)₁₂ ตามลำดับ และตัวแบบพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกกะทิคือ SARIMA(7,1,2)(0,1,1)₁₂ และ SARIMA(5,1,6)(0,1,1)₁₂ สำหรับการพยากรณ์ในปี พ.ศ. 2568 พบว่า ปริมาณส่งออกมะพร้าวผลแก่และกะทิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.96 และร้อยละ 2.70 ตามลำดับ ในขณะที่ราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่และกะทิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกันร้อยละ 9.85 และร้อยละ 3.09 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การส่งออกมะพร้าว, กะทิ, การพยากรณ์, มะพร้าวผลแก่

¹สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จ.นนทบุรี 11120

¹School of Economics, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi 11120

*Corresponding author: Chalermpon.Jat@stou.ac.th

คำนำ

มะพร้าวเป็นพืชที่มีคุณประโยชน์หลากหลายและถือเป็นหนึ่งในสินค้าเกษตรที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยสามารถนำทุกส่วนของมะพร้าวมาใช้ประโยชน์ได้ หากเป็นมะพร้าวผลแก่ เนื้อมะพร้าวสามารถนำไปผลิตน้ำกะทิหรือมะพร้าวชูดเพื่อใช้ในการปรุงอาหารและขนมหลากหลายชนิด อีกทั้งยังสามารถสกัดเป็นน้ำมันมะพร้าวได้นอกจากนี้ กากที่เหลือจากการคั้นกะทียังสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้อีกด้วย มะพร้าวมีถิ่นกำเนิดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะบริเวณแหลมมลายูและหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิกตอนใต้ ก่อนถูกนำไปปลูกในพื้นที่ที่เหมาะสมทั่วโลก (อรรถวรรณ, 2559) มะพร้าวเริ่มให้ผลผลิตได้หลังการปลูก 3-5 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์สำหรับมะพร้าวผลแก่ ได้มีการจัดทำมาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ. 18-2554) เพื่อรองรับการผลิตและการค้า พันธุ์มะพร้าวที่นิยมปลูกเพื่อการค้าและให้ผลผลิตที่เหมาะสมสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ มะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง มะพร้าวพันธุ์สวีลูกผสม 1 มะพร้าวพันธุ์ชุมพวลูกผสม 60 มะพร้าวพันธุ์ลูกผสมชุมพร 2 และมะพร้าวพันธุ์กะทิลูกผสมชุมพร 84-1 และ 84-2 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555)

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตมะพร้าวอันดับที่ 10 ของโลก โดยมีปริมาณผลผลิตคิดเป็นร้อยละ 1.08 ของโลก (FAO, 2024) และเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มะพร้าวรายใหญ่อันดับ 3 รองจากฟิลิปปินส์และอินโดนีเซีย โดยมีส่วนแบ่งการตลาดผลิตภัณฑ์มะพร้าวอยู่ที่ร้อยละ 12.6 ในปี พ.ศ. 2565 (สถาบันอาหาร, 2565) อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมมะพร้าวในประเทศไทยยังคงเผชิญกับความท้าทายหลายประการ อาทิ การผลิตที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการสวนมะพร้าวส่วนใหญ่มีต้นมะพร้าวอายุมาก การปลูกในพื้นที่ไม่เหมาะสม การระบาดของศัตรูพืช และผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ส่งผลให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ อีกทั้งบางพื้นที่เกษตรกรไม่เก็บเกี่ยวผลผลิตเนื่องจากต้นมะพร้าวมีความสูงทำให้เก็บเกี่ยวได้ยาก ในขณะเดียวกัน ความต้องการใช้มะพร้าว

ในภาคอุตสาหกรรมเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ต้องมีการนำเข้าเพื่อให้เพียงพอ ภาครัฐจึงต้องการข้อมูลเชิงลึกเพื่อใช้ในการตัดสินใจจัดทำนโยบายที่สามารถสร้างสมดุลระหว่างปริมาณผลผลิตและความต้องการใช้งาน การพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกมะพร้าวและผลิตภัณฑ์จึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2560)

การพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถให้ผลการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูง ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกน้ำมันปาล์มดิบ (จิรัฐา และคณะ, 2564) การพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกมะม่วง (ลำเพยพรรณ และคณะ, 2565) การพยากรณ์ปริมาณส่งออกถั่วและถั่วป่นไปประเทศญี่ปุ่น (ภัทรินิธิ และคณะ, 2565) การพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกทุเรียน (Rueangrit et al., 2020) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยในครั้งนี้จึงเลือกใช้เทคนิคการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์หรือที่เรียกว่า ตัวแบบ Autoregressive Integrated Moving Average หรือ ARIMA(p,d,q) ในการพยากรณ์ปริมาณและราคามะพร้าว รวมถึงผลิตภัณฑ์มะพร้าวของประเทศไทย ผลการวิจัยที่ได้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อกลุ่มผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น เกษตรกร ภาครัฐ ธุรกิจเอกชน และผู้ส่งออกมะพร้าวและผลิตภัณฑ์ของประเทศไทย โดยสามารถนำข้อค้นพบจากการวิจัยไปใช้สนับสนุนการวางแผนและการบริหารจัดการความต้องการใช้มะพร้าวและผลิตภัณฑ์ในประเทศได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ข้อมูลและตัวแปร

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลอนุกรมเวลารายเดือนของปริมาณส่งออก (Q) และราคาส่งออกโดยเป็นราคา FOB (P) สำหรับมะพร้าวผลแก่และกะทิ โดยสืบค้นข้อมูลจากศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ร่วมกับกรมศุลกากรสำหรับข้อมูลมะพร้าวผลแก่ ครอบคลุมช่วงเดือน

มกราคม 2560 ถึงมิถุนายน 2567 รวมทั้งสิ้น 90 เดือน ส่วนข้อมูลกะทิ ครอบคลุมช่วงเดือน มกราคม 2555 ถึงมิถุนายน 2567 รวมทั้งสิ้น 150 เดือน อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล จำกัดด้านการจัดเก็บข้อมูล ทำให้ระยะเวลาของข้อมูล มะพร้าวผลแก่และกะทิไม่เท่ากัน แม้จะมีข้อจำกัดดังกล่าว ผู้วิจัยได้รวบรวมและนำข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ มาใช้เพื่อการพยากรณ์ในขั้นตอนถัดไป

2. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การพยากรณ์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางอนุกรมเวลา ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box and Jenkins, 1970) หรือเรียกว่าตัวแบบ ARIMA(p,d,q) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลทางการเกษตรมักได้รับอิทธิพลของฤดูกาล (Season) ด้วยเหตุนี้ จึงประยุกต์ใช้ตัวแบบ Seasonal ARIMA เพื่อใช้ในการพยากรณ์

ปริมาณและราคาส่งออกของมะพร้าวผลแก่และกะทิ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมต่อการพยากรณ์ชุดอนุกรมเวลาที่มีองค์ประกอบแนวโน้ม (Trend Component) และองค์ประกอบฤดูกาล (Seasonal Component) สำหรับตัวแบบ SARIMA มีองค์ประกอบ จำนวน 7 รูปแบบ ได้แก่ (1) autoregressive process หรือ AR(p) (2) seasonal AR process หรือ SAR(P) (3) non-seasonal order of integration หรือ I(d) (4) seasonal order of integration หรือ I(D) (5) moving average process หรือ MA(q) (6) seasonal MA process หรือ SMA(Q) และ (7) seasonal frequency หรือ s หรือเขียนเป็นตัวแบบ SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)12 และสามารถแสดงเป็นโครงสร้างแบบจำลองได้ดังนี้

$$\phi_p(B)\Phi_p(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \alpha_0 + \theta_q(B)\Theta_q(B^s)\varepsilon_t$$

โดยกำหนดให้ Y คือ ปริมาณและราคาส่งออก, α_0 คือ ค่าคงที่, $\phi_p(B)$ คือ ค่าของตัวแบบ AR แบบไม่มีฤดูกาล ณ ลำดับที่ p, $\Phi_p(B^s)$ คือ ค่าของตัวแบบ AR แบบมีฤดูกาล ณ ลำดับที่ P, d และ D คือ ลำดับของผลต่าง (Differencing order) แบบไม่มีฤดูกาลและมีฤดูกาล ตามลำดับ, $\theta_q(B)$ คือ ค่าของตัวแบบ MA แบบไม่มีฤดูกาล ณ ลำดับที่ q, $\Theta_q(B^s)$ คือ ค่าของตัวแบบ MA แบบมีฤดูกาล ณ ลำดับที่ Q, ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อน, B คือ ตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward Operator) โดย $B^s Y_t = Y_{t-s}$ และ t คือ คาบเวลา

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Gujarati and Porter, 2009) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอน 1 การบ่งชี้รูปแบบจำลอง (Identification) โดยใช้การทดสอบความนิ่ง ด้วยวิธี ADF unit root และแผนภาพคอรีโลแกรม (Correlogram Diagram) ขั้นตอน 2 การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter Estimator) ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation: MLE) ขั้นตอน 3 การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ (Diagnostic Checking) ด้วยวิธีสถิติ

Ljung-Box (QLB) และขั้นตอน 4 การพยากรณ์ (Forecasting) จนถึงเดือนธันวาคม 2568 ตามลำดับ

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการพยากรณ์ ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (SARIMA) กำหนดให้ข้อมูลต้องมีความหยุดนิ่ง กล่าวคืออนุกรมเวลาจะต้องมีค่าเฉลี่ยความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม คงที่และต้องไม่แปรเปลี่ยนไปตามเวลาที่เปลี่ยนแปลง โดยใช้การทดสอบความหยุดนิ่ง ด้วยวิธี ADF unit root (Dickey and Fuller, 1979, 1981) ซึ่งหากพบว่าข้อมูลมีความไม่นิ่ง จำเป็นต้องเพิ่มผลต่างเข้าไปที่ละลำดับขั้นจนทำให้ข้อมูลมีความหยุดนิ่ง ทั้งนี้ สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis: H0) ที่ใช้ในการตรวจสอบความหยุดนิ่ง คือ อนุกรมเวลาไม่มีความหยุดนิ่ง (H0: Non-stationarity)

การวิเคราะห์ความหยุดนิ่งของข้อมูลอนุกรมเวลาดัง (Table 1) พบว่าอนุกรมเวลาทั้ง 4 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณส่งออกมะพร้าวผลแก่ (Q_CC) ราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่ (P_CC) ปริมาณส่งออกกะทิ (Q_CM) และราคาส่งออกกะทิ (P_CM) ค่าสถิติ (T-statistics) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ณ ผลต่างลำดับ 1 แบบ

ไม่มีฤดูกาล หรือ $I(d) = I(1)$ และผลต่างลำดับ 1 แบบมีฤดูกาล หรือ $I(D) = I(1)$ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ตัวแบบ SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s สำหรับใช้ในการ

พยากรณ์ตัวแปร Q_CC ตัวแปร P_CC ตัวแปร Q_CM และตัวแปร P_CM คือ ตัวแบบ SARIMA(p,1,q)(P,1,Q)₁₂

Table 1 The results of the ADF unit root tests.

Variable	I(d)=I(1)		I(D)=I(1)	
	T-statistics	p	T-statistics	P
Q_CC	-10.323*	1	-3.037*	1
P_CC	-4.890*	1	-5.040*	1
Q_CM	-4.514*	1	-6.818*	1
P_CM	-11.403*	1	-4.675*	1

Note: * indicates statistical significance at the 0.05 level.

การกำหนดตัวแบบพยากรณ์เบื้องต้นในลำดับต่อมาคือการบ่งชี้รูปแบบของ AR(p) SAR(P) MA(q) และ SMA(Q) พิจารณาโดยใช้แผนภาพคอรีโลแกรม (Correlogram) และประมาณค่าสัมประสิทธิ์ ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (MLE) โดยผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ดัง (Table 2) และ (Table 3) มีรายละเอียดดังนี้

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ดัง (Table 2) พบว่า ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออก

มะพร้าวผลแก่ คือ ตัวแบบ SARIMA(1,1,1)(0,1,1)₁₂ และตัวแบบ SARIMA(1,1,1)(0,1,1)₁₂ ตามลำดับ ทั้งนี้ ตัวแบบทั้งสองดังกล่าวให้ค่าสถิติ QLB ที่ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0 : ตัวแบบไม่มีปัญหาสหสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนระหว่างคาบเวลา) ณ นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้น สรุปได้ว่า ตัวแบบจำลองดังกล่าว เป็นตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมต่อการพยากรณ์อนุกรมเวลาของปริมาณและราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่

Table 2 The results of model estimation of Q_CC and P_CC.

Variable	Q_CC: SARIMA(1,1,1)(0,1,1) ₁₂			P_CC: SARIMA(1,1,1)(0,1,1) ₁₂		
	Coefficient	S.E.	Z	Coefficient	S.E.	Z
Const				0.114	0.041	2.769
AR(1)	0.548	0.102	5.345	0.551	0.103	5.353
MA(1)	-1.00	0.094	-10.62	-1.000	0.064	-15.48
SMA(1)	-0.999	0.362	-2.761	-0.999	0.208	-4.806
SIC		2121.407			504.632	
Q _{LB}		0.187 ^{ns}			1.226 ^{ns}	
MAPE		16.973			9.486	

Note: The statistical significance was determined at the 0.05 level. ^{ns} indicates not significant ($p > 0.05$). S.E. denotes the standard error, while Z represents the Z-statistics. MAPE refers to mean absolute percentage error. SIC refers to the Schwarz information criterion.

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ดัง (Table 3) พบว่า ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกกะทิ คือ ตัวแบบ SARIMA(7,1,2)(0,1,1)₁₂ และตัวแบบ SARIMA(5,1,6)(0,1,1)₁₂ ตามลำดับ ทั้งนี้ ตัวแบบทั้งสองดังกล่าวให้ค่าสถิติ Q_{LB} ที่ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0 : ตัวแบบไม่มีปัญหา

สหสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนระหว่างคาบเวลา) ณ นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้น สรุปได้ว่าตัวแบบจำลองดังกล่าว เป็นตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมต่อการพยากรณ์อนุกรมเวลาของปริมาณและราคาส่งออกกะทิ

Table 3 The results of model estimation of Q_CM and P_CM.

Variable	Q_CM: SARIMA(7,1,2)(0,1,1) ₁₂			P_CM: SARIMA(5,1,6)(0,1,1) ₁₂		
	Coefficient	S.E.	Z	Coefficient	S.E.	Z
AR(1)	-0.271	0.084	-3.235	-0.443	0.063	-6.973
AR(3)				-0.456	0.072	-6.302
AR(5)	-0.237	0.076	-3.105	0.613	0.068	9.011
AR(7)	-0.235	0.083	-2.826			
MA(1)				0.181	0.069	2.596
MA(2)	-0.235	0.091	-2.566	-0.142	0.072	-1.970
MA(3)				0.746	0.088	8.48
MA(5)				-0.664	0.088	-7.493
MA(6)				0.286	0.103	2.757
SMA(1)	-0.907	0.168	-5.386	-0.858	0.098	-8.672
SIC		4342.694			582.315	
Q_{LB}		2.699 ^{ns}			3.048 ^{ns}	
MAPE		6.927			2.306	

Note: The statistical significance was determined at the 0.05 level. ^{ns} indicates not significant ($p > 0.05$). S.E. denotes the standard error, while Z represents the Z-statistics. MAPE refers to mean absolute percentage error. SIC refers to Schwarz information criterion.

ผลการพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่และกะทิ เริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2567 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2568 เป็นเวลา 18 เดือน (Table 4) พบว่า ปริมาณส่งออกมะพร้าวผลแก่และกะทิ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกัน พบว่า ราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่และกะทิ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน

ผลการพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่รายเดือน พบว่า การส่งออกมะพร้าวผลแก่ในช่วงครึ่งปีหลังของปี พ.ศ. 2567 จะมีปริมาณส่งออกสูงสุดในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567 เท่ากับ

761.114 ตัน และในปีถัดมาการส่งออกจะเพิ่มขึ้นสูงสุดอีกครั้งในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2568 เท่ากับ 844.041 ตัน สำหรับราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่ในปี พ.ศ. 2567 คาดว่าจะมีราคาสูงสุดในเดือนกรกฎาคม เท่ากับ 53.51 บาทต่อกิโลกรัม และในปี พ.ศ. 2568 ราคาส่งออกสูงสุดคาดว่าจะอยู่ในเดือนพฤษภาคม เท่ากับ 58.72 บาทต่อกิโลกรัม ในส่วนของผลการพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกกะทิรายเดือน พบว่า การส่งออกกะทิในช่วงครึ่งปีหลังของปี พ.ศ. 2567 จะมีปริมาณสูงสุดในเดือนกันยายน เท่ากับ 20,402.352 ตัน และในปี พ.ศ. 2568 การส่งออก

สูงสุดพบว่ายังคงอยู่ในเดือนเดียวกัน โดยมีปริมาณเท่ากับ 21,684.088 ตัน สำหรับราคาส่งออกกะทิในปี พ.ศ. 2567 พบว่า การส่งออกกะทิจจะมีราคาสูงสุดอยู่

ในเดือนพฤศจิกายน เท่ากับ 60.22 บาทต่อกิโลกรัม ขณะที่ในปี พ.ศ. 2568 ราคาส่งออกสูงสุดคาดว่าจะอยู่ในเดือนตุลาคม เท่ากับ 61.21 บาทต่อกิโลกรัม

Table 4 Forecasting monthly export volume and price of mature coconut and coconut milk.

Month	Mature Coconut		Coconut Milk	
	Quantity (ton)	Price (baht/kg)	Quantity (ton)	Price (baht/kg)
July 2024	549.633	53.51	19,555.925	59.28
August 2024	761.114	49.56	20,273.303	59.93
September 2024	685.425	47.43	20,402.352	59.11
October 2024	679.47	44.19	20,262.753	59.86
November 2024	727.244	43.63	19,914.541	60.22
December 2024	613.936	45.70	18,846.114	59.79
January 2025	535.724	47.13	17,931.719	60.41
February 2025	601.543	48.46	18,285.705	58.39
March 2025	844.041	52.26	20,892.461	59.83
April 2025	509.423	56.81	18,489.641	59.47
May 2025	437.849	58.72	19,926.474	60.30
June 2025	630.614	56.62	20,141.367	60.37
July 2025	619.014	55.39	20,545.695	59.62
August 2025	744.854	53.88	20,952.622	60.38
September 2025	622.161	53.15	21,684.088	60.58
October 2025	590.407	50.73	21,403.992	61.21
November 2025	624.022	50.68	20,437.362	60.60
December 2025	502.942	53.08	19,672.818	59.92

การเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงการพยากรณ์การส่งออกมะพร้าวผลแก่และกะทิ (Table 5) พบว่า ปริมาณส่งออกมะพร้าวผลแก่ ในไตรมาส 3 และไตรมาส 4 ปี พ.ศ. 2567 คาดว่ามีปริมาณส่งออก 4,016.822 ตัน ลดลง ร้อยละ 25.23 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2566 สำหรับปี พ.ศ. 2568 คาดว่าปริมาณส่งออกมะพร้าวผลแก่รวม 7,262.594 ตัน เพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.96 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2567 สำหรับราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่ ในไตรมาส 3 และไตรมาส 4 ปี พ.ศ. 2567 คาดว่าราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 47.17 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้น ร้อยละ

43.09 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2566 สำหรับปี พ.ศ. 2568 คาดว่าราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 52.96 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้น ร้อยละ 9.85 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2567

ในขณะที่ ปริมาณส่งออกกะทิ ในไตรมาส 3 และไตรมาส 4 ปี พ.ศ. 2567 คาดว่ามีปริมาณส่งออก 119,254.980 ตัน เพิ่มขึ้น ร้อยละ 6.71 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2566 สำหรับปี พ.ศ. 2568 คาดว่าปริมาณส่งออกกะทิรวม 240,363.950 ตัน เพิ่มขึ้น ร้อยละ 2.70 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2567 สำหรับราคาส่งออกกะทิ ในไตรมาส 3 และไตรมาส 4

ปี พ.ศ. 2567 คาดว่าราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 59.70 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.29 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2566 สำหรับปี พ.ศ. 2568 คาดว่าราคา

เฉลี่ยอยู่ที่ 60.11 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.09 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2567

Table 5 The export volume and price comparison of mature coconut and coconut milk.

Quarter	Mature Coconut		Coconut Milk	
	Quantity (ton)	Price (baht/kg)	Quantity (ton)	Price (baht/kg)
2024Q3	1,996.172	49.92	60,231.580	59.44
2024Q4	2,020.650	44.45	59,023.400	59.96
Total	4,016.822	47.17	119,254.980	59.70
Growth (%)	-25.23	43.09	6.71	7.29
2025Q1	1,981.308	49.72	57,109.890	59.55
2025Q2	1,577.886	57.26	58,557.480	60.06
2025Q3	1,986.029	54.12	63,182.410	60.20
2025Q4	1,717.371	51.40	61,514.170	60.59
Total	7,262.594	52.96	240,363.950	60.11
Growth (%)	0.96	9.85	2.70	3.09

Note: Q refers to the quarterly sequence in the forecast.

การวิจัยนี้วัดประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์โดยใช้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ดัง (Figure 1) และ (Figure 2) พบว่าตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณมะพร้าวผลแก้วมีค่า

MAPE เท่ากับ 6.927 การพยากรณ์ราคามะพร้าวผลแก้วมีค่า MAPE เท่ากับ 2.306 การพยากรณ์ปริมาณกะทิมี่ค่า MAPE เท่ากับ 16.973 และการพยากรณ์ราคากะทิมี่ค่า MAPE เท่ากับ 9.486 ตามลำดับ



Figure 1 Comparison between actual value and forecasted value of mature coconut.

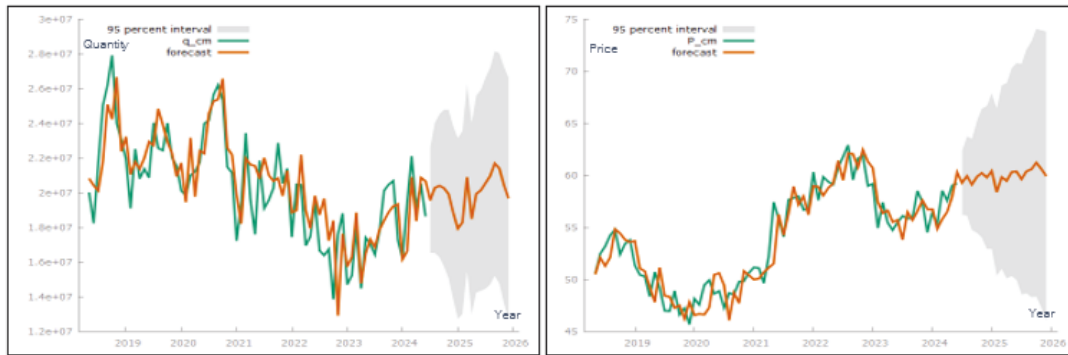


Figure 2 Comparison between actual value and forecasted value of coconut milk

การวัดประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยวิธี SARIMA ใช้สถิติ MAPE เพื่อประเมินความสามารถของตัวแบบในการทำนายแนวโน้มของข้อมูลในอนาคต ตัวอย่างเช่น การศึกษาของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2564) ซึ่งพยากรณ์ความต้องการส่งออกกะทิและสินค้าอื่น ๆ ที่สำคัญของประเทศไทย พบว่า SARIMA(1,0,0)(1,0,1)₁₂ เป็นตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ความต้องการกะทิของประเทศไทย โดยพิจารณาเลือกจากค่าสถิติ MAPE ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 7.382 - ร้อยละ 13.359 ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ของตัวแบบ อย่างไรก็ตาม การพยากรณ์ปริมาณส่งออกกะทิในการศึกษานี้พบค่าสถิติ MAPE เท่ากับ 16.973% ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นจากการศึกษาก่อนหน้านี้เล็กน้อยอธิบายถึงความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ที่เพิ่มขึ้น สาเหตุที่ทำให้ MAPE สูงขึ้นอาจเกิดจากความผันผวนของปริมาณส่งออกกะทิไทยในช่วงเวลาดังกล่าว (พิจารณาได้จาก Figure 2) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ การระบาดของโรคศัตรูมะพร้าว และความผันผวนของอุปสงค์-อุปทานในประเทศ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2560) ทั้งนี้ หากพิจารณาการศึกษาของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2564) ในกรณีของสินค้าเกษตรอื่น ๆ เช่น ข้าวหอมมะลิ มันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ยางพารา น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำสับปะรด เป็นต้น จะพบว่าผลการพยากรณ์และประสิทธิภาพของตัวแบบในครั้งนี้มีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน

อย่างไรก็ตาม การพยากรณ์ของแบบจำลองในภาพรวมครั้งนี้พบว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ในช่วงร้อยละ 2.306 - ร้อยละ 16.973 สอดคล้องกับการศึกษาของจิรัฐา และคณะ (2564) ลำเพยพรรณ และคณะ (2565) ภัทรินิ และคณะ (2565) และ Rueangrit *et al.* (2020) ซึ่งพบว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นเทคนิคพยากรณ์ที่มีความแม่นยำและใช้พยากรณ์ในช่วงระยะสั้นๆ ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม ผลพยากรณ์อาจพบความคลาดเคลื่อนมากขึ้นหากขยายช่วงระยะเวลาในการพยากรณ์ยาวขึ้น เนื่องจากอาจมีการเปลี่ยนแปลงจากสถานการณ์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสินค้าเกษตรเป็นสินค้าที่มีความผันผวนสูง และได้รับผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น สภาพภูมิอากาศ การระบาดของแมลงศัตรูพืช เป็นต้น

สรุป

การพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่และกะทิของประเทศไทย ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ หรือแบบจำลอง SARIMA(p,d,q) (P,D,Q)_s ประกอบด้วยตัวแบบ SARIMA(1,1,1)(0,1,1)₁₂ และตัวแบบ SARIMA(1,1,1)(0,1,1)₁₂ สำหรับการพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่ของไทย ในขณะที่ตัวแบบ SARIMA(7,1,2)(0,1,1)₁₂ และตัวแบบ SARIMA(5,1,6)(0,1,1)₁₂ สำหรับการพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกกะทิของไทย ทั้งนี้ เมื่อนำตัวแบบพยากรณ์ดังกล่าวไป

คาดการณ์แนวโน้มปริมาณและราคาส่งออกมะพร้าว ผลแก่และกะทิของไทย สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณส่งออกมะพร้าวผลแก่มีแนวโน้มลดลงเป็นอย่างมากในช่วงครึ่งปีหลัง พ.ศ. 2567 (ลดลงร้อยละ 25.23) แต่ในช่วง ปี พ.ศ. 2568 (ทั้งปี) ปริมาณส่งออกมะพร้าวผลแก่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.96) ในขณะที่ปริมาณส่งออกกะทิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ครึ่งปีหลัง พ.ศ. 2567 (เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.71) จนถึงปี พ.ศ. 2568 (เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.70) สำหรับการพยากรณ์ราคาส่งออกมะพร้าวผลแก่และกะทิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ครึ่งปีหลัง พ.ศ. 2567 จนถึงปี พ.ศ. 2568

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะของการศึกษาในครั้งนี้มีรายละเอียดดังนี้

1. ภาครัฐ ภาคเอกชน หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ควรมีการสนับสนุนในการปลูกมะพร้าวเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น เช่นการกำหนดพื้นที่ปลูกมะพร้าวให้เหมาะสมทั้งในระดับครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ การพัฒนาสายพันธุ์มะพร้าวคุณภาพ การให้ความรู้ในการป้องกันแมลงศัตรูมะพร้าว การส่งเสริมการปลูกมะพร้าวในรูปแบบของเกษตรผสมผสาน ฯลฯ ทั้งนี้ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้ในภาคครัวเรือน อุตสาหกรรม หรือการส่งออก เป็นต้น

2. ภาครัฐ ภาคเอกชน หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ควรมีการส่งเสริมด้านการวิจัยและนวัตกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมะพร้าวคุณภาพ โดยเฉพาะการวิจัยป้องกันโรคและแมลงศัตรูมะพร้าว เช่น หนอนหัวดำ ด่างแสด ที่ระบาดอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลานาน

3. ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในครั้งต่อไป คือ การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการอื่น ๆ เช่น การสร้างแบบจำลองผสม การสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Machine Learning และปัญญาประดิษฐ์ แบบจำลองเชิงสาเหตุ แบบจำลองความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง เป็นต้น หรือการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยคำนึงถึงปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ที่

เกี่ยวข้อง เช่น เศรษฐกิจโลก การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ผลการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อการบริหารจัดการได้อย่างเหมาะสมและถูกต้องต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2560. ยุทธศาสตร์มะพร้าวเพื่ออุตสาหกรรมพ.ศ. 2561–2579. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://www.agriman.doae.go.th/home/agri1/agri1.3/strategics_2554/04_coconut%202561-2579.pdf (15 ตุลาคม 2567).
- จิรัฐ คำบุญ, เฉลิมพล จตุพร, วสุ สุวรรณวิหค และ นารีรัตน์ สิริสาร. 2564. การพยากรณ์ปริมาณและราคาส่งออกน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทย: กรณีศึกษาการวิเคราะห์ทางอนุกรมเวลา. Journal of Modern Learning Development 6(4): 315-329.
- ภัทรนิตี กิรติปัดลศิริคุณ, เฉลิมพล จตุพร และ วสุ สุวรรณวิหค. 2565. การพยากรณ์ปริมาณส่งออกถั่วแระญี่ปุ่นของ บริษัทลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ไปประเทศญี่ปุ่น. วารสารการบริหารนิติบุคคลและนวัตกรรมท้องถิ่น 8(3): 125-138.
- ลำเพยพรรณ สิงห์พิ, เฉลิมพล จตุพร และวสุ สุวรรณวิหค. 2565. การพยากรณ์ปริมาณและราคาการส่งออกมะม่วงของประเทศไทย: การศึกษาเชิงประจักษ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนคินส์. วารสารสังคมศาสตร์วิชาการ 15(2): 60-72.
- สถาบันอาหาร. 2565. อุตสาหกรรมมะพร้าวของไทย 2565. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: https://fic.nfi.or.th/upload/info_graphic/pdf95.pdf (15 ตุลาคม 2567).
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2555. มาตรฐานสินค้าเกษตร: มะพร้าว. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร. 8 หน้า.

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. แบบจำลองการพยากรณ์ความต้องการสินค้าเกษตรที่สำคัญ. เอกสารวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร เลขที่ 199. สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 240 หน้า.
- อรรรรณ วิชัยลักษณ์. 2559. การเพิ่มศักยภาพการปลูกมะพร้าวพันธุ์ดีทดแทนสวนเก่า. เอกสารวิชาการ. กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพมหานคร. 114 หน้า.
- Box, G.E.P. and G.M. Jenkins. 1970. Time Series Analysis, Forecasting and Control. Holden Day, San Francisco. 553 p.
- Dickey, D. A. and W. A. Fuller. 1979. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. Journal of the American Statistical Association 74(366a): 427-431.
- Dickey, D.A. and W.A. Fuller. 1981. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. Econometrica 49(4): 1057-1072.
- FAO. 2024. Crops and livestock products: Coconuts. (Online): Available Source: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (October 15, 2024).
- Gujarati, D.N. and D.C. Porter. 2009. Basic econometrics. 5th (ed.). McGraw Hill, New York. 922 p.
- Rueangrit, P., C. Jatuporn, V. Suvanvihok and A.Wanaset. 2020. Forecasting production and export of Thailand's durian fruit: An empirical study using the Box-Jenkins approach. Humanities and Social Sciences Letters 8(4): 430-437.

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียว อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม

Factors Affecting the Need for Establishing a Green Market, Don Tum District, Nakhon Pathom Province พัชรพรณ คูหามุข¹ สอนทยา สำเภาทอง¹ และรพี ดอกไม้เทศ^{1*}
Patcharaphan Khuhamuk¹, Sonthaya Sampaothong¹ and Rapee Dokmaithes^{1*}

Received: January 27, 2025

Revised: March 25, 2025

Accepted: March 26, 2025

Abstract: This research aims to study the factors affecting the need for establishing a green market in Don Tum district, Nakhon Pathom province. The sample used in the study consists of 400 consumers in Don Tum district, selected through convenience sampling. Questionnaires were used as the data collection tool, and the data were analyzed using descriptive statistics and Binary Logistic Regression to analyze the factors affecting the need to establish a green market. The research findings indicated that most consumers have a high interest in safe agricultural products and hold high opinions on the marketing mix (7Cs), especially regarding the freshness of the products and the quality and standards of the products, which were key factors influencing the need for establishing a green market. The binary logistic regression analysis revealed that significant factors significantly affecting the need to establish a green market include the age of consumers, the freshness of the products, the quality and certification of the products, the format of the green market, and the frequency of purchasing safe agricultural and food products. Based on the research findings, the following recommendations were made to develop and promote the possibility of establishing a green market in Don Tum district, Nakhon Pathom province: 1) promote interest in safe agricultural products by organizing activities to raise awareness about safe agricultural products among the local population and 2) improve product quality and ensure regular quality inspections.

Keywords: Don Tum district, Green market, Marketing mix, Need

บทคัดย่อ: การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวในอำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ ผู้บริโภคในอำเภอดอนตูม จำนวน 400 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (Convenience Sampling) ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา และการวิเคราะห์ Binary Logistic Regression เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียว ผลการวิจัย พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความสนใจในสินค้าเกษตรปลอดภัยในระดับสูง และมีความคิดเห็นในด้านส่วนประสมการตลาด (7Cs) ในระดับสูง โดยเฉพาะ

¹ภาควิชาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

¹Department of Agricultural Extension and Communication, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140.

*Corresponding author: agrprd@ku.ac.th

ด้านความสดใหม่ของสินค้า และด้านสินค้ามีคุณภาพและมาตรฐาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียว จากการวิเคราะห์ Binary logistic regression พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ อายุของผู้บริโภค ความสดใหม่ของสินค้า คุณภาพและการรับรองมาตรฐานของสินค้า รูปแบบของตลาดสีเขียว ความถี่ในการซื้อสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัย สำหรับข้อเสนอแนะที่ได้จากผลการวิจัยเพื่อพัฒนาและส่งเสริมความเป็นไปได้ในการจัดตั้งตลาดสีเขียว ในอำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม มีดังนี้ 1) ควรส่งเสริมความสนใจในสินค้าเกษตรปลอดภัย โดยจัดกิจกรรมส่งเสริมความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรปลอดภัยให้แก่ประชาชนในพื้นที่ และ 2) มีการพัฒนาคุณภาพสินค้า รวมถึงการจัดให้มีการตรวจสอบคุณภาพสินค้าอย่างสม่ำเสมอ

คำสำคัญ: อำเภอดอนตูม, ตลาดสีเขียว, ปัจจัยส่วนประสมการตลาด, ความต้องการ

คำนำ

ในปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจในสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยมากขึ้น มีความใส่ใจในสุขภาพ คำนึงถึงสุขภาพและสิ่งแวดล้อม การบริโภค รวมไปถึงการรักษาสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาที่ยั่งยืน เนื่องจากในภาคการเกษตรนิยมใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและโรคพืชเป็นจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้มีการตกค้างของสารเคมีในผลผลิตทางการเกษตร รวมถึงสิ่งแวดล้อมในปริมาณที่มากตามไปด้วย โดยเฉพาะการสะสมในดินและน้ำ (สายธาร, 2567) เกษตรกรผู้ผลิต ผู้ประกอบการ และผู้เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตสินค้าเกษตรและอาหาร จะต้องให้ความสนใจกับคุณภาพและความปลอดภัย มีการปฏิบัติที่ดีในทุกกระบวนการ และผ่านการรับรองมาตรฐาน ข้อปฏิบัติที่ดีต่าง ๆ เช่น มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (Organic Thailand), GAP (Good Manufacturing Practice), GMP (Good Manufacturing Practice) และมาตรฐานอาหารและยา (อย.) เป็นต้น ซึ่งมาตรฐานเหล่านี้จะช่วยยกระดับให้สินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับการบริโภค มีความปลอดภัยมากขึ้น ตลอดจนทั้งกระบวนการที่มีมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับ (ศิริ, 2564)

ในภาคการเกษตรเพื่อเป็นการส่งเสริมให้เกษตรกรสามารถผลิตสินค้าเกษตรปลอดภัยที่มีมาตรฐาน จังหวัดนครปฐมได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนา ประเด็นการพัฒนาที่ 1 พัฒนานครปฐม ให้เป็นเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ที่มีอัตลักษณ์เป็นที่รู้จัก ทั้งด้านการเกษตรแปรรูปด้วยนวัตกรรม และ

เทคโนโลยี โดยมีแนวทางการพัฒนาสินค้าเกษตรครบวงจร ตั้งแต่ เมล็ดพันธุ์ การทำฟาร์ม การแปรรูป พร้อมรับประทาน และการกระจายสินค้า โดยพัฒนาเกษตรกรเป้าหมายให้ได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP (สำนักงานจังหวัดนครปฐม, 2566) ส่งผลให้เกษตรกรสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตสินค้าเกษตรปลอดภัย เพื่อการสร้างโอกาสให้แก่เกษตรกร ผู้ผลิตและผู้ประกอบการ ในการจำหน่ายสินค้า และสร้างช่องทางในการเข้าถึงผู้บริโภค ตลาดสีเขียวจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะทำให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยที่มีคุณภาพ ซึ่งเป็นการสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภค แต่ในปัจจุบันจังหวัดนครปฐมมีตลาดสีเขียวเพียงไม่กี่แห่ง ได้แก่ ตลาดสุขใจ ตลาดน้ำดอนหวาย ตลาดน้ำวัดลำพญา ตลาดบ้านรังนก ตลาดเกษตรกร ตลาดบันสุข ณ อุทยานการอาชีพพัฒนา ตลาดปฐมอโคก และตลาดคิดมี อินดี้ มาร์เก็ต เป็นต้น โดยตั้งอยู่ที่อำเภอสามพราน อำเภอบางเลนและอำเภอเมืองนครปฐม (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครปฐม, 2566) ซึ่งได้รับความนิยมในกลุ่มผู้บริโภคในชุมชนและนอกชุมชน รวมไปถึงนักท่องเที่ยวที่ให้ความสนใจในสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งตลาดสีเขียวยังเป็นแหล่งจำหน่ายสินค้าการเกษตร สินค้าแปรรูปด้านการเกษตรและสินค้าอุปโภคบริโภคที่จำเป็น มีส่วนช่วยสนับสนุนเศรษฐกิจท้องถิ่น สร้างรายได้ให้แก่ชุมชน (พันธิจิตต์, 2563) อีกทั้งจุดศูนย์รวมที่ทำให้เกษตรกร กลุ่มเกษตรกร ผู้ประกอบการและวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตสินค้าเกษตรและอาหาร

ปลอดภัยในจังหวัดนครปฐมและจังหวัดใกล้เคียง ได้มีโอกาสในการจำหน่ายสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยอีกด้วย

สำหรับในพื้นที่อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม เป็นอำเภอหนึ่งที่ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม มีเกษตรกรที่ทำการเกษตรแบบปลอดภัยตามมาตรฐาน GAP รวมถึงมีกลุ่มเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนที่มีศักยภาพในการผลิตและแปรรูปสินค้าทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นข้าว พืชผัก พืชสมุนไพร ผลไม้ เครื่องดื่ม รวมไปถึงผลิตภัณฑ์สินค้าเกษตรแปรรูป ได้แก่ กุนเชียงหมู กุนเชียงกล้วย หมูยอหาลาม ปลาแดดเดียว นานมข้าวโพด น้ำลูกตำลึงเพื่อสุขภาพ น้ำมัลเบอร์รี่ ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสมุนไพร และผลิตภัณฑ์จักสานประเภทต่าง ๆ เป็นต้น (สำนักงานเกษตรอำเภอดอนตูม, 2566) ซึ่งมีศักยภาพในการผลิตสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัย การจัดตั้งตลาดสีเขียวในพื้นที่จะเป็นการเพิ่มช่องทางการจำหน่ายสินค้าให้แก่เกษตรกร ผู้ผลิต และผู้ประกอบการ และเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะทำให้เกษตรกรตระหนักถึงโทษของการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่ไม่ถูกต้อง เพื่อนำไปสู่การลดการใช้สารเคมี คำนึงถึงผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น อีกทั้งในพื้นที่อำเภอดอนตูมนั้น มีผู้บริโภคโดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้บริโภคที่เป็นกลุ่มคนในวัยทำงาน ที่คาดว่าจะให้ความสำคัญด้านสุขภาพ ใส่ใจในการรักษาสิ่งแวดล้อม และมีความต้องการที่จะให้การสนับสนุนเกษตรกร ผู้ผลิต และผู้ประกอบการในพื้นที่ แต่เนื่องจากในพื้นที่อำเภอดอนตูมยังไม่มีตลาดสำหรับสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัย ทำให้ผู้บริโภคไม่สามารถเข้าถึงสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยได้ดีเท่าที่ควร และถึงแม้ว่าในส่วนเกษตรกรผู้ผลิตจะมีศักยภาพในการผลิตและจำหน่ายสินค้า แต่ก็ยังไม่สามารถทราบถึงความคิดเห็น ความต้องการ และพฤติกรรมการซื้อสินค้าที่แท้จริงของผู้บริโภคในพื้นที่ จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียว ในอำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม เพื่อที่จะได้รับรู้ถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพล

ต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวในพื้นที่ดังกล่าว และสามารถนำผลการวิจัยมาใช้ในการส่งเสริมเพื่อจัดตั้งตลาดสีเขียวในชุมชนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ศึกษาในพื้นที่อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม ซึ่งมีการแบ่งการปกครองออกเป็น 8 ตำบล 69 หมู่บ้าน โดยอำเภอดอนตูมเป็นอำเภอที่ตั้งอยู่ใจกลางของจังหวัดนครปฐม มีเส้นทางคมนาคมที่สะดวกสบาย อีกทั้งยังเป็นแหล่งผลิตสินค้าเกษตรที่สำคัญ ประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือ ผู้บริโภคที่อาศัยอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอดอนตูมจำนวน 49,123 ราย ดำเนินการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างของ ทาโร ยามาเน่ (Yamane, 1973 อ้างใน วัลลภ, 2562) โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ที่ระดับความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 จำนวนได้เท่ากับ 396 ราย เพื่อเป็นการลดความผิดพลาดและป้องกันความไม่สมบูรณ์ของการตอบกลับแบบสอบถามจะได้กลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสม คือ 400 ราย การสุ่มตัวอย่างจะใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (Convenience Sampling) โดยจะใช้การเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่สะดวกและเต็มใจในการตอบแบบสอบถาม โดยที่ไม่ได้มีการกำหนดสัดส่วนในการสุ่มของแต่ละตำบล เครื่องมือที่เลือกใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาวิจัย คือ แบบสอบถาม (Questionnaire) แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ 1) บัญชีส่วนบุคคลของผู้บริโภค (9 ตัวแปร) 2) พฤติกรรมการซื้อสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยของผู้บริโภค (7 ตัวแปร) 3) ความคิดเห็นของผู้บริโภคในการจัดตั้งตลาดสีเขียว (4 ตัวแปร) และ 4) ส่วนประสมการตลาดในมุมมองผู้บริโภคในการจัดตั้งตลาดสีเขียว (22 ตัวแปร) ประกอบด้วยคำถามที่สอบถามความคิดเห็นของผู้บริโภคในประเด็นที่ว่า การจัดตั้งตลาดสีเขียวควรมีแนวทางการดำเนินการอย่างไร โดยใช้ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดในมุมมองลูกค้า (7Cs) โดยวัดระดับ ความคิดเห็นแบบมาตราส่วน ประมาณค่า (Rating Scales) 5 ระดับ ทั้งนี้ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยการลงพื้นที่ไปเก็บข้อมูลจากผู้บริโภคตาม

สถานที่ต่าง ๆ เช่น สถานีราชการ โรงเรียน โรงพยาบาลหอพัก ร้านค้า ตลาด หน่วยงานและองค์กรต่าง ๆ เป็นต้น สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนาโดยใช้ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ Binary Logistic Regression เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียว ซึ่งกำหนดให้ ตัวแปรตาม คือ ความต้องการจัดตั้งตลาดสีเขียว ($y=1$) และความต้องการไม่ต้องการจัดตั้งตลาดสีเขียว ($y=0$) โดยได้ทดสอบค่าความเชื่อมั่นด้วย Cronbach's Alpha มีค่าเท่ากับ 0.893 ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวในอำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม ที่ประกอบด้วย 1) ปัจจัยส่วนบุคคลในด้านเพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ ภูมิฐานะ สถานภาพ รายได้ต่อเดือน จำนวนสมาชิกในครัวเรือน และระดับความสนใจในการบริโภคสินค้าเกษตรปลอดภัย 2) พฤติกรรมการซื้อสินค้าเกษตรปลอดภัยของผู้บริโภค ประกอบไปด้วย แหล่งที่เลือกซื้อสินค้า ความถี่ในการซื้อ ปริมาณในการซื้อ ช่วงวันและเวลาในการซื้อ สิ่งที่มีผลต่อการตัดสินใจในการซื้อ และวัตถุประสงค์ในการซื้อสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัย 3) ความคิดเห็นของผู้บริโภคในการจัดตั้งตลาดสีเขียว ประกอบไปด้วย ความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียว รูปแบบของตลาดสีเขียว ที่ตรงกับความต้องการ ทำเลที่ตั้งของตลาดสีเขียว

และช่วงเวลาในการเปิดทำการของตลาดสีเขียว และ 4) ส่วนประสมการตลาดในมุมมองผู้บริโภคในการจัดตั้งตลาดสีเขียว ปัจจัยส่วนประสมการตลาด (7Cs) ประกอบไปด้วย ด้านคุณค่าที่ลูกค้าจะได้รับ ด้านต้นทุน ด้านความสะดวก ด้านการติดต่อสื่อสาร ด้านการดูแลเอาใจใส่ ด้านความสำเร็จในการตอบสนองความต้องการ และด้านความสบาย ที่นำมาทดสอบด้วยแบบจำลอง Binary Logistic Regression โดยใช้เทคนิค Forward Stepwise (Conditional) โดยทำการสุ่มเพิ่มตัวแปรลงในแบบจำลองทีละตัว (เริ่มจากตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ จนหยุดเพิ่มตัวแปรหากตัวแปรถัดไปไม่ส่งผลต่อตัวแปรตามแบบอัตโนมัติ) เพื่อวิเคราะห์หาแบบสมการของแบบจำลองที่ดีที่สุด (กัญญาณัฐ และธิดารัตน์, 2566) ซึ่งความเหมาะสมของแบบจำลองจะพิจารณาจาก Hosmer and Lemeshow Test ที่มีการตั้งสมมติฐานการทดสอบ คือ

H_0 เท่ากับ สมการโลจิสติกของแบบจำลองมีความเหมาะสม

H_1 เท่ากับ สมการโลจิสติกของแบบจำลองมีความไม่เหมาะสม

ซึ่งแบบจำลอง Binary Logistic Regression สามารถสร้างสมการในการทำนายความเป็นไปได้ของความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวได้ดังนี้:

$$\text{Logit}(Y) = \ln \left[\frac{P}{1-P} \right] = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_n X_n + \text{Residual} \quad (1)$$

โดยที่:

- P = ความเป็นไปได้ที่ผู้บริโภคต้องการให้มีการจัดตั้งตลาดสีเขียว
 Y = ความต้องการให้มีการจัดตั้งตลาดสีเขียว
 β_0 = สัมประสิทธิ์ของค่าคงที่
 $\beta_1 \dots \beta_n$ = สัมประสิทธิ์ของตัวแปร
 $X_1 \dots X_n$ = ตัวแปรด้านปัจจัยส่วนบุคคลและปัจจัยส่วนประสมการตลาด

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งตลาดสีเขียวในอำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม สามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ 1) ปัจจัยส่วนบุคคล

บุคคลของผู้บริโภค 2) พฤติกรรมการซื้อสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยของผู้บริโภค 3) ความคิดเห็นของผู้บริโภคในการจัดตั้งตลาดสีเขียว 4) ความคิดเห็นในส่วนประสมการตลาดในมุมมองผู้บริโภค (7Cs) ใน

การจัดตั้งตลาดสีเขียว และ 5) ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ปัจจัยส่วนบุคคลของผู้บริโภค

ผู้บริโภคส่วนมากเป็นเพศหญิง จำนวน 248 ราย คิดเป็นร้อยละ 62.00 อายุเฉลี่ย 44.07 ปี จบการศึกษาระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่า จำนวน 118 ราย คิดเป็นร้อยละ 29.50 ประกอบอาชีพธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย จำนวน 144 ราย คิดเป็นร้อยละ 36.00 มีภูมิลำเนาอยู่ในพื้นที่อำเภอดอนตูม จำนวน 293 ราย คิดเป็นร้อยละ 73.25 มีสถานภาพสมรส จำนวน 197 ราย คิดเป็นร้อยละ 43.00 มีรายได้อยู่ในช่วง 10,000 – 20,000 บาท จำนวน 157 ราย คิดเป็นร้อยละ 39.25 สมาชิกในครัวเรือน 3 – 4 คน จำนวน 190 ราย คิดเป็นร้อยละ 47.50 มีความสนใจในการบริโภคสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัย ในระดับมาก จำนวน 167 ราย คิดเป็นร้อยละ 41.75

พฤติกรรมการซื้อสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยของผู้บริโภค

ผู้บริโภคส่วนมากเลือกซื้อสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยที่ตลาดสด/ตลาดนัดทั่วไป จำนวน 243 ราย คิดเป็นร้อยละ 60.75 มีการซื้อสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยมากกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์ จำนวน 183 ราย คิดเป็นร้อยละ 45.75 ใหญ่ โดยที่จะซื้อใน

ปริมาณครั้งละไม่มาก แต่ซื้อบ่อย จำนวน 351 ราย คิดเป็นร้อยละ 87.75 มีการซื้อสินค้าในช่วงวันธรรมดาหรือวันทำงานปกติ จำนวน 282 ราย คิดเป็นร้อยละ 70.50 ในช่วงเวลา 16.00 – 20.00 น. จำนวน 201 ราย คิดเป็นร้อยละ 50.25 อีกทั้งผู้บริโภคส่วนมากมีความเห็นว่าตนเองมีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าเกษตรปลอดภัยและอาหารปลอดภัย จำนวน 194 ราย คิดเป็นร้อยละ 48.50 โดยที่วัตถุประสงค์ของผู้บริโภคส่วนมากจะมีการซื้อสินค้าเกษตรปลอดภัยและอาหารปลอดภัยเพื่อใช้หรือบริโภคเอง/สมาชิกในครัวเรือนใช้หรือบริโภค จำนวน 379 ราย คิดเป็นร้อยละ 94.75

ความคิดเห็นของผู้บริโภคในการจัดตั้งตลาดสีเขียว

ผู้บริโภคส่วนมากมีความคิดเห็นว่าการให้มีการจัดตั้งตลาดสีเขียวในพื้นที่อำเภอดอนตูม จำนวน 323 ราย คิดเป็นร้อยละ 80.75 รูปแบบของตลาดสีเขียวที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค คือ ตลาดนัดชั่วคราว จำนวน 196 ราย คิดเป็นร้อยละ 49.00 โดยที่ให้มีการจัดตั้งบริเวณลานวัดสามง่าม (อรัญญิการาม) จำนวน 155 ราย คิดเป็นร้อยละ 38.35 และเปิดทำการในช่วงเย็น จำนวน 189 ราย คิดเป็นร้อยละ 47.25 (Table 1)

Table 1 Consumer opinions on the establishment of green market.

(n = 400)		
Items	Frequency	Percentage
1. Opinion on demand		
Want to establish a green market	323	80.75
Do not want the establishment of a green market	77	19.25
2. Green market model		
Temporary market	196	49.00
Permanent market	122	30.50
Store	80	20.00
Other	2	0.50
3. Location of the green market		
Don Tum District Office	118	29.50
Sam Ngam Temple (Aranyikaram)	155	38.75

Table 1 (continue)

(n = 400)		
Items	Frequency	Percentage
Don Tum Hospital	17	4.25
Sam Ngam Municipality Fresh Market	92	23.00
Other	18	4.50
4. Green Market Opening Hours		
Morning	99	24.75
Noon time	14	3.50
Evening	189	47.25
All the day	98	24.50

ส่วนประสมการตลาดในมุมมองผู้บริโภค (7Cs) ในการจัดตั้งตลาดสีเขียว

จากการเก็บข้อมูลความคิดเห็นของผู้บริโภค ในการจัดตั้งตลาดสีเขียวด้านส่วนประสมการตลาดใน มุมมองผู้บริโภค (7Cs) ประกอบไปด้วย ด้านคุณค่า ที่ลูกค้าจะได้รับ ด้านต้นทุน ด้านความสะดวก ด้าน การติดต่อสื่อสาร ด้านการดูแลเอาใจใส่ ด้านความ สำเร็จในการตอบสนองความต้องการ และด้านความ สบาย พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ในอำเภอดอนตูม มี ความคิดเห็นในการจัดตั้งตลาดสีเขียว เกี่ยวกับปัจจัย ส่วนประสมการตลาดในมุมมองผู้บริโภค (7Cs) โดย รวมอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 ซึ่งเมื่อ พิจารณาแต่ละด้านพบว่า ด้านคุณค่าที่ลูกค้าจะได้รับ (Customer Value) ผู้บริโภคมีระดับความคิดเห็นโดย

รวม อยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 ด้าน ต้นทุน (Cost to Customer) มีระดับความคิดเห็นโดย รวม อยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 ด้าน ความสะดวก (Convenience) มีระดับความคิดเห็น โดยรวม อยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 ด้านการติดต่อสื่อสาร (Communication) มีระดับ ความคิดเห็นโดยรวม อยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ด้านการดูแลเอาใจใส่ (Caring) มีระดับความ คิดเห็นโดยรวม อยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 ด้านความสำเร็จในการตอบสนองความต้องการ (Completion) มีระดับความคิดเห็นโดยรวม อยู่ใน ระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 และด้านความ สบาย (Comfort) มีระดับความคิดเห็นโดยรวม อยู่ใน ระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 (Table 2)

Table 2 Level of consumer opinion in the marketing mix from the consumer perspective (7Cs).

(n=400)			
Marketing mix from a consumer	$\bar{x}$	S.D.	level
Customer Value	4.48	0.45	Highest
Cost to Customer	4.31	0.55	Highest
Convenience	4.36	0.52	Highest
Communication	4.20	0.64	High
Caring	4.31	0.54	Highest
Completion	4.36	0.49	Highest
Comfort	4.39	0.48	Highest
Total	4.34	0.45	Highest

Note: consumer opinions on the establishment of green market form 1-5; 1.00-1.80 = lowest, 1.81-2.60 = low, 2.61-3.40 = moderate, 3.41-4.20 = high and 4.21-5.00 = highest

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวในอำเภอคอนตูม จังหวัดนครปฐม

จากการทดสอบ Hosmer and Lemeshow เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถอธิบายข้อมูลได้ดีหรือไม่ โดยเปรียบเทียบค่าที่ทำนายได้จากโมเดลกับค่าจริงของข้อมูล โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจที่พิจารณาค่าความน่าจะเป็นของการทดสอบ พบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดมีค่า Chi-Square เท่ากับ 3.859 และค่า Significant เท่ากับ 0.870 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 หมายความว่ายอมรับสมมติฐาน H_0 แสดงว่าสมการของแบบจำลองนี้มีความเหมาะสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ตัวแปรทุกตัวมีค่า $VIF < 5$ และ $Tolerance > 0.2$ ซึ่งให้เห็นว่าไม่ปรากฏปัญหา Multicollinearity ของตัวแปร

สำหรับผลการทดสอบความเชื่อถือได้ของแบบจำลอง Binary Logistic Regression สามารถอธิบายได้ว่า จากข้อมูลจริง (Observed) ของกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ต้องการให้มีการจัดตั้งตลาดสีเขียว

จำนวนทั้งหมด 77 ราย ทั้งนี้ สมการแบบจำลอง Binary Logistic Regression สามารถพยากรณ์ว่าเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ต้องการให้มีการจัดตั้งตลาดสีเขียว จำนวน 21 ตัวอย่าง แสดงว่าพยากรณ์ได้ถูกต้อง คิดเป็นเพียงร้อยละ 27.30 ในขณะที่ข้อมูลจริง (Observed) ของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการให้มีการจัดตั้งตลาดสีเขียว จำนวนทั้งหมด 323 ราย ทั้งนี้ สมการแบบจำลอง Binary Logistic Regression สามารถพยากรณ์ว่าเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการให้มีการจัดตั้งตลาดสีเขียว จำนวน 312 ราย แสดงว่าพยากรณ์ได้ถูกต้อง คิดเป็นร้อยละ 96.60 ซึ่งในการภาพรวมมีกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 400 ราย โดยสมการของแบบจำลอง Binary Logistic Regression นี้สามารถพยากรณ์ถูกต้อง จำนวน 333 ราย คิดเป็นร้อยละ 83.30 ซึ่งกล่าวได้ว่า ความเป็นไปได้ในการจัดตั้งตลาดสีเขียวในอำเภอคอนตูม จังหวัดนครปฐม มีความเป็นไปได้สูงมาก (Table 3)

Table 3 Possibility of Establishing Green Market in binary logistic regression.

(n = 400)

Observed			Predicted		
			Possibility of Establishing Green Market		Percentage of Possibility
			NO	YES	
Step 1	Possibility of Establishing	NO	21	56	27.30
	Green Market	YES	11	312	96.60
Overall Percentage					83.30

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวในอำเภอคอนตูม จังหวัดนครปฐม ในผลการวิเคราะห์แบบจำลอง Binary Logistic Regression (Table 3) พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวของผู้บริโภค ประกอบด้วย 1) อายุของผู้บริโภค มีค่าสัมประสิทธิ์ (B) เท่ากับ 0.031 และค่า $\text{Exp}(B)$ เท่ากับ 1.032 หมายความว่า หากอายุของผู้บริโภคเพิ่มขึ้นหนึ่งปี จะเพิ่มโอกาสของความเป็นไปได้ในความ

ต้องการจัดตั้งตลาดสีเขียวมากขึ้น 1.03 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 2) ความถี่ในการซื้อสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยของผู้บริโภค มีค่าสัมประสิทธิ์ (B) เท่ากับ 0.426 และค่า $\text{Exp}(B)$ เท่ากับ 1.532 หมายความว่า หากผู้บริโภคมีความถี่ในการซื้อสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยมากขึ้น จะเพิ่มความเป็นไปได้ในการจัดตั้งตลาดสีเขียวมากขึ้น 1.53 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 3) ความสดใหม่ของสินค้า มีค่าสัมประสิทธิ์ (B) เท่ากับ 1.253 และค่า $\text{Exp}(B)$

เท่ากับ 3.500 ซึ่งให้เห็นว่าความสดใหม่ของสินค้ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเป็นไปได้ของความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวหมายความว่า เมื่อผู้บริโภคให้ความสำคัญกับความสดใหม่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเป็นไปได้ของความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวจะเพิ่มขึ้นประมาณ 3.50 เท่า 4) สินค้าในตลาดมีคุณภาพและมาตรฐานรับรอง มีค่าสัมประสิทธิ์ (B) เท่ากับ 0.917 และค่า Exp(B) เท่ากับ 2.501 ซึ่งหมายความว่าเมื่อสินค้าในตลาดมีคุณภาพและมาตรฐานรับรองเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความเป็นไปได้ของความต้องการในการจัดตั้งตลาด

สีเขียวจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2.50 เท่า และ 5) รูปแบบของตลาดสีเขียวที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค มีค่าสัมประสิทธิ์ (B) เท่ากับ 0.364 และค่า Exp(B) เท่ากับ 1.439 หมายความว่าหากตลาดสีเขียวมีรูปแบบของการจัดตั้งที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคเพิ่มขึ้น ความเป็นไปได้ของความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.44 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสามารถนำผลการวิเคราะห์จาก Table 4 มาแทนค่าในสมการ (1) จะได้แบบจำลอง Binary Logistic Regression ที่เหมาะสมดังนี้:

$$\text{Logit}(Y) = -10.073 + 0.031\text{Age} + 0.426\text{Frequency} + 1.253\text{Freshness} + 0.917\text{High quality} + 0.364\text{Green market models}$$

และสามารถสร้างสมการในการทำนายความเป็นไปได้ในการจัดตั้งตลาดสีเขียวในอำเภอ

ดอนตูม จังหวัดนครปฐม ตามค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการจัดตั้งตลาดสีเขียว ดังนี้:

$$P = \frac{1}{1 + e^{(-11.528 + 0.031\text{Age} + 0.426\text{Frequency} + 1.253\text{Freshness} + 0.917\text{High quality} + 0.364\text{Green market models})}}$$

Table 4 Factors' affecting the probability of establishing a green market.

(n=400)

Variable	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Age	.031	.010	9.370	1	.002	1.032
Frequency of purchasing products	.426	.122	12.164	1	.000	1.532
Freshness	1.253	.380	10.868	1	.001	3.500
High quality and standards	.917	.311	8.678	1	.003	2.501
Green market models	.364	.181	4.024	5	.045	1.439
Constant	-11.528	1.745	43.635	1	.000	.000

Note: Nagelkerke R Square = 0.293, Hosmer and Lemeshow Test (Sig = 0.870)

วิจารณ์

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยส่วนบุคคลด้านอายุของผู้บริโภค มีผลกับความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผู้บริโภคที่มีอายุมากกว่าจะมีแนวโน้มความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุรียา และคณะ (2558) ที่ได้ศึกษาความต้องการตลาดสีเขียวของประชากรในเขตจังหวัด

สงขลา โดยพบว่า ประชากรในกลุ่มที่มีอายุมาก มีแนวโน้มที่จะเลือกซื้อสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยสูงกว่า เนื่องจากกลุ่มที่มีอายุมากกว่ามักมีความตระหนักด้านสุขภาพสูงกว่า สำหรับปัจจัยด้านพฤติกรรมกรซื้อสินค้าของผู้บริโภคในด้านความถี่ในการซื้อสินค้า เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อโอกาสในการสนับสนุนการจัดตั้งตลาดสีเขียว โดยผู้บริโภคที่มีความถี่ในสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยมากขึ้น

จะมีแนวโน้มในการซื้อสินค้าจากตลาดสีเขียวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัยของ อัจฉริยาพร (2553) ซึ่งศึกษาพฤติกรรมการบริโภคสินค้าเกษตรปลอดภัย พบว่าผู้บริโภคที่มีความสนใจในสินค้าเกษตรปลอดภัย จะมีแนวโน้มในการซื้อสินค้าเหล่านี้บ่อยขึ้น ส่งผลให้เกิดความถี่ในการซื้อมากขึ้น เนื่องจากความสนใจดังกล่าวเกิดจากการตระหนักถึงความปลอดภัยของอาหารและสุขภาพของตนเองและครอบครัว ในส่วนของปัจจัยด้านส่วนประสมการตลาดในมุมมองผู้บริโภค (7Cs) ในการจัดตั้งตลาดสีเขียว พบว่า ความสดใหม่ของสินค้า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าเมื่อผู้บริโภครับรู้ว่าคุณภาพสินค้ามีความสดใหม่ จะเพิ่มโอกาสในการเลือกซื้อสินค้าจากตลาดสีเขียวถึงเกือบ 4.00 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกรรณิการ์ และคณะ (2563) ที่ระบุว่า คุณภาพสดใหม่ของสินค้าเกษตรเป็นปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากที่สุดในในการเลือกซื้อสินค้าเกษตรจากตลาดท้องถิ่น เนื่องจากความสดใหม่ของสินค้ามักสะท้อนถึงคุณภาพของสินค้า และผู้บริโภคส่วนมากเชื่อว่าสินค้าเกษตรที่สดใหม่จะมีสารอาหารครบถ้วนและปลอดภัยต่อการบริโภค นอกจากนี้ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการที่สินค้าในตลาดสีเขียวมีคุณภาพและมาตรฐานรับรอง มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าในตลาดสีเขียวอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะเพิ่มโอกาสในการสนับสนุนการจัดตั้งตลาดสีเขียวประมาณ 2.50 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของธัญญา และคณะ (2562) ที่ระบุว่า ผู้บริโภคห่วงใยและใส่ใจสุขภาพมาก โดยคำนึงถึงความปลอดภัยจากสารเคมี มีความมั่นใจในตรารับรองมาตรฐาน ส่งผลต่อการเลือกซื้อสินค้าที่มีการรับรองมาตรฐานมากกว่าสินค้าประเภทอื่น และสำหรับปัจจัยด้านความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อการจัดตั้งตลาดสีเขียว ในด้านรูปแบบของตลาดที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค หากมีการจัดตั้งตลาดสีเขียวที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น จะส่งผลให้ความเป็นไปได้ของความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียวสูงขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสในการจัดตั้งตลาดสีเขียวมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของอนูรัตน์ (2560) ที่ได้ศึกษาแนวทางการ

จัดตั้งตลาดนัดชุมชนเพื่อการพึ่งตนเองของชุมชนบ้านห้วยโค้ง พบว่าผู้บริโภคมีความต้องการในรูปแบบของตลาดชุมชนที่ตรงกับชีวิตความเป็นอยู่ของตนเอง หากตรงกับความต้องการก็จะมีแนวโน้มในการเข้ามาใช้บริการตลาดชุมชนมากขึ้น

สรุป

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียว ได้แก่ ปัจจัยส่วนบุคคลของผู้บริโภค พฤติกรรมการซื้อสินค้าของผู้บริโภค ความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อการจัดตั้งตลาดสีเขียว และปัจจัยส่วนประสมการตลาดในมุมมองผู้บริโภค (7Cs) โดยผู้บริโภคส่วนมากเป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 44.07 ปี มีความสนใจในการบริโภคสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยในระดับมากถึงมากที่สุด ในด้านความคิดเห็นด้านส่วนประสมการตลาด (7Cs) ผู้บริโภคมีความคิดเห็นในด้านส่วนประสมการตลาดในระดับมากถึงมากที่สุดในทุกด้าน จากผลการวิเคราะห์แบบจำลอง Binary Logistic Regression ซึ่งให้เห็นว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการในการจัดตั้งตลาดสีเขียว ได้แก่ อายุของผู้บริโภค ความถี่ในการซื้อสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัย ความสดใหม่ของสินค้า คุณภาพและการรับรองมาตรฐานของสินค้า และรูปแบบของตลาดสีเขียว ทั้งนี้ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของปัจจัยด้านคุณภาพสินค้า เช่น ความสดใหม่ คุณภาพและมาตรฐานของสินค้า รวมถึงประเภทของตลาดและประสบการณ์ของผู้บริโภคในการเลือกซื้อสินค้า เช่น ความถี่ในการซื้อ รวมถึงปัจจัยส่วนบุคคลด้านอายุของผู้บริโภค ผลวิจัยนี้สามารถช่วยให้ผู้ประกอบการตลาดสีเขียวพัฒนากลยุทธ์ในการเพิ่มยอดขาย โดยเน้นการให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพสินค้า การสร้างรูปแบบของตลาดที่ดีบรรยากาศการขายที่ดี และการทำตลาดเฉพาะกลุ่มที่ให้ความสนใจในสินค้าประเภทนี้มากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะที่ได้จากผลการวิจัยเพื่อพัฒนาและส่งเสริมความเป็นไปได้ในการจัดตั้งตลาดสีเขียว ในอำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม มีดังนี้ ควรมี

การส่งเสริมการผลิตสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยที่มีคุณภาพ ส่งเสริมการขอรับรองมาตรฐานต่าง ๆ เพื่อสร้างโอกาสในการจำหน่ายสินค้าให้แก่เกษตรกร ผู้ผลิต และผู้ประกอบการ มีการพัฒนาคุณภาพสินค้าให้มีความสำคัญกับความสดใหม่ของสินค้า รวมถึงจัดให้มีการตรวจสอบคุณภาพสินค้าอย่างสม่ำเสมอ และควรส่งเสริมความสนใจในสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัย โดยจัดกิจกรรมส่งเสริมความรู้เกี่ยวกับสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัยให้แก่ประชาชนในพื้นที่ เพื่อสร้างความตระหนักและกระตุ้นความสนใจในการบริโภคสินค้าเกษตรและอาหารปลอดภัย

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

. สำหรับงานวิจัยในอนาคตควรมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อความสำเร็จของตลาดสีเขียว เช่น พฤติกรรมผู้บริโภคในระยะยาว รวมถึงผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคมของตลาดสีเขียวในชุมชน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและนำไปสู่การวางแผนเชิงกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ควรมีการเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการจัดตั้งตลาดสีเขียวในพื้นที่อื่น ๆ เพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุดสำหรับการพัฒนาตลาดสีเขียวในระดับภูมิภาค ซึ่งจะช่วยให้การขยายตลาดสีเขียวเป็นไปอย่างเหมาะสมและยั่งยืน อีกทั้งควรศึกษาความคิดเห็นและความต้องการของกลุ่มเกษตรกร ซึ่งเป็นผู้ผลิตสินค้า เพื่อให้สามารถออกแบบตลาดสีเขียวที่ตอบโจทย์ความต้องการของทั้งผู้บริโภคและผู้ผลิตได้อย่างสมดุล พร้อมสร้างความยั่งยืนให้แก่ระบบตลาดในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

กรรณิการ์ คงวาริน และจินตนิษฐ์ ฐิธ. 2563. พฤติกรรม การบริโภคผักปลอดสารพิษของผู้บริโภคใน อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี. วารสารวิทยาการ การจัดการ 7(1): 51-76.

กัญญาณัฐ มากสูงเนิน และธิดารัตน์ อารีรักษ์. 2566. การประยุกต์การวิเคราะห์การถดถอย ลอจิสติกแบบทวิภาค และเทคนิคการ สังเคราะห์ข้อมูลเพิ่มจากกลุ่มส่วนน้อย สำหรับการทำนายการผิติดน้ำตาลในเชื้อ เพื่อการอุปโภคบริโภค. วารสารวิทยาศาสตร์ บุรพา 28(3): 1583-1599.

ธัญญา วันสาสืบ อำพร แจ่มผล และทวิศักดิ์ เตชะเกรียงไกร. 2562. ปัจจัยที่มีผลต่อ พฤติกรรมการบริโภคอาหารเกษตรอินทรีย์ ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร. หน้า 743-755. ใน: การประชุมวิชาการระดับ ชาติ ครั้งที่ 16. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

พันธจิตต์ สีเหนียง, คณิธรณ์ คำมณี, จิรจิราญ ถึงเงิน และเตชินทร์ ศรีเหนียง. 2563. บทบาทนัก ส่งเสริมการเกษตรต่อการพัฒนาตลาด เกษตรกรในจังหวัดลพบุรี. วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 3(3): 12-21.

วัลลภ รัฐธิดารานนท์. 2562. การหาขนาดตัวอย่าง ที่เหมาะสมสำหรับการวิจัย มายาคติใน การใช้สูตรของ ทาโร ยามาเน่ และเครทซี- มอร์แกน. วารสารสหวิทยาการวิจัย 8(1): 11-28.

ศิริระ ศิลาพันธ์. 2564. เกษตรปลอดภัย ทำอย่างไรใน กระบวนการผลิตพืชอาหาร. วารสาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 36(4): 4-7.

สำนักงานเกษตรอำเภออดอนตูม. 2566. แผน พัฒนาการเกษตรอำเภออดอนตูม 5 ปี (2566- 2570 ฉบับทบทวน). นครปฐม.

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครปฐม. 2566. โครงการส่งเสริมการบริโภคและใช้วัตถุดิบ สินค้า Q. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://www.opsmoac.go.th/nakhonpathom-dwl-files-451191791075> (14 มีนาคม 2568).

สำนักงานจังหวัดนครปฐม. 2566. วิสัยทัศน์/ พันธกิจ และเป้าประสงค์. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://www.nakhonpathom.go.th/content/vision> (3 ตุลาคม 2566).

สายธาร อินทร์ประสิทธิ์. 2567. ผลกระทบจากการใช้ สารเคมีทางการเกษตร. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://www.onep.go.th/> (14 มีนาคม 2568).

สุรียานิตยมี อาอี๊ะ บิลละเต๊ะ และยุพาภรณ์ อุไรรัตน์.

2558. ความต้องการตลาดสีเขียวของ
ประชากรในเขตจังหวัดสงขลา. รายงานวิจัย.
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช, สงขลา. 108
หน้า.

อัจฉริยาพร ศรีหมื่นไวย. 2553. ทศนคติต่อสินค้า
เกษตรอินทรีย์ของผู้บริโภคในภาคตะวันออก
เฉียงเหนือตอนล่าง 1.วิทยานิพนธ์การ
จัดการมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
สุรนารี, นครราชสีมา. 169 หน้า.

อนุรัตน์ ไชยปิ่น. 2560. แนวทางการจัดตั้งตลาด
นัดชุมชนเพื่อการพึ่งตนเองของชุมชนบ้าน
ห้วยไค้ง ตำบลยางเปียง อำเภอกมก้อย
จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
110 หน้า.

ผลของเอทีฟอนต่อการสุกและคุณภาพของผลกาแฟอาราบิก้าในจังหวัดเชียงใหม่
Effect of Ethephon on Ripening and Quality of Arabica Coffee Fruits in Chiang Mai Province

อำพล สอนสระเกษ¹ ศุภพัฒน์ ส่างขุน¹ ภาวนา ชมภูวงษ์¹ ราเชนทร์ ไคร์ครวญ¹
ธนะภูมิ เหล่าจันตา¹ และนพพร บุญปลอด^{1*}

Ampol Sornsaket¹, Khodchapat Sangkhun¹, Phawana Chompoowong¹, Rachane Kraikruan¹,
Tanapoom Laojunta¹ and Nopporn Boonplod^{1*}

Received: January 21, 2025

Revised: April 8, 2025

Accepted: April 10, 2025

Abstract: The study of the effect of Ethephon on ripening and quality of Arabica coffee fruits in Chiang Mai province aimed to study the efficiency of ethephon in stimulating simultaneous ripening of coffee fruits. The experimental design was completely randomized design (CRD) with 5 treatments, 4 replications, and 5 branches per replications: control group and spraying Ethephon at concentrations of 200, 400, 600, and 800 ppm. The results of the experiment showed that Ethephon could accelerate the ripening process of coffee fruits. Using a concentration of 800 ppm helped the coffee fruits ripen faster and could be harvested up to 33.13 percent after spraying within 2 weeks. The lowest concentration, 200 ppm, had the lowest drop rate but could still accelerate the ripening process effectively. In addition, the use of ethephon solution also increased the weight of coffee fruits. The fruits that received ethephon solution at a concentration of 200 ppm had the highest weight. Therefore, it can be said that the spraying of ethephon at a concentration of 200 mg/L is suitable for accelerating the ripening of coffee fruits because after spraying, there was less fruit drop, a higher percentage of harvest than the control treatment, and more fresh weight and seed length than other treatments.

Keywords: Arabica coffee, Ripening, Seed quality

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของเอทีฟอนต่อการสุกและคุณภาพของผลกาแฟอาราบิก้าในจังหวัดเชียงใหม่ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเอทีฟอน ในการกระตุ้นให้ผลกาแฟสุกพร้อมกัน วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) มี 5 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 5 กิ่ง ได้แก่ ชุดควบคุม และการพ่นเอทีฟอน ความเข้มข้น 200, 400, 600 และ 800 ppm ผลการทดลอง พบว่า เอทีฟอนสามารถเร่งกระบวนการสุกของผลกาแฟได้โดยการใช้ความเข้มข้น 800 ppm ช่วยให้ผลกาแฟเข้าสู่กระบวนการสุกได้เร็วและสามารถเก็บเกี่ยวได้สูงถึง 33.13 เปอร์เซ็นต์หลังการพ่นสารในระยะเวลา 2 สัปดาห์ ส่วนความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดคือ 200 ppm มีผลการหลุดร่วงต่ำที่สุด แต่ยังสามารถเร่งกระบวนการสุกได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การใช้สารละลายเอทีฟอนยังช่วยเพิ่มน้ำหนักของผลกาแฟ โดยผลที่ได้รับสารละลายเอทีฟอนที่ความเข้มข้น 200 ppm มีน้ำหนักมากที่สุด

¹สาขาวิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

¹Division of Horticulture, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, San Sai District, Chiang Mai 50290

*Corresponding author: nopporn@mju.ac.th

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการพ่นเอทีฟอนความเข้มข้นที่ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรเหมาะสมสำหรับการเร่งการสุกของผลกาแฟเนื่องจากหลังการพ่นสารมีการหลุดร่วงของผลน้อย มีร้อยละการเก็บเกี่ยวที่สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม มีปริมาณน้ำหนักรวม และความยาวเมล็ดมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆ

คำสำคัญ: กาแฟอาราบิก้า, การสุก, คุณภาพเมล็ด

คำนำ

กาแฟอาราบิก้า (*Coffea arabica* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในตลาดกาแฟโลก ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นทั้งในด้านคุณภาพและรสชาติ จึงได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั่วโลก โดยกาแฟอาราบิก้าครองส่วนแบ่งการตลาดมากกว่าร้อยละ 80 (คันสนีย์, 2565) และเป็นพันธุ์กาแฟที่มีการผลิตและบริโภคในปริมาณสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกาแฟพันธุ์อื่น ๆ กาแฟอาราบิก้ามีรสชาติที่ละเอียดอ่อน กลิ่นหอมเฉพาะตัว และมีคุณภาพสูงทำให้เป็นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องในระดับนานาชาติ นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่สามารถผลิตในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศเย็นและความสูง 800-1,200 เมตรจากระดับน้ำทะเล (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน), 2554) ซึ่งภาคเหนือของประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกกาแฟชนิดนี้ อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมกาแฟอาราบิก้าของประเทศไทยยังคงเผชิญความท้าทายที่สำคัญหลายประการ โดยเฉพาะหลังจากการเปิดเสรีทางการค้าภายใต้ข้อตกลงเขตการค้าเสรีอาเซียน (AFTA) ในปี 2553 ซึ่งส่งผลให้ภาชนำเข้าเมล็ดกาแฟและกาแฟสำเร็จรูปลดลง ทำให้ประเทศไทยต้องเผชิญการแข่งขันที่สูงขึ้นจากประเทศคู่แข่ง เช่น เวียดนาม ลาว และอินโดนีเซีย ซึ่งมีการผลิตกาแฟในปริมาณมากและต้นทุนการผลิตต่ำกว่าประเทศไทย การแข่งขันดังกล่าวทำให้เกษตรกรไทยต้องเพิ่มความสามารถในการผลิตและลดต้นทุนการผลิต เพื่อรักษาความสามารถในการแข่งขันในตลาดทั้งในระดับภูมิภาคและระดับโลก

ปัจจุบันอุตสาหกรรมกาแฟกำลังให้ความสำคัญกับการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยเฉพาะการใช้สาร

ควบคุมการเจริญเติบโตพืชเพื่อกระตุ้นให้ผลกาแฟสุกพร้อมกัน ซึ่งช่วยลดระยะเวลาและต้นทุนในการเก็บเกี่ยว เอทีฟอน (ethephon) เป็นสารปลดปล่อยเอทิลีนที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการนำมาประยุกต์ใช้กับกาแฟอาราบิก้า Winston *et al.* (1992) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเอทีฟอนต่อการเร่งการสุกของผลกาแฟ พบว่าสามารถเพิ่มสัดส่วนผลเบอร์รี่สีแดง (ผลสุก) ได้อย่างมีนัยสำคัญ ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเอทีฟอนคือ ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใช้และความเข้มข้นของสาร การศึกษาพบว่าการใช้เอทีฟอนในช่วงต้นของการเปลี่ยนสี (เมื่อผลเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดงประมาณ 15-20%) ให้ผลดีกว่าการใช้ในระยะหลัง (45-50%) อย่างไรก็ตาม ต้องระมัดระวังเรื่องความเข้มข้นที่เหมาะสมเนื่องจากความเข้มข้นสูงเกินไปอาจทำให้ใบร่วงมากเกินไปและส่งผลกระทบต่อผลผลิตในฤดูกาลถัดไป การศึกษาในพืชผลอื่นๆ ยังช่วยให้เข้าใจกลไกการทำงานของเอทีฟอนได้ดียิ่งขึ้น วรวิทย์ (2562) รายงานว่าการใช้เอทีฟอนความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตรในมะม่วงสามารถเร่งกระบวนการสุกได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่นๆ สอดคล้องกับแนวโน้มที่พบในกาแฟที่ต้องการความเข้มข้นในระดับที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับการประยุกต์ใช้ในประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่สูงเช่นจังหวัดเชียงใหม่ซึ่งเป็นแหล่งปลูกกาแฟที่สำคัญ จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยเฉพาะถิ่นเพิ่มเติม อาทิ ความแปรปรวนของอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืน รวมถึงระดับความสูงจากน้ำทะเลที่แตกต่างกันซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของเอทีฟอนในการเร่งการสุกของผลกาแฟ การศึกษาเพิ่มเติมในบริบทของประเทศไทย จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อพัฒนาคำแนะนำที่เฉพาะเจาะจงและเหมาะสมสำหรับเกษตรกรไทย

ทั้งในแง่ของความเข้มข้น ช่วงเวลาการใช้ และเทคนิคการฉีดพ่นที่เหมาะสม

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเอทีฟอน ในการกระตุ้นให้ผลกาแฟสุกพร้อมกัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ลดต้นทุนการผลิต โดยการนำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมกาแฟของประเทศไทยอย่างยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

คัดเลือกต้นกาแฟอาราบิก้าที่มีความสม่ำเสมอ อายุ 6 ปี ทั้งหมด 20 ต้น ระยะปลูก 2x2 เมตร ทุกต้นได้รับแสงที่สม่ำเสมอ ณ สวนเลาตีบ้านปางแฟน ตำบลเทพเสด็จ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) มี 5 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 5 กิ่ง โดยการฉีดพ่นเอทีฟอน ชื่อการค้า อีเท็กซ์ โดยมีความเข้มข้นสารออกฤทธิ์อยู่ที่ 48% W/V SL ผลิตโดย บริษัท ไอ ซี พี ลัดดา จำกัด ประเทศไทยบนกิ่งที่ติดผลในช่วงสัปดาห์ที่ 26 หลังดอกบาน (ระยะก่อนการพัฒนาสีผลจากสีเขียวเป็นสีแดง 2 สัปดาห์) โดยอ้างอิงการฉีดพ่นตามวิธี Winston *et al.* (1992) เทียบระยะการพัฒนารสชาติตาม Sanz-Urbe *et al.* (2008) จำนวน 1 ครั้ง ในช่วง 8:00 – 10:00 น. ช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 จึงได้กรรมวิธีดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 Control (พ่นน้ำกรอง)
กรรมวิธีที่ 2 Ethephon ความเข้มข้น 200 ppm
กรรมวิธีที่ 3 Ethephon ความเข้มข้น 400 ppm
กรรมวิธีที่ 4 Ethephon ความเข้มข้น 600 ppm
กรรมวิธีที่ 5 Ethephon ความเข้มข้น 800 ppm

การบันทึกข้อมูล

สุ่มกิ่งกาแฟที่มีขนาดความยาวเท่ากันในแต่ละต้นจำนวนต้นละ 5 กิ่ง จากนั้นทำการคัดเลือกผลผลิตให้มีจำนวนผลเท่ากันคือ 80 ผลต่อกิ่ง โดยคัดผลที่มีการเข้าทำลายของโรคและแมลงทิ้ง เมื่อได้

จำนวนตามที่ต้องการจะดำเนินการพ่นสารเอทีฟอนทั่วทั้งกิ่งในกิ่งที่เลือกไว้ จากนั้น 2 สัปดาห์จะเริ่มดำเนินการเก็บเกี่ยว โดยผลกาแฟที่จะเก็บเกี่ยวจะเป็นผลที่มีการเปลี่ยนสีเป็นสีแดงแล้ว 100% วิธีการเก็บข้อมูลประกอบด้วยการคำนวณเปอร์เซ็นต์และการวัดค่าทางกายภาพบางประการ ได้แก่เปอร์เซ็นต์การเก็บเกี่ยว ซึ่งคำนวณจากการนำจำนวนผลที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละครั้งในกิ่งเดิม โดยครั้งที่ 1 หลังการพ่นสาร 2 สัปดาห์ เก็บทั้งหมด 4 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 2 สัปดาห์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้หารด้วยจำนวนผลทั้งหมดที่ติดอยู่บนกิ่งที่นับได้ก่อนเริ่มการพ่นสารแล้วคูณด้วย 100 โดยครั้งที่ 2 – 4 จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สะสม จากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์การร่วงของผล โดยนำจำนวนผลที่ร่วง (ทำเช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์การเก็บเกี่ยว) หารด้วยจำนวนผลทั้งหมดแล้วคูณด้วย 100 ในการวัดค่าทางกายภาพนำผลกาแฟที่ไม่มีการเข้าทำลายของโรคและแมลงมาซึ่งน้ำหนักผล โดยชั่งหลังเก็บเกี่ยวภายใน 24 ชั่วโมง และน้ำหนักเมล็ด โดยชั่งหลังการปอกเปลือก ชัดเยื่อหุ้มเมล็ด และการตากแห้ง ในระยะเวลา 2 วัน หลังเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยใช้เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler toledo รุ่น PL3002 สำหรับการวัดขนาด ได้แก่ ความกว้างผล ความยาวผล ความหนาเปลือก ความกว้างเมล็ด และความยาวเมล็ด โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ดิจิตอลยี่ห้อ INSIZE รุ่น 1108-150 ทำการบันทึกข้อมูลซ้ำละ 50 ผล โดยแต่ละผลจะมีจำนวนเมล็ด 2 เมล็ด และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS statistics v. 29

ผลการศึกษา

การเก็บเกี่ยวและการสุก

การใช้สารละลายเอทีฟอนในการเร่งสุกของผลกาแฟอาราบิก้าที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ได้แก่ 0, 200, 400, 600 และ 800 ppm โดยทำการเก็บเกี่ยวผลกาแฟใน 4 ครั้ง เพื่อตรวจสอบผลกระทบของ

สารละลายเอทีฟอนต่อกระบวนการสุกและเปอร์เซ็นต์การเก็บเกี่ยวในแต่ละครั้ง การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 (2 สัปดาห์หลังให้สาร) พบว่า การใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 800 ppm ให้ผลที่ดีที่สุด โดยผลกาแฟเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกและมีเปอร์เซ็นต์การเก็บเกี่ยวที่ 33.13% ซึ่งสูงกว่าความเข้มข้นอื่น ๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการรวมวิธีอื่น ๆ โดยผลกาแฟที่ฉีดเอทีฟอนในระดับความเข้มข้น 200, 400, 600 ppm และชุดควบคุม มีเปอร์เซ็นต์การเก็บเกี่ยวที่ 25.75%, 18.15%, 27.32% และ 0% ตามลำดับ การเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2-4 (4-8

สัปดาห์หลังให้สาร) การฉีดพ่นสารละลายเอทีฟอนทุกความเข้มข้น มีเปอร์เซ็นต์การเก็บเกี่ยวสะสมไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับชุดควบคุม โดยการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 ชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การเก็บเกี่ยวสะสม 11.45% และเพิ่มขึ้นเป็น 31.49% และ 53.82% ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนชุดที่พ่นเอทีฟอน มีเปอร์เซ็นต์การเก็บเกี่ยวสะสม เท่ากับ 47.52-52.02% ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 และเพิ่มขึ้นเป็น 60.86-68.29% และ 72.24-78.60% ในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 และ 4 ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 The percentage of coffee fruit ripening after ethephon application over a period of 2 - 8 weeks.

Treatments	The percentage of coffee harvested			
	Week 2 ^{1/}	Week 4 ^{1/}	Week 6 ^{1/}	Week 8 ^{1/}
Control	0.00 ^d	11.45 ^b	31.49 ^b	53.82 ^b
Ethephon 200 ppm	25.75 ^b	47.52 ^a	60.86 ^a	72.37 ^a
Ethephon 400 ppm	18.15 ^c	52.02 ^a	67.58 ^a	78.60 ^a
Ethephon 600 ppm	27.32 ^b	50.81 ^a	68.29 ^a	72.24 ^a
Ethephon 800 ppm	33.13 ^a	50.07 ^a	66.03 ^a	74.87 ^a
F-test	**	**	**	**
C.V.%	10.67	6.82	6.35	6.64

Note: ** = significant difference at $p \leq 0.01$,

^{1/} = Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT.

การร่วงของผล

ผลของการฉีดพ่นสารละลายเอทีฟอนในความเข้มข้น 0, 200, 400, 600 และ 800 ppm ต่อการหลุดร่วงของผลกาแฟอาราบิก้าในช่วงเวลา 8 สัปดาห์หลังการฉีดพ่น โดยมีการติดตามการหลุดร่วงของผลในทุก 2 สัปดาห์เพื่อประเมินผลกระทบของสารเอทีฟอนต่อการพัฒนาของผลกาแฟ สัปดาห์ที่ 2 หลังการฉีดพ่น ผลที่ฉีดพ่นด้วยสารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 800 ppm แสดงผลการหลุดร่วงของผลสูงที่สุดที่ 9.79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายเอทีฟอนที่ความเข้มข้น 600, 200,

400 ppm และชุดควบคุม ที่มีเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงที่ 5.82, 3.48, 2.62 และ 0.99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 4 หลังการฉีดพ่น พบว่า การฉีดพ่นสารละลายเอทีฟอนที่ความเข้มข้น 800 ppm ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงสะสมสูงถึง 20.51 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 600 ppm ที่มีเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงสะสมที่ 19.01% แต่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้น 400, 200 ppm และชุดควบคุม ที่มีเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงสะสมที่ 8.77, 8.45 และ 3.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 6

หลังการฉีดพ่น พบว่า การฉีดพ่นสารละลายอีทีฟอน ที่ความเข้มข้น 800 ppm ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงสะสมสูงถึง 23.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้สารละลายอีทีฟอน ความเข้มข้น 600 ppm ที่มีเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงสะสมที่ 23.26 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายอีทีฟอนความเข้มข้น 400, 200 ppm และชุดควบคุม โดยมีเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงสะสมที่ 14.57, 14.51 และ 8.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 8 หลัง

การฉีดพ่น พบว่า การฉีดพ่นสารละลายอีทีฟอนความเข้มข้น 800 ppm ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงสะสมสูงถึง 25.81 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้สารละลายอีทีฟอนความเข้มข้น 600 ppm ที่มีเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงสะสมที่ 23.26 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้น 400, 200 ppm และชุดควบคุม ที่มีเปอร์เซ็นต์การหลุดร่วงสะสมที่ 18.90, 14.89 และ 8.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 The percentage of fruit drop after ethephon application over a period of 8 weeks.

Treatments	The percentage of coffee harvested			
	Week 2 ^{1/}	Week 4 ^{1/}	Week 6 ^{1/}	Week 8 ^{1/}
Control	0.99 ^d	3.23 ^c	8.02 ^c	8.02 ^d
Ethephon 200 ppm	3.48 ^c	8.45 ^b	14.51 ^b	14.89 ^c
Ethephon 400 ppm	2.62 ^c	8.77 ^b	14.57 ^b	18.90 ^b
Ethephon 600 ppm	5.82 ^b	19.01 ^a	23.26 ^a	23.26 ^a
Ethephon 800 ppm	9.79 ^a	20.51 ^a	23.31 ^a	25.81 ^a
F-test	**	**	**	**
C.V.%	12.02	8.83	7.44	12.88

Note: ** = significant difference at $p \leq 0.01$

^{1/} = Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT.

คุณภาพทางกายภาพของผลสด

ผลกาแฟที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยสารละลายอีทีฟอนความเข้มข้น 200 ppm มีน้ำหนักเฉลี่ยที่ 1.70 กรัมต่อผล ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้สารละลายอีทีฟอนความเข้มข้น 600, 800 และ 400 ppm โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยที่ 1.69, 1.67 และ 1.57 กรัมต่อผล ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับชุดควบคุมที่มีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพียง 1.28 กรัมต่อผล ด้านความยาวผล พบว่า ผลที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยสารละลายอีทีฟอนความเข้มข้น 400 ppm มีความยาวเฉลี่ยที่ 13.97 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความยาวที่มากที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้สารละลายอีทีฟอนในความเข้มข้นอื่นๆ และชุดควบคุม โดยความยาวเฉลี่ยของผลอยู่ในช่วง 12.10 ถึง 13.97 มิลลิเมตร ส่วนผลที่ได้รับการฉีด

พ่นด้วยสารละลายอีทีฟอนความเข้มข้น 600 ppm มีความกว้างเฉลี่ยที่ 13.63 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความกว้างที่มากที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้สารละลายอีทีฟอนในความเข้มข้นอื่นๆ โดยมีความกว้างเฉลี่ยที่อยู่ระหว่าง 12.43 ถึง 13.63 มิลลิเมตร ความหนาเปลือก : การฉีดพ่นด้วยสารละลายอีทีฟอนความเข้มข้น 600 ppm ส่งผลให้มีความหนาเปลือกเฉลี่ยที่ 0.39 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาเปลือกที่มากที่สุดซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้สารละลายอีทีฟอนความเข้มข้น 400 ppm ที่มีความหนาเปลือกเฉลี่ยที่ 0.35 มิลลิเมตร แต่จะมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการใช้สารละลายอีทีฟอนความเข้มข้น 800, 200 และชุดควบคุม โดยมีความหนาเปลือกเฉลี่ยที่ 0.34, 0.33 และ 0.30 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 The quality of fresh Arabica coffee fruits after harvest.

Treatments	Fruit weight ^{1/} (g)	Fruit length (mm)	Fruit width (mm)	Fruit skin thickness ^{1/} (mm)
Control	1.28 ^b	12.10	12.43	0.30 ^b
Ethephon 200 ppm	1.70 ^a	13.49	12.84	0.33 ^b
Ethephon 400 ppm	1.57 ^{ab}	13.97	12.47	0.35 ^{ab}
Ethephon 600 ppm	1.69 ^a	13.30	13.63	0.39 ^a
Ethephon 800 ppm	1.67 ^a	13.58	12.64	0.34 ^b
F-test	**	ns	ns	**
C.V.%	10.11	6.62	7.12	6.14

Note: ns = not significantly different, ** = significant difference at $p \leq 0.01$

^{1/} = Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT

คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดกาแฟแห้ง

น้ำหนักเมล็ดแห้ง พบว่า ผลที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยสารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 600 ppm มีน้ำหนักเมล็ดแห้งเฉลี่ยที่ 0.26 กรัมต่อเมล็ด ซึ่งเป็นน้ำหนักที่สูงที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีอื่น ๆ โดยน้ำหนักเฉลี่ยของเมล็ดแห้งอยู่ในช่วง 0.21 ถึง 0.26 กรัมต่อเมล็ด เมล็ดแห้งที่มีความยาวมากที่สุดพบว่าเป็นเมล็ดจากผลที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยสารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 200 ppm โดยมีความยาวเฉลี่ยที่ 9.72 มิลลิเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 600 ppm ที่มีความยาว

เฉลี่ยที่ 8.40 มิลลิเมตร แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการใช้สารละลายเอทีฟอนในความเข้มข้น 400 และ 800 ppm รวมถึงชุดควบคุมซึ่งมีความยาวเฉลี่ยที่ 7.84, 7.48 และ 7.00 มิลลิเมตรตามลำดับ ความกว้างเมล็ดแห้ง พบว่า เมล็ดแห้งที่มีความกว้างมากที่สุดคือเมล็ดจากผลที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยสารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 200 ppm และชุดควบคุม โดยมีความกว้างเฉลี่ยที่ 7.22 มิลลิเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการใช้สารละลายเอทีฟอนในความเข้มข้นอื่นๆ โดยความกว้างเฉลี่ยของเมล็ดแห้งอยู่ระหว่าง 5.84 ถึง 7.22 มิลลิเมตร (Table 4)

Table 4 The quality of dry Arabica coffee beans after harvest.

Treatments	Dry seed weight (g)	Dry seed length ^{1/} (mm)	Dry seed width (mm)
Control	0.23	7.00 ^b	7.22
Ethephon 200 ppm	0.24	9.72 ^a	7.22
Ethephon 400 ppm	0.25	7.84 ^b	6.40
Ethephon 600 ppm	0.26	8.40 ^{ab}	6.62
Ethephon 800 ppm	0.21	7.48 ^b	5.84
F-test	ns	**	ns
C.V.%	12.12	12.79	11.70

Note: ns = not significantly different, ** = significant difference at $p \leq 0.01$

^{1/} = Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to DMRT

วิจารณ์

เอทีฟอนเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ปลดปล่อยเอทิลีน โดยเอทีฟอนจะถูกดูดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชและสลายตัวให้เอทิลีน ฟอสเฟต และคลอไรด์ไอออน โดยเอทิลีนที่เกิดขึ้นจะกระตุ้นให้เกิดการสร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์ ส่งผลให้เกิดการอ่อนนุ่มของเนื้อเยื่อ (จริงแท้, 2544) จึงเป็นฮอร์โมนที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการสุกของผลไม้ (Crisosto *et al.*, 1991) ซึ่ง Winston *et al.* (1992) ได้ศึกษาผลของเอทีฟอนต่อการสุกของกาแฟอาราบิก้า พบว่าเอทีฟอนมีประสิทธิภาพในการเร่งการสุกของผลกาแฟ โดยทำให้สีของผลเชอร์รี่เข้มขึ้นและเพิ่มจำนวนผลเชอร์รี่สีแดง (ผลสุก) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาครั้งนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Carvalho *et al.* (2003) ในด้านระยะเวลาการเร่งการสุกของผลกาแฟ โดยพบว่าการใช้สารละลายเอทีฟอนสามารถเร่งกระบวนการสุกได้ประมาณ 14 วัน เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับการพ่นสารที่มีการเก็บเกี่ยว 0% ซึ่งอยู่ในช่วงที่ Carvalho *et al.* (2003) รายงานไว้ที่ 15-30 วัน ผ่านกลไกการกระตุ้นการสร้างเอทิลีนในผลกาแฟ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากการศึกษาก่อนหน้านี้ โดยได้ค้นพบความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างระดับความเข้มข้นของเอทีฟอนกับประสิทธิภาพในการเร่งการสุก โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 800 ppm ซึ่งแสดงประสิทธิภาพสูงสุดในการเก็บเกี่ยวในครั้งแรก และมีความแตกต่างกับการศึกษาของ Crisosto *et al.* (1991) ที่รายงานการเร่งการสุกเพียง 6 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของปัจจัยสภาพแวดล้อม สายพันธุ์กาแฟที่ใช้ในการทดลอง และช่วงเวลาของการใช้สารเอทีฟอน โดยงานวิจัยของ Crisosto *et al.* (1991) ดำเนินการในสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างและอาจใช้วิธีการประยุกต์ใช้เอทีฟอนที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ การฉีดพ่นเอทีฟอนที่ 26 สัปดาห์หลังดอกบานในการทดลองปัจจุบัน อาจเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมกว่าสำหรับการกระตุ้นการสร้างเอทิลีนในผลกาแฟ ทำให้เกิดการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่ชัดเจนกว่า เมื่อเทียบกับ

การศึกษาของ Carvalho *et al.* (2003) ที่มีผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน ซึ่งสนับสนุนความน่าเชื่อถือของผลการทดลองและเสริมสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เอทีฟอนในการจัดการการเก็บเกี่ยวผลกาแฟอาราบิก้าได้ในอนาคต นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Winston *et al.* (1992) ที่รายงานว่า การใช้เอทีฟอนที่ความเข้มข้นสูงกว่า 500 ppm มีประสิทธิภาพในการเร่งการสุกอย่างมีนัยสำคัญ และ Rodrigues *et al.* (2019) ที่พบว่าเอทีฟอนสามารถลดสัดส่วนของผลที่ไม่สุกได้ถึงร้อยละ 89 เมื่อใช้ในระยะผลเชอร์รี่ (28 – 30 สัปดาห์หลังดอกบาน) การศึกษานี้มีความสอดคล้องกับผลการวิจัยในผลไม้เศรษฐกิจชนิดอื่น โดยธีรนุต และคณะ (2546) รายงานว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเอทิลีนมีผลต่อการเร่งการสุกของผลมะม่วง และกฤษณา และคณะ (2555) พบว่าการใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสุกของผลทุเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษาทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเอทีฟอนในการควบคุมและเร่งกระบวนการสุกของผลไม้ในเชิงการค้า

การศึกษาผลกระทบของสารละลายเอทีฟอนต่อการร่วงของผลกาแฟได้แสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นของสารละลายเอทีฟอนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการหลุดร่วงของผลกาแฟอย่างชัดเจน โดยพบว่าความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการหลุดร่วงเพิ่มสูงขึ้น ตั้งแต่ 200 ppm จนถึง 800 ppm ซึ่งทุกความเข้มข้นให้ผลเพิ่มอัตราการหลุดร่วงสูงกว่าชุดควบคุมที่ร่วงตามธรรมชาติ โดยเพิ่มอัตราการร่วง 6.87-17.79 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าที่ความเข้มข้น 800 ppm ให้ผลการหลุดร่วงสูงสุด นอกจากนี้ จากใช้สารเอทีฟอนยังสามารถเก็บเกี่ยวผลกาแฟได้พร้อมกันเร็วกว่าวิธีควบคุมถึง 2 สัปดาห์ ทั้งนี้ ผู้วิจัยยังได้บันทึกลักษณะการพัฒนาของผลกาแฟ โดยผลสมบูรณ์จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองแล้วเป็นสีแดงเมื่อสุก ส่วนผลไม้สมบูรณ์จะแสดงความผิดปกติ เช่น ชีตของสี เปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างผิดปกติ และเหี่ยวเล็กน้อยก่อนหลุดร่วง ซึ่งข้อมูลนี้สามารถนำไป

พัฒนาเกณฑ์การคัดเลือกผลกาแฟที่มีคุณภาพ และ ประเมินประสิทธิภาพสารเร่งการร่วงได้ ทั้งนี้ผล ดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าของ Winston *et al.* (1992) ที่พบว่าหากใช้ความเข้มข้น เอทีฟอนมากกว่า 500 ppm จะทำให้ใบและผลร่วง ปริมาณมาก แต่หากใช้ที่ 250 ppm จะมีการหลุด ร่วงของใบและผลน้อยลง ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ได้ขยาย ความรู้โดยระบุช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมในการ ร่วงของผลกาแฟหลังการใช้สารเอทีฟอนคือการใช้ที่ ความเข้มข้น 200 ppm ผลการทดลองครั้งนี้จึงช่วย เพิ่มประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวและลดต้นทุนในการ ผลิตกาแฟเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต อย่างไรก็ตาม Sanz-Urbe *et al.* (2008) เน้นย้ำว่าไม่ควรใช้ความ เข้มข้นเอทีฟอนเกิน 1,000 ppm เพราะอาจทำให้ ผลร่วงมากเกินไป นอกจากนี้ ในประเทศไทย จึงแท้ (2544) รายงานว่าสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่ง สหรัฐอเมริกากำหนดค่ามาตรฐานความปลอดภัย ของการใช้เอทีฟอนไว้ที่ 7.5 มก./กก./วัน โดยไม่ควร รับเข้าสู่ร่างกายเกิน 4.5 มก./วัน หรือที่ความเข้มข้น ไม่เกิน 2,500 ppm เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพ ดังนั้น การใช้สารละลายเอทีฟอนในการเร่งการร่วง ของผลกาแฟจึงควรใช้ด้วยความระมัดระวัง โดยเลือก ใช้ที่ความเข้มข้น 200-800 ppm ซึ่งให้ผลในการเพิ่ม อัตราการร่วงได้อย่างเหมาะสม และควรหลีกเลี่ยงการ ใช้ความเข้มข้นสูงเกินไป เพื่อป้องกันผลกระทบต่อ สุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภค

การทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสารละลาย เอทีฟอนมีผลกระทบโดยตรงต่อลักษณะทางกายภาพ ของผลกาแฟ โดยเฉพาะการเพิ่มความหนาของเปลือก และน้ำหนักผล โดยการฉีดพ่นเอทีฟอนที่ความ เข้มข้น 600 ppm ส่งผลให้ความหนาของเปลือกเพิ่ม ขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ซึ่งกลไกทางสรีรวิทยา ที่เอทีฟอนทำให้เปลือกหนาขึ้นนั้นเกี่ยวข้องกับกาที่ เอทีฟอนเป็นสารตั้งต้นของเอทิลิน ซึ่งเมื่อเข้าสู่เซลล์ พืชจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซเอทิลินผ่านกระบวนการ ไฮโดรไลซิส กระตุ้นการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้อง กับการสังเคราะห์เซลล์ลูโลสและเฮมิเซลล์ลูโลส ในผนัง เซลล์ชั้นทุติยภูมิ รวมถึงการสะสมลิกนิน ซึ่งส่งผลต่อ

การหนาตัวของเปลือก แตกต่างกับ Crisosto *et al.* (1991) ที่รายงานว่าเอทีฟอนทำให้น้ำหนักผลและ น้ำหนักเมล็ดแห้งลดลง ความแตกต่างนี้อาจเกิดจาก ปัจจัยสำคัญหลายประการ เช่น ความแตกต่างของ สายพันธุ์กาแฟที่ใช้ในการทดลอง ความแตกต่างของ สภาพแวดล้อมและการจัดการโดยเฉพาะระยะเวลา เก็บเกี่ยวหลังการฉีดพ่น และความแตกต่างของความ เข้มข้นของสารละลายเอทีฟอนที่ใช้ อย่างไรก็ตาม ผล การศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Carvalho *et al.* (2003) ที่พบว่าเอทีฟอนที่ความเข้มข้นเหมาะสม (ไม่เกิน 800 ppm) ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ด กาแฟอาราบิก้า เปลือกที่หนาขึ้นนี้ทำหน้าที่เป็นเกราะ ป้องกันการแพร่ของสาร โดยเพิ่มความสามารถในการ ต้านทานการแพร่ของโมเลกุลเอทีฟอนเข้าสู่ชั้นเมโซ คาร์ปและเอนโดคาร์ปซึ่งล้อมรอบเมล็ด ทำให้ไม่ส่ง ผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดแห้ง นอกจากนี้ ข้อค้นพบ สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การที่น้ำหนักผลเพิ่มขึ้นอาจ เป็นผลมาจากการที่เอทิลินกระตุ้นการสะสมน้ำและ คาร์โบไฮเดรตในเปลือกผ่านการเพิ่มอัตราการไหล ของน้ำตาลและการแลกเปลี่ยนไอออน โดยข้อจำกัด ที่สำคัญของการศึกษานี้คือการไม่ได้ประเมินคุณภาพ ทางเคมีของเมล็ดกาแฟ ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่ควร ศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต โดยเฉพาะปริมาณคาเฟอีน และสารประกอบฟีนอลิก รวมถึงสารระเหยที่ให้กลิ่น เพื่อยืนยันผลกระทบของเอทีฟอนต่อคุณภาพทาง ประสาทสัมผัสโดยรวมของกาแฟ

สรุป

ผลการทดลองการใช้สารละลายเอทีฟอนใน การเร่งสุกของกาแฟอาราบิก้า พบว่า เอทีฟอนสามารถ เร่งกระบวนการสุกของผลกาแฟได้ประมาณ 4 สัปดาห์ การใช้ความเข้มข้น 200-800 ppm ช่วยให้ผลกาแฟเข้า สู่กระบวนการสุกได้ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้การใช้ความ เข้มข้น 800 ppm ทำให้ผลหลุดร่วงมากที่สุด ส่วน ความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดคือ 200 ppm มีผลหลุดร่วงต่ำ ที่สุด แต่คุณภาพเมล็ดแห้งจากผลที่ได้รับเอทีฟอนมี คุณภาพไม่แตกต่างจากชุดควบคุม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สวนเล่าดี บ้านปางแฟน ตำบล เทพเสด็จ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ในการอนุเคราะห์ต้นกาแฟสำหรับการทดลอง และ สาขาวิชาพืชสวน(ไม้ผล) คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการสำหรับดำเนินการเก็บข้อมูลในครั้งนี้จนสำเร็จ ลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ภุชญา หงษ์คู่, ณัฏฐา เล่ากุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น. 2555. การเร่งการสุกของทุเรียนหมอนทองต่อคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ และสารหอมระเหย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43(2) (พิเศษ): 417-420.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. ศรีวิทยาและเทคโนโลยี หลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 396 หน้า.
- ธีรนต์ รมโพธิ์ภักดิ์ เจริญ ขุนพรม สมนึก ทองบ่อ และ รุ่งนภา ก่อประดิษฐ์สกุล. 2546. ศรีวิทยา และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ภายหลังการเก็บเกี่ยว. รายงานวิจัย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), กรุงเทพมหานคร. 124 หน้า.
- วรวิทย์ ธิมพะเนาว์. 2562. การเร่งการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ต่อคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและสารหอมระเหย. วารสารเกษตร 35(1): 1-11.
- ศันสนีย์ นิตธรรมยอง. 2565. ส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟเพื่อความยั่งยืน. คู่มือโครงการส่งเสริมการเกษตร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 โครงการส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟเพื่อความยั่งยืน. สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร. กรุงเทพมหานคร. 4 หน้า.
- สถำบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). 2555. คู่มือองค์ความรู้ โครงการหลวงการปลูกกาแฟอาราบิก้าคุณภาพ พิมพ์ครั้งที่ 1. ทรินิตี้ไซน์ แอนด์ ครีเอชั่น. เชียงใหม่.
- Carvalho, G.R., A.N.G. Mendes, L.F. Carvalho and G.F. Bartholo. 2003. Efficiency of ethephon in the uniformization and anticipation of the maturation of coffee fruits (*Coffea arabica* L.) and beverage quality. *Ciência e Agrotecnologia* 27(1): 98-106.
- Crisosto, C.H., P.C. Tausend, M.A. Nagao, L.H. Fuchigami and T. Chen. 1991. Effect of ethephon on ripening, seed development, branch growth and leaf abscission of *Coffea arabica* L. *Journal of Hawaiian and Pacific Agriculture* 3: 13-17.
- Rodrigues, J.P., P.E. A. Salomão, S.D.J. Freitas, W.P. Rodrigues, T.B. Struiving and P. Vale. 2019. Effect of growth regulators on maturity of fruit and quality of coffee drink. *Research, Society and Development* 8(6), doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i6.1026>
- Sanz-Urbe, J.R., P.J. Ramos-Giraldo and C.E. Oliveros-Tascon. 2008. Algorithm to identify maturation stages of coffee fruits. pp. 167-174. *In: Advances in electrical and electronics engineering-IAENG special edition of the world congress on engineering and computer science* 2008. IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/WCECS.2008.130>
- Winston, E.C., M. Hault, C.J. Howitt and R.K. Shepherd. 1992. Ethylene-induced fruit ripening in arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32(3): 401-408.

ผลของการใช้ถ่านชีวภาพจากเศษไม้แปรรูปต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค
Effect of Biochar from Processed Wood Waste on the Growth of Green Oak Lettuce
(*Lactuca sativa*)

วันวิสาข์ วัฒนะพันธ์ศักดิ์¹, ณัฏชา ศรีหิรัญ², ธรรมธวัช แสงงาม³, ไยไหม ช่วยหนู⁴ และ
พงษ์เพชร พงษ์ศิวกาย^{2*}

Wanwisa Wattanapansak¹, Natcha Sornhiran², Thamthawat Saengngam³, Yaimai Chuaynoo⁴
and Pongpet Pongsivapai^{2*}

Received: October 25, 2024

Revised: April 22, 2025

Accepted: April 22, 2025

Abstract: Biochar is another mechanism that directly addresses the issue of global warming and also offers indirect benefits in terms of promoting plant growth and productivity. However, the effectiveness of biochar varies depending on its source materials, as well as the methods used in combination with chemical and organic fertilizers. This research was conducted to study the effect of using biochar and biochar mixed with vermicompost (premium biochar) as soil amendments on the growth of green oak lettuce. A completely randomized design with 4 replications of 5 treatments, which include: 1) Control (no biochar), 2) 1% biochar by weight of soil, 3) 2% biochar by weight of soil, 4) 1% biochar mixed with vermicompost by weight of soil, and 5) 2% biochar mixed with vermicompost by weight of soil. The experimental results found that the addition of biochar and premium biochar contributed to an increase in plant height, stem diameter, plant fresh weight and plant dry weight. Particularly, premium biochar at the rate of 2% by soil weight (MB2) gave highly significance difference of plant height (15.75 cm), stem diameter (8.65 mm), plant fresh weight (82.33 g), and plant dry weight (4.97 g). While other treatments gave plant height in range of 14.00-14.75 cm, stem diameter 6.53-6.80 mm plant fresh weight 62.95-76.45 g and plant dry weight 4.00-4.50 g. However, other plant growth parameters showed no significant difference among treatments.

Keywords: Biochar, Green oak lettuce, Vermicompost

¹ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

¹Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

²ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

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

³สถานีวิจัยกาญจนบุรี ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

³Kanchanaburi Research Station, Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

⁴สถานีวิจัยสิทธิพรกฤดากร ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

⁴Sitthiporn Kritsadakon Research Station, Research and Academic Service Center, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: fagrppp@ku.ac.th

บทคัดย่อ: ถ่านชีวภาพเป็นอีกกลไกหนึ่งที่ช่วยแก้ไขปัญหามภาวะโลกร้อนโดยตรงแล้ว ยังมีประโยชน์ทางอ้อมในแง่ของการส่งเสริมการเจริญเติบโต รวมถึงผลผลิตของพืช อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพนั้นย่อมมีความแตกต่างเนื่องจากวัสดุต้นกำเนิด รวมถึงแนวทางในการใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพผสมมูลไส้เดือนเป็นวัสดุปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์จำนวน 4 ซ้ำ 5 ดำรับทดลอง ได้แก่ 1) ควบคุมหรือไม่ใส่ถ่านชีวภาพ 2) ใส่ถ่านชีวภาพ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดิน 3) ใส่ถ่านชีวภาพ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดิน 4) ใส่ถ่านชีวภาพผสมมูลไส้เดือน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดิน และ 5) ใส่ถ่านชีวภาพผสมมูลไส้เดือน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดิน ผลการทดลองพบว่าการใช้ถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพผสมมูลไส้เดือนมีผลให้ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักสดต้น และน้ำหนักแห้งต้น เพิ่มขึ้น โดยกลุ่มดำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพผสมมูลไส้เดือน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดิน (MB2) ให้ความสูงต้น (15.75 เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (8.65 มิลลิเมตร) น้ำหนักสดต้น (82.33 กรัม) และน้ำหนักแห้งต้น (4.97 กรัม) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่ดำรับอื่น ๆ มีค่าความสูงต้นอยู่ในช่วง 14.00-14.75 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 6.53-6.80 มิลลิเมตร น้ำหนักสดต้น 62.95-76.45 กรัม และน้ำหนักแห้งต้น 4.00-4.50 กรัม สำหรับค่าการเจริญเติบโตอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างดำรับทดลอง

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ, ผักสลัดกรีนโอ๊ค, มูลไส้เดือน

คำนำ

ปัจจุบันโลกกำลังประสบกับวิกฤตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ความมั่นคงทางด้านอาหารและความต้องการด้านพลังงานซึ่งทั้งหมดเป็นประเด็นที่มีความเกี่ยวข้องอย่างยิ่งกับการจัดการทรัพยากรดิน ในปัจจุบันนักวิจัยหลายประเทศทั่วโลกพบว่าการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาดังกล่าวไปพร้อม ๆ กันคือเทคโนโลยีถ่านชีวภาพ หรือไบโอชาร์ (biochar) (Lehmann *et al.*, 2006; Anand *et al.*, 2022; Deng *et al.*, 2024) เกิดจากการเผาไหม้ของวัสดุธรรมชาติ ในสภาพที่ปราศจากออกซิเจน ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) ซึ่งมี 2 วิธี คือ การแยกสลายอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิเฉลี่ย 700 องศาเซลเซียส และการแยกสลายอย่างช้าที่อุณหภูมิเฉลี่ย 500 องศาเซลเซียส (Winsley, 2007) ถ่านชีวภาพจึงมีความแตกต่างจากถ่านทั่วไป (charcoal) ทั้งในด้านของกระบวนการผลิต และประโยชน์ในการใช้งาน โดยถ่านทั่วไปมักนิยมนำมาใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิง ฯลฯ ส่วนถ่านชีวภาพที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการ pyrolysis จะได้วัสดุที่อุดมไปด้วยคาร์บอนในรูปแบบเสถียร ซึ่งไม่ย่อยสลาย

ตามธรรมชาติโดยง่าย จึงทำให้เป็นวิธีการแก้ไขปัญหการเพิ่มการกักเก็บ และลดการปลดปล่อยคาร์บอนสู่ชั้นบรรยากาศได้โดยตรง (อรสา, 2549; สายชล และคณะ, 2563) และยังมีประโยชน์ทางอ้อมในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในแง่ของวัสดุปรับปรุงดิน (soil amendment) (Glaser *et al.*, 2001; Lehmann *et al.*, 2003; Lehmann, 2007) เนื่องจากสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทั้งในแง่ของความอุดมสมบูรณ์จากธาตุอาหารที่อยู่ในถ่าน และในแง่ของสมบัติทางด้านกายภาพของดินเช่นปรับปรุงโครงสร้างดิน ช่องว่างในดิน ความจุในการอุ้มน้ำ ความหนาแน่นของดิน (Warnock *et al.*, 2007; Atkinson *et al.*, 2010) สร้างสภาพแวดล้อมเป็นแหล่งสะสมอาหารให้จุลินทรีย์ (Krull *et al.*, 2010) ดังนั้นการประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรุงดินจึงเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในแง่ของการการพัฒนาที่ยั่งยืน (Lehmann *et al.*, 2006)

การศึกษามากมายได้รายงานประโยชน์ของถ่านชีวภาพในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางด้านเกษตรกรรม (Glaser *et al.*, 2001) โดยศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตต่อพืชนั้นมีความ

แตกต่างกันเนื่องจากปัจจัยหลัก เช่น 1) สมบัติของถ่าน ที่ขึ้นกับกระบวนการผลิต และสมบัติของวัสดุที่นำมาผลิต (Liu *et al.*, 2011; Ighalo *et al.*, 2023) 2) อัตราถ่านชีวภาพที่ใช้ (สมชาย และปัทมา, 2561) และ 3) ชนิดของพืชที่ปลูก ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพในการผลิตถ่านชีวภาพประเทศหนึ่งเนื่องจากมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมาก (ชัยสิทธิ์, 2563) เช่น ฟางข้าว แกลบ ยางพารา เหง้ามันสำปะหลัง กากอ้อย เศษข้าวโพด ฯลฯ นอกจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเศษไม้เหลือใช้จากการแปรรูปในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ต่าง ๆ ที่เติบโตมากขึ้นเป็นชีวมวลอีกประเภทหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพ นอกจากนี้อัตราถ่านชีวภาพที่ใช้ในอัตราที่แตกต่างกันยังส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตและผลผลิตที่แตกต่างกันอีกด้วย (อรประภา, 2564) ขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุต้นกำเนิดรวมถึงวิธีการผลิตในการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการจัดการปุ๋ยควบคู่ไปกับการใช้ถ่านชีวภาพ เพื่อช่วยในการยกระดับการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช (สายชล และคณะ 2563; อรประภา, 2564)

อย่างไรก็ตามการศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพจากเศษไม้เหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ต่อการเจริญเติบโตของพืชยังมีจำกัด ดังนั้นผลของการใช้ อัตราที่ใช้ รวมถึงการยกระดับประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพโดยการเข้าร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์จึงเป็นสิ่งที่สำคัญในการทดสอบหากต้องการจัดการวัสดุจากเศษไม้ ในแง่ของการลดการปลดปล่อยคาร์บอนเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพผสมมูลไส้เดือนต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของผักสลัดกรีนโอ๊ค เพื่อยืนยันผลของการใช้ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและเพื่อให้ทราบอัตราที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในแง่ของการส่งเสริมการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการทดลอง ณ โรงเรือน 5 ของคณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ประกอบด้วย 4 ซ้ำ จำนวน 5 ดำรับการทดลองดังนี้ 1. ควบคุม (ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ) (MC) 2. ใส่ถ่านชีวภาพสัดส่วน 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักดิน (MA1) 3. ใส่ถ่านชีวภาพสัดส่วน 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักดิน (MA2) 4. ใส่ถ่านชีวภาพที่ผสมมูลไส้เดือน 20 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วน 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักดิน (MB1) และ 5. ใส่ถ่านชีวภาพที่ผสมมูลไส้เดือน 20 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วน 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักดิน (MB2) รวมทั้งสิ้นมีทั้งหมด 20 กระถางโดยมีรายละเอียดแต่ละดำรับการทดลอง (Table 1)

การปลูกและการดูแลรักษา เพาะเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คในถาดเพาะกล้า จนต้นกล้าผักสลัดมีอายุ 21 วันหลังเพาะเมล็ด โดยต้นกล้าเริ่มมีใบจริง 2 ถึง 3 ใบ และมีส่วนสูงประมาณ 5 ซม. จึงย้ายกล้าปลูกลงในกระถางขนาด 6 นิ้ว โดยใช้ดินผสมกระถางละ 6 กก. ดินผสมที่นำมาใช้มีสมบัติเบื้องต้นคือค่าปฏิกิริยาดิน (pH) อยู่ในระดับ 7.62 อินทรีย์วัตถุ 28.68 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนทั้งหมด 1.43 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 1,870 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 11,680 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 2) โดยก่อนย้ายกล้าจะผสมดินผสมกับถ่านชีวภาพโดยสมบัติเบื้องต้นของถ่านชีวภาพ และถ่านชีวภาพผสมมูลไส้เดือน (Table 3) ซึ่งการใส่ถ่านชีวภาพแต่ละดำรับการทดลองที่ความแตกต่างทั้งอัตราและชนิด (Table 1) ใช้ถ่านชีวภาพอนุภาคน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ผสมกับดินผสมที่ระดับความลึก 0 ถึง 10 เซนติเมตร จากนั้นใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตรา 5 กรัม/กระถาง สัปดาห์ละ 1 ครั้งเป็นเวลา 5 สัปดาห์ (ทั้งหมด 25 กรัม) จนกระทั่งเก็บเกี่ยวที่อายุ 49 วันหลังปลูก

Table 1 The description of treatments.

Treatments	Descriptions	Amount of biochar (g)	Biochar mixed with vermicompost 20%	Symbol
1	Control	0	X	MC
2	Applied biochar 1% by soil weight	60	X	MA1
3	Applied biochar 2% by soil weight	120	X	MA2
4	Applied biochar + vermicompost 1% by soil weight	60	✓	MB1
5	Applied biochar + vermicompost 2% by soil weight	120	✓	MB2

การบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ทำการวัดความสูงต้นตั้งแต่ส่วนเหนือดินจนถึงปลายยอด ความกว้างทรงพุ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นโดยวัดที่ส่วนเหนือดิน 1 เซนติเมตร ด้วย ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ และค่าความเขียวใบโดยเครื่อง SPAD chlorophyll meter reading; SPAD-502) วัดใบที่ 2-3 ของต้นบริเวณโคน กลาง และปลายใบ วัดจำนวน 3 ครั้ง ต่อใบต่อดัน โดยเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและข้อมูลผลผลิต ที่ระยะ 49 วันหลังปลูก บันทึกข้อมูลโดยชั่งน้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งราก โดยน้ำหนักแห้งทั้งต้นและรากดำเนินการโดยนำส่วนเหนือดินทั้งหมด และส่วนของ

รากที่ทำความสะอาดรากพืชด้วยน้ำแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (กรัมต่อดัน) แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก

วิเคราะห์ข้อมูลดินหลังปลูก โดยทำการสุ่มตัวอย่างดินจากแต่ละกระถางฝังให้แห้งในร่มและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการ ประกอบด้วยพีเอชดิน อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 วัดสภาพการนำไฟฟ้าจากสารละลายดินที่สกัดจากดินอ้อมตัวด้วยน้ำ (ECe) อินทรีย์วัตถุ (OM) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K)

Table 2 The properties of potting soil used in this experiment.

Potting soil properties	Values
pH (soil : water = 1:1)	7.62
OM (%) ¹	28.68
Total N (%) ²	1.43
Available P (mg/kg) ³	1,870
Exchangeable K (mg/kg) ⁴	11,680

Note ¹ = Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934)

² = digestion + Kjeldahl method (Attanandana and Chanchareonsook, 1999)

³ = Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)

⁴ = Extract with NH₄OAc at pH 7.0 (Pratt, 1965)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองเช่น ข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance: ANOVA) เพื่อหาค่า F-test

และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของแต่ละตำรับทดลองโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม R

Table 3 Some of chemical properties of biochar and biochar (MA) mixed with vermicompost (MB).

Biochar properties	Biochar (MA)	Biochar + vermicompost (MB)	Methods
pH	10.13	10.00	9045 D Method
Total C (%)	79.70	86.00	ASTM D 5373-16: 2016
Total N (%)	0.44	0.70	ASTM D 5373-16: 2016
Total P (%)	0.61	0.60	Vanadomolybdate method
Total K (%)	0.69	0.71	ISO 16967: 2015

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการทดลองพบว่าการใช้ถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพผสมมูลไส้เดือนในทุกอัตราช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค (Table 4) โดยส่งผลให้ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง ($P < 0.01$) ตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพที่ผสมมูลไส้เดือน สัดส่วน 2 เปอร์เซนต์ (MB2) ให้ความสูงต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมีค่ามากที่สุด (15.75 เซนติเมตร และ 8.65 มิลลิเมตร ตามลำดับ) ความสูงต้นของ MB2 ไม่แตกต่างทางสถิติกับ MB1 และ MA2 ในขณะที่ขนาดลำต้นของ MB2 แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองอื่น ๆ ที่มีการใส่ถ่านชีวภาพ (MA1 MA2 และ MB1) อย่างไรก็ตาม ตำรับควบคุม (MC) ให้ความสูงต้น และขนาดลำต้นไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับอื่น ๆ ยกเว้น MB2 ขนาดทรงพุ่ม และความเขียวใบไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างตำรับทดลองตำรับอื่น ๆ นอกเหนือจาก MB2 มีค่าความสูงต้นอยู่ในช่วง 14.00-14.75 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 6.53-6.80 มิลลิเมตร ขนาดทรงพุ่มอยู่ในช่วง 16.75-19.00 เซนติเมตร และค่าความเขียวใบ (SPAD) อยู่ในช่วง 18.35-22.55

นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของผลผลิตผักสลัดกรีนโอ๊คระหว่างตำรับทดลอง (Table 5) พบว่า MB2 ให้

น้ำหนักสดต้น และน้ำหนักแห้งต้นสูงที่สุด (82.33 กรัม และ 4.97 กรัม ตามลำดับ) และไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองอื่น ๆ ที่มีการใส่ถ่านชีวภาพ (MB1 MA2 และ MA1) แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับ MC ในขณะที่น้ำหนักสดและแห้งของพืชตำรับ MC ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับตำรับอื่น ๆ (MB1 MA2 และ MA1) ยกเว้น MB2 ขณะที่น้ำหนักรากทั้งสดและแห้งไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างแต่ละตำรับทดลอง โดย MC มีค่าน้ำหนักสดและแห้งของรากสูงที่สุด (17.12 และ 1.72 กรัม ตามลำดับ) ตามมาด้วย MA1 MA2 MB1 และ MB2 ตามลำดับ

ผลวิเคราะห์ดินหลังปลูกพบว่า ค่าการนำไฟฟ้า (ECe) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail.P) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างแต่ละตำรับทดลอง (Table 6) ค่า EC_e ของทุกตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับ MC ซึ่งไม่ใส่ถ่านชีวภาพ นอกจากนี้ Avail.P ในตำรับ MB2 มีค่าสูงที่สุด (1,003 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ยังให้ผลสอดคล้องกับผลผลิตโดยเฉพาะน้ำหนักสดและแห้งของพืช ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ แต่แตกต่างทางสถิติกับ MC2 ซึ่งไม่มีการใส่ถ่านชีวภาพ ในขณะที่สมบัติดินอื่นๆ เช่น pH OM Total N และ Exch. K ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างแต่ละตำรับทดลอง ($P > 0.05$)

Table 4 Growth of green oak lettuce at 49 days after planting.

Treatments	Plant height (cm)	Canopy width (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf greenness (SPAD)
MC	14.00 ^b	16.75	6.53 ^b	18.35
MA1	14.00 ^b	17.00	6.60 ^b	20.13
MA2	14.75 ^{ab}	17.63	6.63 ^b	20.33
MB1	14.75 ^{ab}	18.00	6.80 ^b	22.55
MB2	15.75 ^a	19.00	8.65 ^a	22.08
F-test	**	ns	**	ns
C.V. T (%)	5.56	11.97	16.10	19.37
P-value	<0.01	>0.05	<0.01	>0.05

Note: Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.01$ by DMRT, **indicated significant difference at $P < 0.01$, ns = there was no statistical difference

Table 5 Yield of green oak lettuce.

Treatments	Plant fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Plant dry weight (g)	Root dry weight (g)
MC	62.95 ^b	17.12	4.00 ^b	1.27
MA1	68.14 ^{ab}	14.87	4.19 ^{ab}	1.03
MA2	72.51 ^{ab}	14.47	4.30 ^{ab}	0.84
MB1	76.45 ^{ab}	13.96	4.50 ^{ab}	0.79
MB2	82.33 ^a	12.30	4.97 ^a	0.78
F-test	**	ns	**	ns
C.V. T (%)	6.54	32.58	18.18	56.28
P-value	<0.01	>0.05	<0.01	>0.05

Note: Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.01$ by DMRT, **indicated significant difference at $P < 0.01$, ns = there was no statistical difference

การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการใส่ถ่านชีวภาพที่ผสมมูลไส้เดือนสัดส่วน 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตด้านความสูง น้ำหนักต้น และขนาดต้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับ ศิริลักษณ์ และอรสา (2556) พบว่า การใช้อัตราส่วนปุ๋ยคอก 25 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านชีวภาพ ทำให้ความสูงและน้ำหนักเฉลี่ยของคะน้าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองอื่นๆ ที่ให้เห็นว่าการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลไส้เดือนสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ และยังสอดคล้องกับสมบัติดินผสมหลังปลูก (Table 6)

ซึ่งพบว่าตำรับ MB2 ส่งผลให้มี Avail. P และ EC ในดินหลังปลูกสูงที่สุด ซึ่งบ่งชี้ว่าการใช้อัตราถ่านที่มากขึ้น ร่วมกับมูลไส้เดือน อาจส่งผลให้มี Avail. P สะสมในดินได้มากขึ้น รวมถึงไอออนต่าง ๆ สะสมมากขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของค่า EC ด้วย ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้จึงมีส่วนในการช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังพบงานวิจัยที่ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองนี้ Carter *et al.* (2013) พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม และกะหล่ำปลีทำให้มีจำนวนใบสูงกว่าการไม่ใช้ถ่านชีวภาพ และมี

ผลต่อน้ำหนักสดของผักที่เพิ่มขึ้น นลินอร (2566) ที่พบว่าค่าน้ำหนักสดและความสูงของผักสลัด ในกลุ่มทดลองที่เปรียบเทียบการใส่และไม่ใส่ถ่านชีวภาพพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีมีผลให้น้ำหนักสดของผักสลัดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ย ให้ค่าน้ำหนักสดต่อต้นสูงที่สุด (272.44 กรัมต่อต้น) นอกจากนี้ สายชล และคณะ (2563) รายงานว่าการใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับวัสดุปลูกช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของถั่วฝักยาวไร้ค้าง ซึ่งจากการศึกษาก่อนหน้านี้มีความสอดคล้องกับผลการทดลองของการศึกษานี้ เนื่องจากถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหาร และอินทรีย์วัตถุในดิน รวมถึงส่งเสริมการกักเก็บธาตุอาหาร (สายชล และคณะ, 2563) และยังช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของ

ดิน (Pandian *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตามมีเพียงแค่ตำรับทดลอง MB2 ในการทดลองนี้เท่านั้นที่สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ ในขณะที่ตำรับทดลองอื่น ๆ ในการศึกษาที่ใส่ถ่านชีวภาพให้ผลการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คไม่แตกต่างกับตำรับควบคุม ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลของการศึกษาก่อนหน้านี้ เนื่องจากอาจเป็นเพราะอัตราที่ใช้ (อรประภา, 2564) เนื่องจากการใช้อัตราที่เหมาะสม หรือมากพออาจส่งผลให้ส่งเสริมการเจริญเติบโตสูงขึ้น ดังนั้นในการใส่ถ่านชีวภาพเพื่อจุดประสงค์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ควรต้องคำนึงถึงอัตราที่เหมาะสม ชนิดของวัสดุต้นกำเนิด การเพิ่มประสิทธิภาพด้วยปุ๋ยอินทรีย์ รวมถึงชนิดพืชที่เพาะปลูก ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบเพิ่มเติมในปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้

Table 6 The properties of potting soil after experiment.

Treatments	pH	EC (dS/m)	OM (%)	Total N (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)
MC	6.88	0.72 ^b	17.79	0.16	877.82 ^b	1,711.54
MA1	6.96	0.96 ^a	23.17	0.27	949.43 ^{ab}	1,828.08
MA2	7.04	1.04 ^a	22.05	0.24	890.00 ^{ab}	1,747.74
MB1	6.83	1.00 ^a	23.22	0.27	936.09 ^{ab}	1,586.11
MB2	6.95	1.05 ^a	19.64	0.20	1,003.78 ^a	1,669.52
F-test	ns	**	ns	ns	*	ns
C.V. T (%)	1.70	14.38	17.34	27.09	6.33	9.67
P-value	>0.05	<0.01	>0.05	>0.05	<0.05	<0.05

Note: Numbers in the same column followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$ by DMRT,

**indicated significant difference at $P < 0.01$, * indicated significant difference at $P < 0.05$, ns = there was no statistical difference

สรุป

การศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพและถ่านชีวภาพผสมมูลไส้เดือนเป็นวัสดุปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คพบว่าผลการทดลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนโอ๊คตำรับทดลอง MB2 มีการเจริญเติบโตและผลผลิตดีที่สุดไม่แตกต่างกับตำรับทดลองอื่น ๆ ที่มีการใช้

ถ่านชีวภาพ แต่ปัจจัยที่ส่งผลให้ MB2 ส่งผลโดดเด่นที่สุดอาจเนื่องมาจาก 2 ปัจจัยคือ อัตราที่ใช้ ร่วมกับการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการผสมกับมูลไส้เดือน 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการใช้ถ่านชีวภาพในอัตราที่เหมาะสมร่วมกับการจัดการปุ๋ยทั้งเคมี และอินทรีย์สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช จึงเป็นประโยชน์ต่อการเตรียมวัสดุปลูก หรือการ

เตรียมดินเพื่อการปลูกพืชในอนาคต อย่างไรก็ตาม ควรทำการวิจัยเพิ่มเติมทั้งในเรื่องของอัตราที่ใช้ การจัดการร่วมกับปุ๋ยเคมีและอินทรีย์ พืชชนิดอื่น ๆ รวมถึงผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย จาก บริษัท บาลฟ์ อินโนเวชั่น ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด ปี 2566 และขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้ช่วยแนะนำ อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมถึงเจ้าหน้าที่ศูนย์บริการวิชาการ คณะเกษตร กำแพงแสน ในเรื่องของการอำนวยความสะดวก การดำเนินงานต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- ชัยสิทธิ์ ทองจุ. 2563. การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเพื่อประโยชน์ทางการเกษตร. เกษตรอภิรมย์ 6(30): 44-45.
- นลินอร น้อยปลอด. 2566. ผลของการใช้ถ่านชีวภาพจากผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) ร่วมกับการจัดการปุ๋ยต่อผลผลิตในผักสลัด (*Lactuca sativa*). วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ 15(21): 15-26.
- ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์ และอรสา สุกสว้าง. 2556. การประยุกต์ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร. วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ 39(2): 212-225.
- สมชาย บุตรนันท์ และปัทมา วิทยากร. 2561. มหัตศวรรษถ่านชีวภาพกับผลกระทบสองชั่ว. เกษตร 46(6): 1167-1176.
- สายชล สุขญาณกิจ, สิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์, ธนภัทร ปลื้มพวง, และธนวรรณ พาณิชพัฒน์. 2563. ผลของถ่านชีวภาพร่วมกับการจัดการปุ๋ยต่อผลผลิตและความเข้มข้นธาตุอาหารในถั่วฝักยาวไร้ค้าง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 28(3): 443-454.
- อรประภา เทพศิลป์วิสูตร. 2564. ผลของปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตปริมาณรงควัตถุและปริมาณธาตุอาหารในผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกในสภาพดินกรด. เกษตร 49(2): 294-303.
- อรสา สุกสว้าง. 2549. Biochar Technology. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ เรื่อง เทคโนโลยีถ่านชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- Anand, A., V. Kumar and P. Kaushal. 2022. Biochar and its twin benefits: Crop residue management and climate change mitigation in India. Renewable and Sustainable Energy Reviews 156: 111959.
- Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald and N. A. Hipps. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. Plant and Soil 337: 1-18.
- Attanandana, T. and J. Chanchareonsook. 1999. Practice and Manual of Soil and Plant Analysis. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 108 p. (in Thai)
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Science 59: 39-45.
- Carter, S., S. Shackley, S. Sohi, T.B. Suy and S. Haefele. 2013. The Impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lettuce sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). Agronomy 3: 404-418.
- Deng, X., F. Teng, M. Chen, Z. Du, B. Wang, R. Li and P. Wang. 2024. Exploring negative emission potential of biochar to

- achieve carbon neutrality goal in China. *Nature Communications* 15: 1085.
- Glaser, B., L. Haumaier, G. Guggenberger and W. Zech. 2001. The Terra Preta phenomenon : a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88: 37-41.
- Ighalo, J.O., J. Conradie, C.R. Ohoro, J.F. Amaku, K.O. Oyedotun, N.W. Maxakato, K.G. Akpomie, E.S. Okeke, C. Olisah, A. Malloum and K.A. Adegoke. 2023. Biochar from coconut residues: An overview of production, properties and applications. *Industrial Crops & Products* 204: 117300.
- Krull, E., B. Singh, and S. Joseph. 2010. Preface to special issue: Proceedings from the first Asia-Pacific biochar conference 2009, Gold Coast, Australia. *Australian Journal of Soil Research* 48: 1-4.
- Lehmann, J., P. da Silva Jr., C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, and B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil* 249: 343-357.
- Lehmann, J., J. Gaunt and M. Rondon. 2006. Biochar Sequestration in terrestrial ecosystems-A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 403-427.
- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. *Nature* 447: 143-144.
- Liu, T., Y. M. Yang, Y. Wu, H. Wang, Y. Chen and W. Wu. 2011. Reducing CH₄ and CO₂ emissions from waterlogged paddy soil with biochar. *Journal of Soils and Sediments* 11: 930-939.
- Pandian, K., P. Subramaniayan, P. Gnasekaran and S. Chitraputhirapillai. 2016. Effect of biochar amendment on soil physical, chemical and biological properties and groundnut yield in rainfed alfisol of semi-arid tropics. *Archives of Agronomy and Soil Science* 62: 1293-1310.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. p. 1022-1030. *In*: C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis. Part II.* The American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- Warnock, D.D., J. Lehmann, T.W. Kuyper and M.C. Rillig. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil: Concept and mechanisms. *Plant and Soil* 300: 9-20.
- Winsley, P. 2007. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. *New Zealand Science Review* 64: 1-10.

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ (ต่อ)

3) เรียงย่อในหนังสือหรือตำรา ที่มีผู้เขียนแยกในแต่ละเรื่อง ย่อย และมีบรรณาธิการ (Chapters in books or textbooks with separated author(s) in each chapter and editor(s))

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องย่อ. หน้า เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด.

ใน: ชื่อบรรณาธิการ (บก.). ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์, เมืองที่พิมพ์.

ดำรง เวชกิจ และสมบุญรัตน์ ทองสกุล. 2535. เทคนิคการใช้สารป้องกันกำจัด ศัตรูพืช. หน้า 22-42. ใน: สุวัฒน์ รวยอารีย์ (บก.). แมลงและ สัตว์ศัตรูที่สำคัญของพืชเศรษฐกิจและการบริหาร. ห้างหุ้นส่วน จำกัด โอเคเค สแควร์, กรุงเทพมหานคร.

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 (Thesis/Dissertation)

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

อโนชา แก้ววงษ์วาลย์. 2558. การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรม ของถั่วเขียวผิวดำโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลชนิด SSR. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 106 หน้า.

Liquido, N.J. 1982. Population ecology of *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter (Heteroptera: Miridae). Ph.D. Dissertation. University of Hawaii, Honolulu. 175 p.

5) รายงานการประชุม สัมมนาทางวิชาการ (Reports and Proceedings)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องย่อ. หน้า เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าที่สิ้นสุด.

ใน: รายงานการประชุม สัมมนา. สถานที่จัดประชุม.

นฤพนธ์ รักขนิณ ชัยสิทธิ์ ทองจุ ศุภชัย อ่ำคำ จุฑามาศ ร่มแก้ว และศิริสุดา บุตรเพชร. 2556. การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้จาก โรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว. หน้า 100-110.

ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ ครั้งที่ 10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน, นครปฐม.

Feigenbaum, S., A. Bar-Tal and D.L. Sparks. 1990. Dynamics of soil potassium in multicationic systems. pp. 145-161. In: Proceedings of the 22nd Colloquium of the International Potash Institute, Bern.

6) เอกสารวิชาการอื่น ๆ (Other forms of academic documents)

ชื่อผู้เขียน หรือหน่วยงาน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่องหรือชื่อหนังสือ. ประเภท ของเอกสาร. สถาบันหรือหน่วยงานที่ จัดพิมพ์, เมืองที่พิมพ์. จำนวนหน้าทั้งหมด.

กรมวิชาการเกษตร. 2557. เทคโนโลยีการผลิตมะม่วงตามระบบ GAP. เอกสารวิชาการ. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรที่ 6, จันทบุรี. 45 หน้า.

Lantican, F.A. 2008. The Philippine banana industry: market performance, constraints and policy direction. SEARCA professorial chair paper. Department of Agricultural Economics, College of Economics and Management, UP Los Baños. 46 p.

7) สื่ออิเล็กทรอนิกส์ (Electronic media)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: ที่อยู่ของ ไฟล์หรือเว็บไซต์ (URL) (วัน เดือน ปีที่สืบค้นข้อมูล ถ้าเป็น ภาษาอังกฤษใช้ เดือน วันที่ ปีที่สืบค้นข้อมูล).

ในกรณีไม่มีข้อมูลปีที่พิมพ์ ให้ระบุเป็นปีที่เข้าสืบค้นข้อมูล

พีรเดช ทองอำไพ. 2554. เกษตรไทยในอนาคต. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: www.ladda.com/managedataladda/journal/agriculturethailand.pdf (2 พฤษภาคม 2556).

Unardakis, D. K. and B. I. Manois. 2005. Hydroponic culture of strawberry in perlite. (Online): Available Source: www.schunder.com/strawberries.htm (April 21, 2005).

รูปแบบในการใช้ภาษาอังกฤษในเนื้อเรื่องภาษาไทย

ชื่อวิทยาศาสตร์ ให้เขียนตามหลักเกณฑ์การเขียนชื่อ วิทยาศาสตร์ โดยในครั้งแรกที่ปรากฏชื่อนี้ ให้สะกดคำเต็ม เช่น *Sitophilus zeamais* และพิมพ์เป็นอักษรแบบตัวเอน หลังจากนั้น ถ้ามีการระบุชื่อนี้ซ้ำให้ย่อชื่อสกุล โดยเขียน เป็น *S. zeamais*

ชื่อเฉพาะ ให้ขึ้นต้นด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ เช่น Motschulsky, January, Chinese, โรคใบจุดเหลือง (Yellow spot disease)

หัวข้อ ตารางที่ ภาพที่ ให้ขึ้นต้นด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ เช่น Abstract, Keywords, Table 1, Figure 2

คำย่อ ให้ใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด และควรระบุคำเต็มไว้ ในการใช้ครั้งแรก เช่น Randomized Complete Block Design (RCBD)

คำในวงเล็บที่ไม่ใช่ชื่อเฉพาะ หรือคำย่อ ให้ใช้อักษรตัวพิมพ์ เล็ก เช่น ตัวรับควบคุม (control), สปอร์แขวนลอย (spore suspension), เครื่องวัดแรงดึงน้ำของดิน (tensiometer)

การส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์

ให้ส่งไฟล์บทความต้นฉบับทางออนไลน์เท่านั้น โดยส่งที่ <https://ii02.tci-thaijo.org/index.php/JASM>

การบอกรับเป็นสมาชิก

บอกรับเป็นสมาชิกจากใบบอกรับเป็นสมาชิกท้ายเล่ม หรือติดต่อกอง บรรณาธิการโดยตรง

การตอบรับบทความ

บทความทุกบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์เกษตร และการจัดการต้องผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิไม่น้อยกว่า 3 ท่าน และผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาตอบรับการตีพิมพ์จำนวน 2 ท่านจากจำนวน 3 ท่าน *โดยบทความทุกเรื่องใช้ระบบการตรวจอ่านแบบ (double-blinded review system)*

สำนักงานและการติดต่อ (Office and Inquiries)

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ งานแผนและวิชาการ สำนักงานเลขานุการ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

โทรสาร 034-351406 ต่อ 117

โทร. 034-351406 ต่อ 126-127

Editorial Board, Journal of Agricultural Science and Management, Planning and Technical Division, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University

Fax 034-351406 ext. 117

Tel. 0034-351406 ext. 151

E-mail : agriscim@gmail.com

JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND MANAGEMENT

A Technical Journal of the Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University

Volume 9, Issue 2 May - August 2026

Factors Affecting Farmers' Decision to Greenhouse Vegetable Farming in Santha Subdistrict, Na Noi District, Nan Province Atchariya Tonapo, Nareerut Seerasarn and Parichat Dittakit.....	5
Achievement Evaluation on Project of Promoting and Developing Livestock in Southern Border Region of Menara Beef Cattle Cooperative in Narathiwat Province Thuanthong Krutchon.....	15
The Effects of Sucrose Solution and Vacuum Packaging on β -carotene Content in Frozen Champedak (<i>Artocarpus integer</i> Merr.) Pulp Jatuporn Khongtong, Chantira Wongwichien, Jutaporn Limsuwanmanee and Naruemon Meeboon.....	27
Multiple-Herbicide Resistance in Pyribenzoxim Resistant Barnyardgrass (<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.Beauv.) in Paddy Fields Jiraphon Intem, Jamnian Chompoo and Tosapon Pornprom.....	39
Comparison of IAA Concentrations on Growth and Rooting in Vine Cuttings of <i>Dioscorea alata</i> Anussara Chopsri and Nopparat Piroj.....	49
Effect of the Herbicide 2,4-D-dimethylammonium on the Microbial Population of Maize Plots in Nakhon Ratchasima Province Boontarik Chimchart, Jitra kokaew, Amnat Eamvijarn, Kanokon Bunpha, Sontaya Khamtib, Monchai Manassila, Jantima Phonkongand and Tawatchai Inboonchuay.....	58
Effect of Total Digestible Nutrient in Commercial Concentrates on Feedlot Performance, Carcass Characteristics and Feed Cost of Daily Steers Anchalee Khongpradit, Kongpatom Kamjanasirm, Prayad Thirawong, Watcharaporn Boonsaen, Mansion Srisupha, Sopita Buaban, Pajaree Gruaysap, Busaba Kaewkomut and Suriya Sawanon.....	70
Estimation of Genetic Variance and Combining Ability of Drought Tolerance in Maize Nasma Donlaman and Pattama Hannok.....	82
Utilization of by-Product from Tanning Industry on Growth and Yield of Maize Planted in Kamphaeng Saen Soil Series Achrika Sintapanin Chaisit Thongjoo Tawatchai Inboonchuay and Aunthicha Phommuangkhu.....	93
Phenolic and Anthocyanin Contents and Antioxidant Activity in Medicinal Black Sugarcane Siriphan Sukkhaeng, Nongluk Teinseree, Somnuk Promdang, Patiwat Sookgul, Apiwich Songkarsin and Anuruck Arunyanark.....	105
Effects of Plant Growth Regulators on <i>In vitro</i> Shoot Multiplication and Root Induction of Elephant Foot Yam (<i>Amorphophallus muelleri</i> Blume) Saowanee Saroj, Niphit Pinitphon and Rapeetouch Unjittphan.....	118
Forecasting the Export Volumes and Prices of Thailand's Coconut and Coconut Product Using the Box-Jenkins Method Chidchanok Lekkao, Chalermpon Jatuporn and Vasu Suvanvihok.....	127
Factors Affecting the Need for Establishing a Green Market, Don Tum District, Nakhon Pathom Province Patcharaphan Khuhamuk, Sonthaya Sampaothong and Rapee Dokmaithes.....	137
Effect of Ethephon on Ripening and Quality of Arabica Coffee Fruits in Chiang Mai Province Ampol Sornsaket Khodchapat Sangkhun Phawana Chompoowong Rachane Kraikruan Tanapoom Laojunta and Nopporn Boonplod.....	148
Effect of Biochar from Processed Wood Waste on the Growth of Green Oak Lettuce (<i>Lactuca sativa</i>) Wanwisa Wattanapansak, Natcha Sornhiran, Thamthawat Saengngam, Yaimai Chuaynook and Pongpet Pongsivapai.....	157

ISSN 2985-1904 (online)